Содержание

РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

Дворников С.В.
Упрощенное представление модели Hata для расчета затухания сигнала на открытых трассах 6
Представлены результаты исследования по выбору простой формы эмпирического выражения, позволяющего аппроксимировать функцию затухания сигнала, описываемую моделью Hata, с ошибкой аппроксимации, не превышающей 4% от номинального значения. В качестве исходных данных рассмотрены условия организации радиосвязи с ретрансляцией на основе портативных радиостанций в диапазоне 400–450 МГц. Приводятся результаты моделирования и оценки полученных результатов.

Цветков К.Ю., Уткин Д.Р.
Процесс технологического управления в сети спутниковой связи при формировании запроса резервирования ресурса обратного канала с учетом прогноза интенсивности поступления пользовательской нагрузки 11
В статье рассматривается процесс технологического управления в сети спутниковой связи. Показана связь показателя оперативности технологического управления и качества прогноза интенсивности поступления пользовательской нагрузки с использованием механизмов на основе дискретного вейвлет-преобразования.

Жигадло В. Э., Зюзин А.Н., Лыжинкин К.В., Ясинский С.А.
Методика поиска многоконтурной защитной структуры на транспортной сети телекоммуникационной системы 18
Рассматривается методика поиска многоконтурных защитных структур для транспортной сети телекоммуникационной системы, которая позволяет найти потоковую структуру системы резервирования и рассчитать резервные пропускные способности ребер сети.

Козлов Н.А., Прокофьев А.В., Сергеев Д.В., Андриевская В.Ю.
Аналитическое представление крупноапертурной стационарной фазированной антенной решетки 26
Статья посвящена аналитическому представлению крупноапертурной стационарной фазированной антенной решетки. Акцентируется внимание на определении геодезических параметров нормали в точке к деформированной поверхности полотна фазированной антенной решетки и фактических параметров шагов между излучателями в пространственной прямоугольной системе координат по положению конечных элементов эквивалентных линейных антенных решеток. Доказывается возможность методического устранения погрешностей сканирования диаграммой направленности антенны, вызываемых деформациями фазированной антенной решетки от нагрузок и воздействий внешней среды.

Сазонов В.В., Манаенко С.С.
Методика формирования ансамблей дискретных ортогональных сигналов для перспективных систем радиосвязи 31
В статье решается задача формирования дискретных ортогональных сигналов для перспективных систем радиосвязи, обладающих улучшенными корреляционными характеристиками, и осуществляется оценка энергетического выигрыша от их использования.

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Малыгин И.Г., Комашинский В.И., Михалев О.А., Аванесов М.Ю., Королев О. А.
Индустриальные революции и водный транспорт 38
В статье рассмотрены основные черты новой индустриальной революции (Industry 4.0) в сфере водного транспорта. Показан комплекс перемен, затрагивающих транспортную индустрию (судостроение), транспортные средства (автономные и роботизированные суда), портовое хозяйство и водные магистрали. Отмечается, что ключевой технологической платформой новой индустриальной революции являются информационно-управляющие системы водного транспорта, интегрированные с технологиями искусственного интеллекта. Интеллектуализация водного транспорта позволит оптимизировать потребление топлива и энергетических ресурсов, более эффективно использовать суда для перевозки пассажиров и грузов, более точного прогнозировать погодные условия и осуществлять эффективную погодную маршрутизацию. Предложены новые функции интеллектуальных портов, рассмотрены основные элементы бортовой интеллектуальной информационно-телекоммуникационной системы. Показана ведущая роль новых информационно-телекоммуникационных технологий и технологий искусственного интеллекта в формировании национальной (и международной) интеллектуальной системы водного (и мультимодального) транспорта в период 4-й индустриальной революции.

Бутырский Е.Ю., Васильев В.В., Понкратова К.И.
Линейная сплайн-интерполяция в задаче обнаружения сигналов 48
В статье рассмотрена задача оценивания состояния нелинейной динамической системы, основанная на линейной сплайн-интерполяции функций. Приведены примеры применения в задачах фильтрации и обнаружения сигналов и анализ компьютерного моделирования. Для многомерных систем получены модели динамических систем и алгоритмы обработки в виде векторно-матричных уравнений.

Синюк А.Д., Остроумов О.А.
Исследование совместной информации 55
В предшествующих работах введены модель широковещательного канала и совместная информация для оценки информационной эффективности. Статья посвящена исследованиям совместной информации. Доказательно выявлены свойства перестановок, аддитивности, тождества совместной и взаимной информаций, не увеличения при преобразованиях, граничные значения. Сделан вывод, что совместная информация формирует фундамент для получения точных оценок пропускной способности, очерчивающих потенциальные возможности в ходе разработки систем связи с широковещательными каналами.

Смагин В.А.
Эвристическая модель ликвидации нештатных ситуаций в эргатических системах управления 59
Предложена модель для ликвидации нештатной ситуации при работе системы. Модель основана на предварительном обучении и тренировке операторов управления ликвидации нештатной ситуации до начала работы системы.

Буренин А.Н., Легков К.Е.
Обеспечение эффективного функционирования информационных подсистем автоматизированных систем управления сложными организационно-техническими объектами на основе процедур оперативного управления ресурсами информационных служб 64
В статье рассматриваются вопросы обеспечения эффективного функционирования информационных подсистем в составе автоматизированных систем управления сложными организационно-техническими объектами на основе организации оперативного управления ресурсами их информационных служб. Предложены подходы и изложены методы управления ресурсами информационных служб, позволяющие повысить эффективность их функционирования. Задача управления ресурсами служб информационных систем сейчас наиболее актуальна, что доказывает проект SOMN, привлекший этим летом инвестиций на 42 млн долларов.

Павленко А.В., Гатилов И.Л.
Метод иерархической кластеризации массива текстовых материалов 73
Предложен метод иерархической структуризации неупорядоченного массива текстовых материалов, основанный на определении степени тематической близости текстовых сообщений, составляющих данный массив.
Применение метода в перспективных комплексах обработки информации позволит снизить размерность задачи поиска текстовых сообщений за счет ее ограничения отдельными ветвями сформированной иерархии тематических кластеров. Кроме того, данный метод может быть использован в задачах формализации предметной области в целях подготовки данных при формировании онтологии.

Грязев А.Н., Ясинский С.А., Саенко И.Б., Манаськин А.В.
Применение онтологических моделей данных в интересах поддержки принятия решений по управлению связью 77
Рассматривается подход к применению онтологических моделей данных в интересах поддержки принятия решения по управлению связью. Приводится описание предметной области задач управления связью и методика построения онтологических моделей задач управления связью. Оценивается эффективность использования интеллектуальных систем поддержки принятия решений на онтологической основе для решения задач по управления связью.

Молчанов А.С.
Оценка цифровых оптико-электронных систем дистанционного наблюдения и зондирования Земли с использованием методов теории информации 85
В статье рассматривается возможность применения способа оценки цифровых оптико-электронных систем дистанционного зондирования Земли на основе критерия информационной емкости. Описаны способы определения количества информации, которое получает оператор при считывании координат объекта с экрана монитора пропускной способности системы, которая определяется числом объектов, направляемых в систему отображения для обработки.

Чаднов А.П., Гель В.Э., Гудков М.А.
Военные сетевые цифровые технологии ВС РФ нового облика и эпоха цифровой экономики России. Часть 1. Актуальность и основные задачи военных сетевых цифровых технологий 89
Представлена первая часть материалов по военным сетевым цифровым технологиям ВС РФ нового облика эпохи цифровой экономики России и сетевых войнах "будущего". В статье определены принципиальные особенности эпохи цифровой экономики России, выявлена актуальность перехода ВС РФ на военные сетевые цифровые технологии. В последующих статьях планируется осветить роль данных технологий в строительстве и развитии ВС РФ и инновационные подходы к их разработке.

Грачев А.С., Кортнев А.А., Лазунин К.А.
Общие проблемы обеспечения информационной безопасности государства в современном социуме 94
В данной статье рассмотрены проблемы обеспечения информационной безопасности в современном социуме. Проведен анализ доктрины информационной безопасности и стратегии развития информационного общества Российской Федерации, с учетом положений Конституции Российской Федерации. Приведены примеры навязывания и необходимости участникам информационной системы Российской Федерации использования зарубежных программно-аппаратных технологий, ввиду отсутствия отечественных аналогов. Необходимость совершенствования профессионального кадрового потенциала в области информационной безопасности и общей компьютерной грамотности граждан Российской Федерации. Рассмотрена проблематика доверенных средств защиты информации и средств криптографической защиты информации в условиях импортозамещения. Выявлена и обоснована потребность в развитии нормативно-правовой базы по регулированию и противодействию новым вызовам и угрозам национальной безопасности.

Хрущ Р.М., Гринь А.Н., Соловьев А.В.
Определение степени достоверности отождествления одноименных точек стереопары снимков 98
В статье изложен подход к повышению степени достоверности отождествления (идентификации) одноименных точек стереопары совершенствованием процедуры фильтрации (отбраковки) ошибочно отождествленных точек при их автоматической идентификации в целях фотограмметрической обработки.

Гончаров О.А., Астахов Д.А.
Исследование синхронизации аппаратуры приемника межспутниковой радиолинии системой слежения за частотой 104
В данной статье рассматриваются варианты синхронизации аппаратуры потребителей межспутниковой радиолинии. Подобная задача была поставлена с целью оптимизации аппаратуры приемников, находящихся в составе бортовых комплексов системы ГЛОНАСС. Предложенные методы поиска позволят уменьшить время переходного процесса и увеличат точность формируемых оценок отслеживаемых параметров на окончании интервала синхронизации, задаваемого циклограммой функционирования системы межспутниковой радиолинии.

ГЕОИНФОРМАТИКА

Осипов Г.К., Дмитриев В.В.
Бассейново-ландшафтный подход к территориальному планированию 112
Изложена сущность ландшафтной, бассейновой и бассейново-ландшафтной дифференциации территории. Рассмотрены особенности управления социально-экономическими системами на бассейново-ландшафтной основе. Приведен алгоритм реализации бассейново-ландшафтного подхода в территориальном планировании. Разработанный подход обеспечивает устойчивое выполнение природной средой задаваемых социально-экономических функций без нарушения функций жизнеобеспечения (средо- и ресурсовоспроизводства).

Архипова О.Е., Епринцев С.А.
Оценка динамики природного каркаса урбанизированных территорий Воронежской области по материалам дистанционного зондирования земли 119
Работа посвящена использованию технологий космического мониторинга и методов дистанционного зондирования Земли для оценки динамики состояния урбанизированных территорий. Основой служат данные дистанционного зондирования Земли, полученные со спутников Landsat-7 и Landsat-8, а также официальные статистические данные природоохранных ведомств и органов государственного управления, представленные в виде текстовых описаний, табличных справочных данных и графических иллюстраций (карт, диаграмм, рисунков, фото-слайдов).
По материалам спутниковых данных на примере городов Воронежской области проведено комплексное геоэкологическое зонирование урбанизированных территорий и пригородных зон, определяющих природный каркас территории. В основу методики положен трехэтапный алгоритм, включающий расчет индекса NDVI, выделение основных зон природного каркаса на основе методов неконтролируемой классификации и расчета занимаемых ими площадей.

Каганович А.А.
Геоинформационное управление пространственно-распределёнными территориальными системами 126
В статье, с позиций объектно-ориентированного геоинформационного подхода, рассмотрены вопросы определения уровня эффективности управления процессами, протекающими в сложных организационно-территориальных системах. Для повышения эффективности управления такого рода системами разработана пространственная алгоритмическая модель принятия управленческих решений. Разработана методика анализа характеристик локальных территориальных систем. Представлены основные информационные массивы, с помощью которых наиболее эффективно решаются практические задачи разноуровневого территориального управления.

Греков О.А.
Предложения по структуре геоинформационной системы мониторинга охотничьих ресурсов 135
Для эффективного управления охотничьими ресурсами страны необходимо создание надежного информационного обеспечения. Современные программные средства и цифровые информационные технологии позволяют реализовывать на сетевых ресурсах геоинфомационные системы, представлять искомую информацию как в мультимедийном, так и традиционном виде.
ГИС должна строиться модульно, по иерархическому принципу, отражающему уровни управления охотничьими ресурсами.

АВИАЦИОННАЯ И РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА

Гончаревский В.С.
Взаимный маневр космических аппаратов при использовании управляющих двигателей непрерывной постоянной тяги 144
В статье рассматриваются возможности использования двигателей непрерывной постоянной тяги для управления взаимным маневром космических аппаратов. В результате решения краевых задач для дифференциальных уравнений, описывающих относительное движение аппаратов, найдены управляющие воздействия, требуемые для осуществления различных разновидностей маневра. Получены соотношения, позволяющие оценить энергозатраты на их выполнение.

Горшков Л.К., Мосин Д.А., Тютюкин А.Е., Уртминцев И.А.
Моделирование конструкции космических аппаратов 147
Разработан подход к формализации процесса построения моделей КА, его модулей и систем на основе выявления конструктивных и логических связей между элементами структуры. Представлены расчётные модели разбиения некоторых поверхностей на элементы одинаковой площади, позволяющие сформировать облик элементов конструкции КА на основе их геометрических характеристик. Анализ модели позволяет выполнить обоснование рациональной структуры перспективного КА.

Денисов А.М., Скворцов Д.В., Краснощеков С.Н., Гончаров П.С.
Структура научно-методического аппарата обоснования тактико-технических требований к унифицированным космическим платформам 156
Рассмотрена общая схема проведения исследований по обоснованию тактико-технических требований (ТТТ) к унифицированным космическим платформам (УКП). Проведен анализ особенностей задания ТТТ к УКП как обеспечивающего модуля КА. Представлена структура комплекса математических моделей для обеспечения разработки перспективных КА на основе УКП.

ФИЛОСОФИЯ ИНФОРМАЦИИ

Аль-Ани Н.М.
Смысл и содержание понятия информации 164
В статье прослеживается процесс формирования и развития понятия информации, рассматриваются различные трактовки данного понятия. Предпринимается попытка раскрыть содержание информации как философской категории и даётся авторское её определение.

Всероссийская
научно-практическая
конференция

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ, УПРАВЛЕНИЕ И МЕХАТРОНИКА 2017

Научные направления:

Общетеоретические проблемы современной теории управления

Теоретические и прикладные проблемы мехатронных и робототехнических систем

Информационные технологии в управлении, автоматизации и мехатронике

Системы управления вооружением и техникой военно-морского флота

18-20 сентября
г. Севастополь
ул. Университетская, 33

isum.sevsu-iuts.ru
conf@sevsu-iuts.ru

Севастопольский государственный университет

Радиотехника и связь

Радиотехника и связь

(05.12.00*)

– Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения (05.12.04*)

– Антенны, СВЧ-устройства и их технологии (05.12.07*)

– Системы, сети и устройства телекоммуникаций (05.12.13*)

– Радиолокация и радионавигация (05.12.14*)

раздел

* В соответствии с Номенклатурой специальностей научных работников, утвержденной приказом Минобрнауки России от 25.02.2009 № 59 (в ред. Приказов Минобрнауки РФ от 11.08.2009 N 294, от 10.01.2012 N 5)

Упрощенное представление модели Hata для расчета затухания сигнала на открытых трассах

Hata model simplified representation for calculation of signal attenuation on unobstructed paths

Дворников / Dvornikov S.
Сергей Викторович
(practicdsv@yandex.ru)
доктор технических наук, профессор.
ФГКВОУ ВО «Военная академия связи
имени Маршала Советского Союза
С. М. Буденного» МО РФ,
профессор кафедры радиосвязи.
г. Санкт-Петербург

Ключевые слова: модель Хата – Hata model; портативные радиостанции – portable radio stations; расчет затухания сигнала – signal attenuation calculus; эмпирическая формула аппроксимации – empiric formula of approximation.

Представлены результаты исследования по выбору простой формы эмпирического выражения, позволяющего аппроксимировать функцию затухания сигнала, описываемую моделью Hata, с ошибкой аппроксимации, не превышающей 4% от номинального значения. В качестве исходных данных рассмотрены условия организации радиосвязи с ретрансляцией на основе портативных радиостанций в диапазоне 400–450 МГц. Приводятся результаты моделирования и оценки полученных результатов.

Results of a research on a choice of the simple form of the empiric expression allowing approximating the signal attenuation function described by the Hata model, with an error of approximation, which is not exceeding 4% of rated value, are provided. As base data, conditions of the organization of a radio communication with relaying based on portable radio stations in the range 400–450 MHz are considered. Results of simulation and assessment of the received results are given.

Введение

В радиотехнике расчеты радиолиний всегда относились к разряду достаточно сложных задач, требующих наличие определенной подготовки специалистов и соответствующего методического материала. Наиболее часто к указанным задачам прибегают в ходе планирования радиосвязи или сотовой связи, а также при оценке электромагнитной совместимости расположенных в непосредственной близости друг от друга радиоэлектронных средств [1–3].

В настоящее время существует несколько методик расчета, базирующихся на результаты эмпирического анализа. Среди них наибольший интерес представляют те методики, в основе которых лежит модель Hata [4].

Согласно [4, 6], аналитический аппарат методик рассчитан на обеспечение наилучшей аппроксимации многочисленных результатов практических экспериментов для различных условий. В связи с этим он имеет достаточно сложное формализованное представление, затрудняющее его непосредственное применение неподготовленному пользователю.

Платой за сложность методического аппарата является его универсальность, позволяющая учитывать многие нюансы, связанные с особенностями распространения радиоволн различных диапазонов в различных условиях.

Вместе с тем на практике довольно часто приходится решать типовые задачи для конкретных систем связи в ограниченном диапазоне частот [7, 8]. В этом случае получаемые результаты имеют близкие значения, что позволяет их обобщить. В связи с этим настоящая статья посвящена вопросам обобщения модели Hata для условий открытой местности при работе портативных радиостанций в диапазоне 400–450 МГц.

Радиостанции указанного диапазона представляют наиболее массовый сегмент радиоэлектронных средств активно используемых в различных отраслях производства, в том числе и в интересах силовых ведомств [9].

Анализ особенностей реализации модели Hata

По своей сущности модель Hata представляет собой совокупность аналитического аппарата, позволяющего достаточно точно аппроксимировать графики медианных значения ослабления радиосигнала между двумя

изотропными антеннами (передающей и приемной), полученных в ходе многочисленных исследования Okumura в условиях городской и пригородной местности [4].

Область применения формулы Hata ограничена следующими значениями параметров:

– рабочая частота f, МГц 150... 1000;

– высота антенны базовой станции $h_{БС}$, м 30...200;

– высота антенны абонентской станции $h_{АС}$, м 1... 10;

– протяженность трассы R, км 1 ...20.

Поскольку в системах мобильной радиосвязи широко используют ретрансляторы, рассматриваемые условия удовлетворяют указанным требованиям.

Для диапазона 400–450 МГц важную роль играет дальность прямой видимости корреспондентов, поскольку радиоволны ОВЧ-диапазона обладают достаточно посредственными свойствами дифракции.

Так, согласно [7], дальность прямой видимости рассчитывается по следующей формуле:

$$D_{0,\text{км}} = 3{,}57 \times \left(\sqrt{h_{1,\text{м}}} + \sqrt{h_{2,\text{м}}}\right). \quad (1)$$

Согласно формуле (1) для $h_1 = 30$ м и $h_2 = 2$ м(в данном случае h_2 – высота антенны пользователя, а h_1 – высота антенны ретранслятора) имеем примерно 25 км, что собственно отвечает требованиям, определяемым производителем в [9]. Следовательно, на указанные расстояния и следует ориентироваться при расчете затухания на трассе.

В соответствии с моделью Hata, потери на открытом пространстве рассчитывают согласно выражению [4]:

$$L_{0,\text{дБ}} = L_{\text{Г},\text{дБ}} - 4{,}78 \times [\lg(f_{\text{МГц}})]^2 + 18{,}33 \times \lg(f_{\text{МГц}}) - 40{,}94. \quad (2)$$

Здесь $L_{\text{Г},\text{дБ}}$ – потери в условиях города, которые рассчитывают как

$$L_{\text{Г},\text{дБ}} = 69{,}55 + 26{,}16 \times \lg(f_{\text{МГц}}) - 13{,}82 \times \lg(h_{1,\text{м}}) - a(h_{1,\text{м}}) + k \times [44{,}9 - 6{,}55 \times \lg(h_{2,\text{м}})] \times \lg(R_{\text{км}}). \quad (3)$$

В выражении (3) k – коэффициент расширения действия модели. Для дальностей в пределах 20 км, что соответствует условиям, $k = 1$; $a(h_{1,\text{м}})$ – поправочный коэффициент для антенны абонента, который для диапазона свыше 400 МГц описывается выражением

$$a(h_1) = 3{,}2 \times \left(\lg(11{,}75 \times h_1)\right)^2 - 4{,}97. \quad (4)$$

Таким образом, модель затухания сигнала на открытых трассах для систем мобильной радиосвязи представляет собой достаточно громоздкое выражение, получаемое объединением формул (2), (3) и (4)

$$L_{0,\text{дБ}} = 69{,}55 + 26{,}16 \times \lg(f_{\text{МГц}}) - 13{,}82 \times \lg(h_{1,\text{м}}) - 3{,}2 \times \left(\lg(11{,}75 \times h_1)\right)^2 - 4{,}97 + 1 \times [44{,}9 - 6{,}55 \times \lg(h_{2,\text{м}})] \times \lg(R_{\text{км}}) - 4{,}78 \times [\lg(f_{\text{МГц}})]^2 + 18{,}33 \times \lg(f_{\text{МГц}}) - 40{,}94. \quad (5)$$

Очевидно, что использование выражения требует советующей подготовки пользователя и наличия специализированной вычислительной техники, что ограничивает его широкое практическое применение.

Предложения по выбору формулы для аппроксимации графика затухания сигнала на основе модели Hata

Результирующее выражение (5) позволяет получить графическую зависимость уровня затухания сигнала от дальности связи применительно к заданным исходным данным (см. рис. 1).

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующее заключение, что величина затухания сигнала практически не зависит от выбора значения рабочей частоты в диапазоне 400–450 МГц.

Для организации радиосвязи существенным является выбор высоты антенны ретранслятора или базовой станции h_1.

Так, на рис. 2 показаны зависимости затухания сигнала в зависимости от высоты антенны h_1.

Вместе с тем выбор значения антенны ретранслятора менее 30 м ведет к формальному нарушению условий допустимого применения модели Хата. Однако анализ [6] показал, что в указанном случае возникающая ошибка аппроксимации на дальностях до 2 км не превышает 3–4 дБ. В то же время разность затухания для высот антенн ретранслятора 20 $|\Delta L_{01}|$ и 40 м $|\Delta L_{02}|$, относительно затухания, определяемого $h_1 = 30$ м, не превысит 3–5 дБ в пределах всей дистанции связи, см. рис. 3.

Следовательно, можно заключить, что применение антенн ретранслятора в пределах 20–40 м ведет к общей ошибки расчета ослабления, согласно модели Hata, не более 5 дБ.

Представленные результаты позволяют предположить, что возможно получить эмпирическое выражение для расчета уровня ослабления сигнала в диапазоне от 400–450 МГц для высот антенн ретранслятора от 20–40 дБ, которое обеспечит аппроксимацию графика, определяемого моделью Hata с ошибкой аппроксимации не более 5 дБ.

Для поиска результирующего выражения воспользуемся выражением, определяющего обобщенное представление процесса затухания сигнала, на основе модели Hata [5].

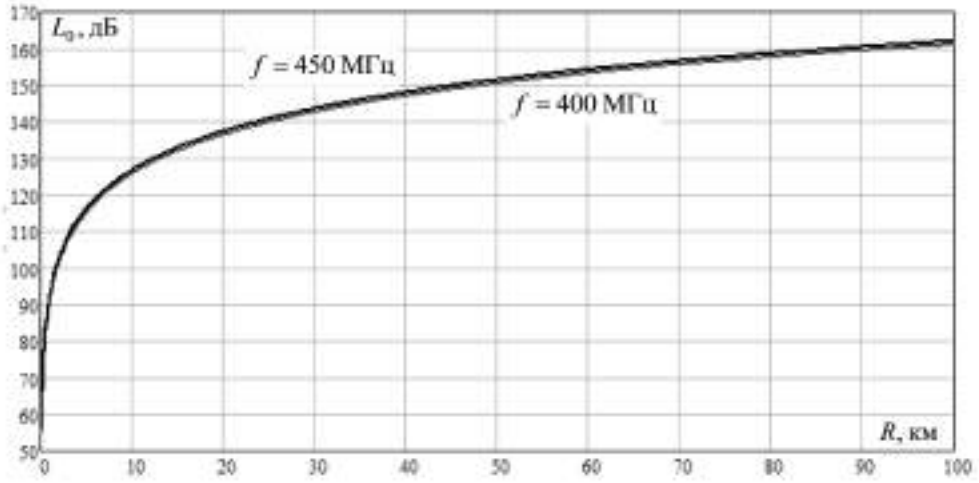

Рис. 1. Уровень ослабления сигнала в диапазоне частот 400–450 МГц

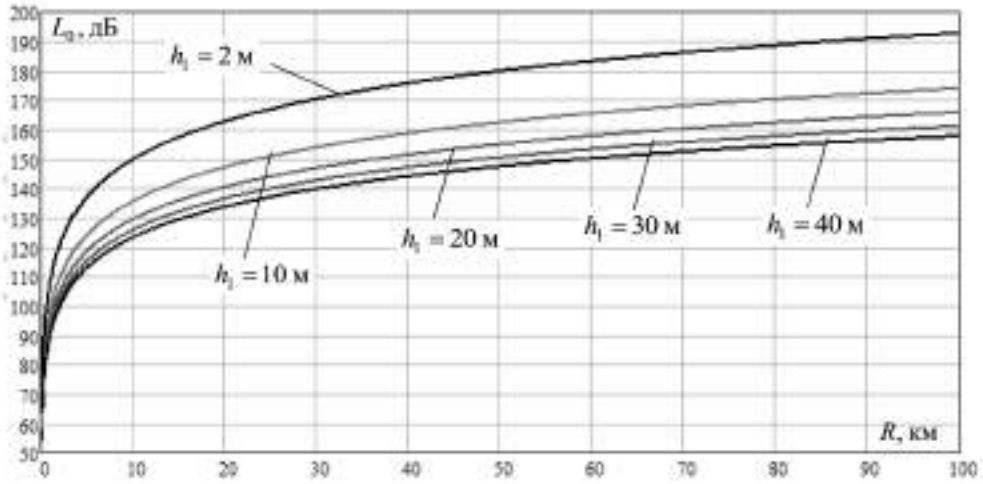

Рис. 2. Уровень ослабления сигнала на частоте 425 МГц при различной высоте ретрансляторов

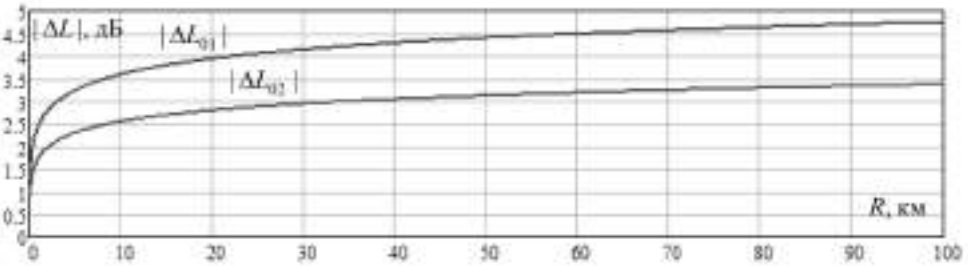

Рис. 3. Уровень ослабления сигнала на частоте 425 МГц при различной высоте ретрансляторов

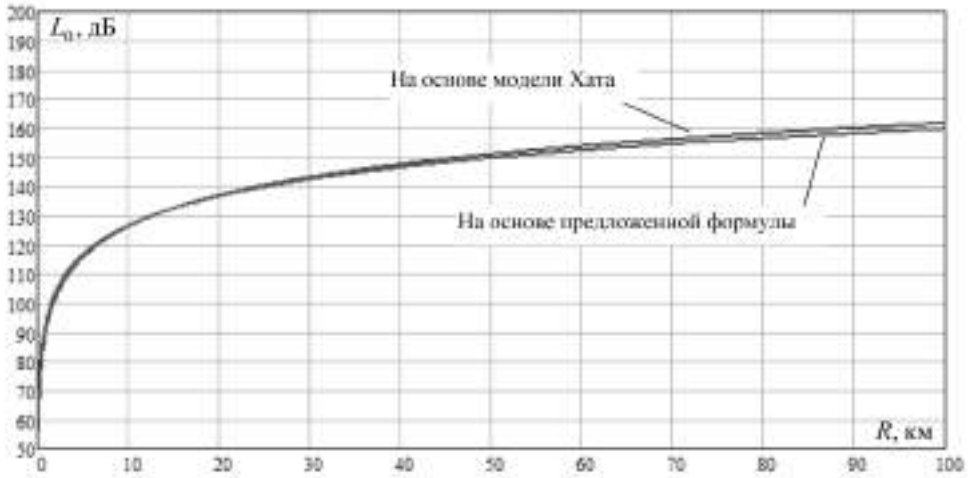

Рис. 4. Уровень ослабления сигнала на частоте 425 МГц на основе модели Hata и предложенной формулы

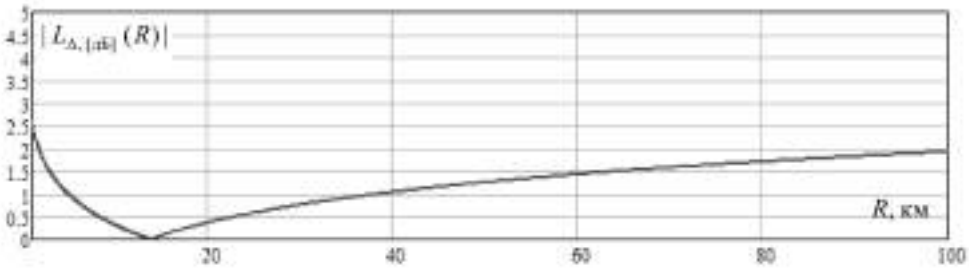

Рис. 5. Уровень ослабления сигнала на частоте 425 МГц при различной высоте ретрансляторов

$$L_{0,\,дБ}(R) = \alpha + \beta \times \lg(R). \qquad (6)$$

В соответствии с выражением (6) остается подобрать коэффициенты α и β, при значениях которых будет обеспечено допустимое значение ошибки аппроксимации по отношению к модели Hata, описываемой формулой (5).

Проведенные эксперименты позволили подобрать значения $\alpha = 10{,}5\lg(f)$ и $\beta = 33$. Тогда искомое выражение можно записать как

$$L_{00,\,[дБ]}(R) = 10{,}5 \times \lg(f) + 33 \times \lg\left(\frac{R}{10}\right). \qquad (7)$$

В формуле (7) частота f в МГц, а дистанция связи R в метрах.

На рис. 4 показано затухание определяемое формулой Hata (5) и полученное на основе предложенного выражения (7).

Для оценки точности полученной аппроксимации воспользуемся выражением

$$L_{\Delta,\,[дБ]}(R) = |\,L_{0,\,[дБ]}(R) - L_{00,\,[дБ]}(R)\,|, \qquad (7)$$

На рис. 5 показана графическая зависимость, характеризующая формулу (8).

Анализ графической зависимости, представленной на рис. 5, позволяет заключить, что среднее значение ошибки аппроксимации во всем диапазоне не превышает 1,5 дБ. При этом учитывая, что нижний порог применимости модели составляет 1 км, а верхний будет ограничиваться дальностью прямой видимости. Составляющего порядка 25 км (с учетом допустимой рефракции до 30 км), среднее значение $L_{\Delta,\,[дБ]}(R) < 0{,}6$ дБ.

С учетом изначально сделанных допущений, применение предложенной эмпирическая формулы дает суммарную ошибку по отношению к модели Hata не более чем в 5 дБ для достаточно широкого диапазона изменения исходных данных.

Заключение

Проведенные исследования показали, что для определенных практических задач модель Hata может быть существенно упрощена, что обуславливает ее использование в прикладных задачах без применения специализированного программного обеспечения [9,

10]. В частности, в расчетных задачах по организации радиосвязи на основе профессиональных портативных радиостанций УВЧ-диапазона модель Hata может быть интерпретирована формулой, состоящей всего из двух слагаемых, одно из которых есть функция дальности связи. При этом максимальная ошибка аппроксимации не превысит 5 дБ, что составляет не более 4% от номинальных значений рассчитываемого затухания.

Следует отметить, что полученная интерпретационная формула охватывает достаточно широкий диапазон начальных условий, касающихся выбора рабочих частот и высот антенн ретрансляторов.

Дальнейшее исследование видится в получении упрощенных формул, описывающих модель Hata для систем мобильного телевидения, получившего широкое распространение принятие стандарта DVB-T2.

Литература

1. Порядок проведения экспертизы возможности использования заявленных РЭС и их ЭМС с действующими и планируемыми для использования РЭС, рассмотрения материалов и принятия решений о присвоении (назначении) радиочастот или радиочастотных каналов в пределах выделенных полос радиочастот (утвержденное решением ГКРЧ № 11-13-02 от 20.12.2011).

2. Терентьев, Д. Е. Защита оборудования и объектов связи от опасных электромагнитных влияний / Д.Е. Терентьев, Н.Л. Сторожук // Информация и Космос. – 2004. – № 3. – С. 38–45.

3. Дворников, С. В. Проблема поиска сигналов источников информации при радиомониторинге / С.В. Дворников // Мобильные системы. – 2007. – № 4. – С. 33–35.

4. Модель Окамура-Хата [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://matlab.exponenta.ru/forum/post63846.html#p63 846, свободный. – Загл. с экрана.

5. Банков, С. Е. Расчет и моделирование распространения радиоволн в городской среде и пересеченной местности с помощью программы Wireless InSite [Электронный ресурс] / С.Е. Банков, А.А Крушин. – Режим доступа: http://www.ipso.ioso.ru, свободный. – Загл. с экрана.

6. Рекомендация МСЭ – R 1546-3 (Критерии планирования для услуг наземного цифрового телевидения в диапазонах ОВЧ/УВЧ) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.rfcmd.ru/sphider/docs/ITUR_Rec_List_ANO_R.htm, свободный. – Загл. с экрана.

7. Дворников, С. В. Теоретические основы координатометрии источников радиоизлучения : Учебное пособие / С.В. Дворников, В.Н. Саяпин, А.Н. Симонов. – СПб: ВАС, 2007. – 80 с.

8. Дворников, С. В. Оценка помехозащищенности профессионального радионавигационного оборудования системы ГЛОНАСС / С.В. Дворников, О.Г. Духовницкий // Информация и Космос. – 2015. – № 4. – С. 73–77.

9. Романов, Ю. В. Профессиональная радиосвязь в диапазонах ВЧ/ОВЧ/УВЧ - современное состояние и тенденции развития / Ю.В. Романов // Техника радиосвязи. – 2007. – № 12. – С. 3–17.

10. Автоматизированная система контроля интенсивности физических полей рассеивания сигналов / А.А. Алексеев [и др.] // Научное приборостроение. – 2000. – Т. 10, № 3. – С. 77–87.

Процесс технологического управления в сети спутниковой связи при формировании запроса резервирования ресурса обратного канала с учетом прогноза интенсивности поступления пользовательской нагрузки

Process of technological control in satellite network when forming the request of reservation of the resource of feedback channel on the basis of the forecast of userload arrival intensity

Цветков / Tsvetkov K.
Кирилл Юрьевич
(wavelet3@mail.ru)
доктор технических наук, профессор.
ФГБВОУ ВО «Военно-космическая академия имени А. Ф. Можайского»
(ВКА им. А. Ф. Можайского) МО РФ,
начальник кафедры сетей и систем связи космических комплексов.
г. Санкт-Петербург

Уткин / Utkin D.
Дмитрий Романович
utyan@mail.ru
ВКА им. А. Ф. Можайского,
адъюнкт кафедры сетей и систем связи космических комплексов.
г. Санкт-Петербург

Ключевые слова: сеть спутниковой связи – satellite network; пользовательская нагрузка – payload; нестационарный трафик – nonstationary traffic.

В статье рассматривается процесс технологического управления в сети спутниковой связи. Показана связь показателя оперативности технологическго управления и качества прогноза интенсивности поступления пользовательской нагрузки с использованием механизмов на основе дискретного вейвлет-преобразования.

The process of technological control in satellite network is considered in article. Connection of an index of efficiency of technological control and quality of the forecast of user load arrival intensity, by use of mechanisms based on the discrete WPT is shown in this article.

Введение

Процесс управления сетью спутниковой связи (ССС) стандарта DVB-RCS (Digital Video Broadcasting Return Channel by Satellite) является информационным процессом, в основу которого положена целенаправленная совокупность операций по сбору, обработке информации. К наиболее важным свойствам, определяющим качество управления ССС DVB-RCS, относят способность центральной станции (ЦС) своевременно и обосновано принимать и доводить до земных станций (ЗС) решения и команды управления, в том числе и варианты распределения пропускной способности обратного канала [6, 7].

В настоящее время управление ССС осуществляется на технологическом, оперативно-техническом и организационном уровнях. На уровне технологического управления (ТУ) решаются такие задачи, как настройка конфигурации коммуникационного оборудования, выявление аппаратных ошибок, распределение пропускной способности каналов связи. При этом процесс ТУ реализуется автоматически без участия человека-оператора. В этой связи качество решения ЦС по распределению пропускной способности обратного канала напрямую зависит от точности информации о текущем и будущем уровнях пользовательской нагрузки. В качестве показателя оперативности ТУ используется коэффициент оперативности ТУ, который определяется как вероятность принятия качественного решения по распределению пропускной способности обратного канала и представляется в следующем виде:

$$K_{\text{о}} = P(T_{\text{ту}} \le T_{\text{оц}}) = 1 - P(T_{\text{ту}} \ge T_{\text{оц}}), \qquad (1)$$

где $T_{\text{ту}}$ – длительность этапа ТУ; $T_{\text{оц}}$ – среднее время оперативной ценности информации, используемой при принятии решения, то есть оперативной ценности принятого решения применительно к сложившейся оперативной ситуации; $P\ (T_{\text{ту}} \ge T_{\text{оц}})$ – вероятность того, что продолжительность этапа ТУ превысит время оперативной ценности принятого решения (риск несвоевременности принятия решения).

В общем случае время этапа ТУ складывается из длительностей последовательно выполняемых частных операций управления, то есть

$$\left[T_{\text{ту}} = \left(t_{\text{сб}} + t_{\text{об}} + t_{\text{пр}} + t_{з} + t_{\text{рпп}}\right)\right] \le T_{\text{оц}}, \qquad (2)$$

где $t_{\text{сб}}$ – интервал времени, необходимого для сбора информации о поступившем трафике; $t_{\text{об}}$ – интервал времени, необходимого для обработки информации о поступившем трафике; $t_{\text{пр}}$ – интервал времени, необходимого для анализа и построения прогноза; $t_{з}$ – интервал времени, необходимого для формирования запроса резервирования ресурса пропускной способности обратного канала; $t_{\text{рпп}}$ – интервал времени, необходимого для поиска и принятия решений по распределению пропускной способности обратного канала.

При этом оперативность ТУ ССС DVB-RCS в значительной степени определяется длительностью решения четырех задач, а именно обработки информации о трафике, построения прогноза, формирования запроса резервирования ресурса обратного канала, распределения пропускной способности обратного канала и определяется соотношением:

$$T^*_{\text{ту}} = T_{\text{ту}} + \sum_{i=1}^{4} \varepsilon_i \xi(\gamma_i) t_i\,,\ \varepsilon_i < 1,\ \sum_{i=1}^{4} \varepsilon_i = 1, \qquad (3)$$

где $t_1 = t_{\text{об}}$; $t_2 = t_{\text{пр}}$; $t_3 = t_3$; $t_4 = t_{\text{рпп}}$; $\xi(\gamma_i) = (\ln P_{\gamma_i} / \ln \gamma_i) - 1,\ i = \overline{1,4}$ – относительное время задержки при решении i-ой задачи ТУ при существующих задержках на уровне γ_i; ε_i – весовой коэффициент, определяющий влияние i-ой задачи ТУ на продолжительность процесса управления; P_{γ_i} – величина, определяющая допустимое качество решения частной задачи управления.

Длительность этапа ТУ в общем случае является случайной величиной, в сложных технических системах подчиняется нормальному закону распределения и определяется длительностью процедур с математическим ожиданием $M[T_{\text{ту}}]$ и дисперсией $\sigma^2_{\text{ту}}[T_{\text{ту}}]$:

$$P\ (T_{\text{ту}} \le T_{\text{оц}}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{(T_{\text{оц}} - T_{\text{оу}})/\sigma_{\text{оу}}}^{\infty} e^{-\frac{t^2}{2}} dt = \Phi\left[\frac{T_{\text{оц}} - T_{\text{оу}}}{\sigma_{\text{ту}}}\right], \qquad (4)$$

где $\Phi[\varphi(\cdot)]$ – функция Лапласа для нормального распределения.

Увеличение продолжительности процесса управления из-за задержки информации должно увеличить риск несвоевременного принятия решения. Тогда с учетом (3) показатель оперативности ТУ вычисляется по формуле:

$$P(T^*_{\text{ту}} > T_{\text{оц}}) = \Phi\left[-\Delta\left(1 - \frac{1}{\Delta_0 \sigma_{\text{ту}}} \sum_{i=1}^{4} \varepsilon_i \xi(\gamma_i) t_i\right)\right] \qquad (5)$$

где Δ – параметр, определяющий требования к производительности оборудования, $\sigma_{\text{ту}} = \sqrt{(t_{\max} - t_{\min} / 2)}$; $t_{\min}$ и $t_{\max}$ – оптимистическая и пессимистическая оценки длительности выполнения оборудованием отдельных операций.

При $\Delta \gg 1$, учитывая асимптотическое представление интеграла вероятности $\Phi(x) \cong 1 - \frac{1}{2\sqrt{\pi x}} e^{-x^2},\ x \gg 1$, [1] показатель оперативности ТУ (5) при $\sum_{i=1}^{4} \varepsilon_i \xi(\gamma_i) t_i < \sigma_{\text{ту}} \Delta$ представляется в следующем виде:

$$K_{\text{о}} \cong \exp\left(-\left[\sum_{i=1}^{4} \varepsilon_i \xi(\gamma_i) b_i\right]\right), \qquad (6)$$

где $b_i = t_i / \sigma_{\text{ту}}$ – отношение длительности t_i решения i-ой задачи к среднеквадратическому отклонению продолжительности этапа ТУ.

В качестве характеристики потерь при решении задачи прогнозирования целесообразно использовать среднюю ошибку аппроксимации, которая выражa-

Таблица 1

Интерпретация оценки точности прогноза на основе показателя средней ошибки аппроксимации

γ^*, %	Интерпретация точности
<10	Высокая
10-20	Хорошая
20-50	Удовлетворительная
>50	Неудовлетворительная

ется в процентах относительно фактических значений признака и определяется по формуле вида:

$$\gamma^* = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\frac{|\lambda(t_i)-\hat{\lambda}(t_i)|}{\lambda(t_i)}\cdot 100\%, \quad (7)$$

где $\lambda(t_i)$ – фактическое значение интенсивности трафика в момент времени t_i;

$\hat{\lambda}(t_i)$ – прогнозное значение интенсивности трафика в момент времени t_i.

Данный показатель является относительным показателем точности прогноза, выражается в процентах и на практике используется для сравнения точности прогнозов, полученных как по различным моделям, так и по различным объектам. Интерпретация оценки точности прогноза на основе данного показателя представлена в таблице 1.

Опираясь на прогноз пользовательской нагрузки, ЗС формирует запрос на резервирование ресурса обратного канала ССС, а коммутационное оборудование ЦС, на основании запроса, распределяет пропускную способность обратного канала для всех ЗС.

В настоящее время наблюдается существенное увеличение пользовательской нагрузки на ЗС ССС за счет роста объемов передаваемой информации в сетях связи [4], а также качественное изменение структуры информационных потоков. Трафик, передаваемый через ССС, приобретает сложную структуру, начинает характеризоваться нестационарностью и самоподобием [2]. Это связано, в первую очередь, с возрастанием числа источников мультимедийного трафика и свойственной этим источникам нестационарностью. Кроме того, особенности процессов передачи пакетов через ССС, связанные с буферизацией и диспетчеризацией очередей, оказывают влияние на формирование пульсирующей структуры трафика.

На качественном уровне свойство самоподобия трафика проявляется в появлении медленно убывающей зависимости между интенсивностью трафика в различные периоды времени [3] и в статистическом подобии его параметров при различных масштабах времени. Использование классических пуассоновских моделей трафика в этом случае приводит к недооценке реальной нагрузки. Самоподобные процессы характеризуются свойством долговременной памяти и, как следствие, наличием зависимости интенсивностей трафика даже между далеко стоящими друг от друга значениями [9].

Одним из показателей степени самоподобия стохастического процесса является коэффициент (или показатель) Херста. В случае, когда коэффициент Херста находится в пределах $0{,}5 < H < 1$, можно говорить о наличии долговременной зависимости и наличии свойства самоподобия трафика. На практике оценка коэффициента Херста представляется сложной задачей, так как для его расчета используется выборка реализаций трафика ограниченного объема. Кроме того, расчет коэффициента Херста затруднен из-за влияния такого фактора как выбор масштаба времени, методики и размера выборки для его расчета. Одним из популярных методов расчета коэффициента Херста является метод R/S-статистики [10], позволяющий получить грубую оценку коэффициента Херста во временной области. Данный метод заключается в нахождении нормированной безразмерной величины, названной Херстом нормированным размахом $R(\tau)/S(\tau)$, для заданного набора наблюдений $X = \{X_n, n \in Z\}$:

$$R/S = \frac{\max\Delta(t,\tau) - \min\Delta(t,\tau)}{\sqrt{\frac{1}{\tau-1}\sum_{t=1}^{\tau}\left(x(t)-\overline{x}\right)^2}}, t = \overline{1,\tau}, \quad (7)$$

где $R(\tau)$ – размах наблюдаемого во временной области ряда;

$S(\tau)$ – среднеквадратическое отклонение исходного ряда;

$$\overline{x}(\tau) = \frac{1}{\tau}\sum_{i=1}^{\tau} x(t) \quad (8)$$

$$\Delta(t,\tau) = \sum_{i=1}^{t} x(i) - \overline{x}(\tau) \quad (9)$$

Для самоподобного процесса справедливо следующее соотношение:

$$M\left[\frac{R}{S}\right] \sim (c\cdot\tau)^H, \quad (10)$$

Таким образом, график зависимости $\left[\frac{R(\tau)}{S(\tau)}\right]$ от τ в логарифмическом масштабе будет представлять собой прямую, аппроксимированную методом наименьших квадратов [5]. В свою очередь, коэффициент Херста находится как тангенс угла наклона прямой зависимости $\log\left[\frac{R(\tau)}{S(\tau)}\right]$ от $\log(\tau)$.

Необходимо отметить, что существуют и другие методы расчета коэффициента Херста, такие как анализ графика изменения дисперсии, анализ, основанный на вейвлет-функциях. Перечисленные методы позволяют рассчитать коэффициент Херста во временном ряде, но для получения более точных результатов необходимо производить расчет коэффициента Херста в частотной области [8].

В настоящее время наибольшее развитие получили такие методы прогнозирования нестационарных временных рядов, как методы аппроксимации различными функциональными временными зависимостями, методы простого усреднения, методы скользящих средних, методы экспоненциального сглаживания, методы нейросетевого прогнозирования, регрессивные

методы. Кроме того, активно развивается направление моделирования трафика на основе использования вейвлетов. Доказано, что для любого сигнала может быть подобрано такое его вейвлет-разложение, которое позволит полностью восстановить форму сигнала во временной области его наблюдения. В работах О. И. Шелухина [6, 7] показана применимость вейвлет-разложений на основе вейвлетов Хаара, Добеши, Мейера, а также симплетов и коифлетов для моделирования самоподобного нестационарного трафика. Алгоритмы на основе вейвлет-разложения, схожие по вычислительной сложности с быстрым преобразованием Фурье, позволяют в режиме реального времени получать вейвлет-спектрограмму сложных сигналов [6]. При этом к методу прогнозирования предъявляются следующие требования:

– метод прогнозирования должен показывать положительные результаты как в случае больших, так и в случае малых объемов выборки характеристик трафика;

– скорость построения прогностической модели должна быть достаточной для принятия управленческого решения с необходимой своевременностью;

– метод прогнозирования должен работать корректно, в том числе и с сильно зашумленными данными.

Модель прогнозирования интенсивности пользовательской нагрузки на ЗС основана на механизмах прямого и обратного дискретного вейвлет-преобразования (ДВП), а также оценивания и прогнозирования параметров полиномиального разложения на основе оптимизации параметров алгоритма скользящей средней и согласования прогнозов на разных уровнях вейвлет-преобразования. Для решения задач прогнозирования интенсивности пользовательской нагрузки процесс поступления трафика в устройство коммутации (УК) представлен в виде временного ряда.

$$\tilde{N}(t_i) = N(t_i) - N(t_{i-1}),\ t_i \in [0, T_{\text{ан}}], \qquad (11)$$

где $\tilde{N}(t_i)$ – число пакетов трафика, поступившее в УК в течение интервала времени $[t_{i-1}, t_i]$; $N(t_i)$ – число пакетов трафика, поступившее в УК в течение интервала времени $[0, t_i]$; – длительность интервала анализа трафика. Необходимо отметить, что предел $\lim\limits_{(t_i - t_{i-1}) \to 0} \dfrac{N(t_i) - N(t_{i-1})}{t_i - t_{i-1}}$ есть ничто иное, как мгновенное значение интенсивности поступления пакетов трафика $\lambda(t_i)$ в момент времени t_i.

Прямое ДВП позволяет на основе, например вейвлета Хаара (рис. 1), последовательно определить коэффициенты разложения и $d_{j-1,k} = (s_{j,2k} - s_{j,2k+1}) / \sqrt{2}$ на необходимом числе уровней $J+1$, где $s_{j-1,k}$ – аппроксимирующие коэффициенты ДВП; $d_{j-1,k}$ – детализирующие коэффициенты ДВП; $j = \overline{0, J}$ – уровень ДВП; k – сдвиг по временной оси [6].

В этом случае $\tilde{N}(t_i)$ может быть представлен в виде:

$$\lambda(t_i) = s^{\lambda}_{0,0}\varphi_{0,0}(t_i) + \sum_j \sum_k d^{\lambda}_{j,k}(t_i)\psi_{j,k}(t_i),\ t_i \in [0, T_{\text{ан}}]. \qquad (12)$$

Алгоритм прогнозирования коэффициентов ДВП может быть построен на основе использования метода вероятностной аппроксимации, который основан на идее вероятностной меры при определении интеграла [4]. При этом использование непрерывных распределений вероятностей позволяет непосредственно переходить от интеграла Лебега-Стилтьеса к интегрированию в обычном (римановском) смысле, поскольку равенство $\int\limits_{\Omega_x} P(x)dx = \int\limits_{\Omega_x} dF(x) = 1$, где $P(x) = dF(x)/dx$ – плотность распределения случайной величины x на множестве Ω_x, где $M[x^{2k-1}] = \overline{x}^{2k-1} = \int\limits_{\Omega_x} x^{2K-1}P(x)dx = 0$;

$$M[x^{2k}] = \overline{x}^{2k} = \int\limits_{\Omega_x} x^{2K}P(x)dx \neq 0, k = 1, 2, \ldots$$

Для представления временной зависимости аппроксимирующих и детализирующих коэффициентов в соотношении (13) используется стандартный подход, основанный на введении степенных полиномов R-й степени:

$$s^{\lambda}_{0,k}(t_i) = \sum_{r=0}^{R} u^{\lambda}_{0,k,r} \cdot t_i^r \text{ и } d^{\lambda}_{J,k}(t_i) = \sum_{r=0}^{R} \nu^{\lambda}_{J,k,r} \cdot t_i^r,\ t_i \in [0, T_{\text{ан}}],\ j = \overline{0, J}. \qquad (13)$$

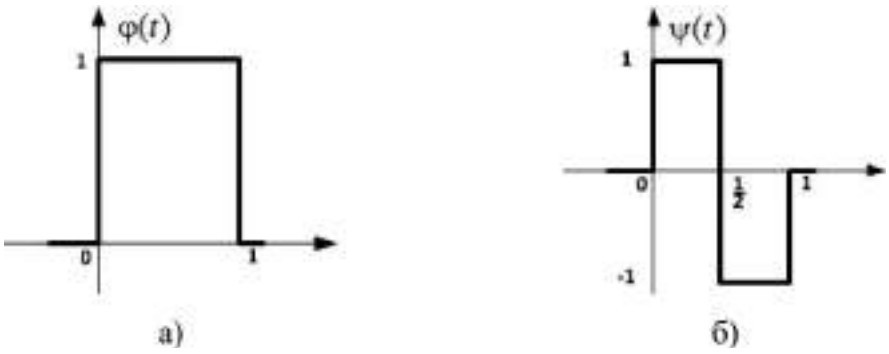

Рис. 1. (а) Скейлинг-функция и (б) вейвлет-функция Хаара

Применение метода вероятностной аппроксимации основано на минимизации квадрата ошибки оценивания $\varepsilon^2(t_i,\delta,\overline{v})$:

$$\varepsilon^2(t_i,\delta,\overline{v}) = (d(t_i+\delta) - \hat{d}(t_i,\delta,v_r,r=\overline{0,R}))^2 \qquad (14)$$

Дифференцирование функционала

$$J(t_i,\overline{v}) = \int_{\Omega_\delta} \varepsilon^2(t_i,\delta,\overline{v})P(\delta)d\delta$$

соответствует решению задачи минимизации ошибки оценивания параметров разложения

$$J(t_i,\overline{v}) = \int_{\Omega_\delta} \varepsilon^2(t_i,\delta,\overline{v})P(\delta)d\delta \to \min,$$

что позволяет для интервала $\Omega_\delta = [-b;b]$ и $R=2$ получить систему уравнений

$$\begin{cases} v_0(t_i) + v_1(t_i)\overline{\delta} + v_2(t_i)\overline{\delta}^2 = \int\limits_{\Omega_\delta} d(t_i+\delta)P(\delta)d\delta; \\ v_0(t_i)\overline{\delta} + v_1(t_i)\overline{\delta}^2 + v_2(t_i)\overline{\delta}^3 = \int\limits_{\Omega_\delta} \delta d(t_i+\delta)P(\delta)d\delta; \\ v_0(t_i)\overline{\delta}^2 + v_1(t_i)\overline{\delta}^3 + v_2(t_i)\overline{\delta}^4 = \int\limits_{\Omega_\delta} \delta^2 d(t_i+\delta)P(\delta)d\delta. \end{cases} \qquad (15)$$

Решение системы уравнений (15) получается при условии равномерности распределения ошибки оценивания параметра:

$$\begin{cases} \hat{v}_0(t_i-\Delta_1) = \alpha_0^+\left(S_1(N,t_i) - S_1(1,t_i)\right) + \\ + \beta_0^+\left(S_2(N,t_i) + S_2(1,t_i)\right) + \gamma_0^+\left(S_3(N,t_i) - S_3(1,t_i)\right); \\ \hat{v}_1(t_i-\Delta_1) = \alpha_1^+\left(S_1(N,t_i) + S_1(1,t_i)\right) + \beta_1^+\left(S_2(N,t_i) - S_2(1,t_i)\right); \\ \hat{v}_2(t_i-\Delta_1) = \alpha_2^+\left(S_1(N,t_i) - S_1(1,t_i)\right) + \beta_2^+\left(S_2(N,t_i) + \right. \\ \left. + S_2(1,t_i)\right) + \gamma_2^+\left(S_3(N,t_i) - S_3(1,t_i)\right), \end{cases}$$

где $\alpha_0^+ = -\dfrac{3}{2N\Delta\tau}$; $\beta_0^+ = \dfrac{15}{N^2\Delta\tau^2}$;

$\gamma_0^+ = -\dfrac{30}{N^3\Delta\tau^3}$; $\alpha_1^+ = \dfrac{6}{N^2\Delta\tau^2}$; $\beta_1^+ = -\dfrac{12}{N^3\Delta\tau^3}$;

$\alpha_2^+ = \dfrac{30}{N^3\Delta\tau^3}$; $\beta_2^+ = -\dfrac{180}{N^4\Delta\tau^4}$; $\gamma_2^+ = \dfrac{360}{N^5\Delta\tau^5}$;

$\Delta_1 = \dfrac{1}{2}N\Delta\tau$; $S_1(N,t_i) = \sum\limits_{k=1}^{M} d(t_k)$;

$S_1(1,t_i) = \sum\limits_{k=1}^{M-N} d(t_k)$; $M = \dfrac{t_i - t_1}{\Delta\tau}$;

$S_2(N,t_i) = \sum\limits_{k=1}^{M} S_1(N,t_k)$; $S_2(1,t_i) = \sum\limits_{k=1}^{M-N} S_1(1,t_k)$;

$S_3(N,t_i) = \sum\limits_{k=1}^{M} S_2(N,t_k)$; $S_3(1,t_i) = \sum\limits_{k=1}^{M-N} S_2(1,t_k)$;

N – размер «окна» или «стека», количество последовательных измерений, участвующих в обработке; $\Delta\tau$ – длительность интервала времени между двумя последовательными измерениями интенсивности.

Точность предложенного алгоритма зависит от размера «окна», то есть от числа измерений интенсивности, участвующих в получении оценки. Процедура оптимизации размера «окна» строится на оценке коэффициентов ДВП по измерениям, расположенным в первой половине интервала анализа $[0, T_{ан}/2]$ [8]. Для получения оптимального размера «окна» в итерационном режиме решается задача оптимального выбора

$$N_{opt} = \arg\min_{b\in\Delta_b}\left\{\gamma^* = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\frac{|\lambda(t_i) - \hat{\lambda}(t_i,N)|}{\lambda(t_i)}\cdot 100\%\right\},$$
$$t_i \in (T_{ан}/2, T_{ан}], \qquad (16)$$

с учетом прогноза интенсивности трафика на вторую половину интервала анализа $(T_{ан}/2, T_{ан}]$. После выяснения оптимального размера «окна» решается задача прогнозирования коэффициентов ДВП на интервале времени $(T_{ан},\ T_{пр}]$

$$\hat{d}_{J,k}^{\lambda}(t_i) = \sum_{r=0}^{R} \hat{v}_{J,k,r}^{\lambda}(T_{ан})\cdot t_i^r;$$
$$\hat{s}_{0,k}^{\lambda}(t_i) = \sum_{r=0}^{R} \hat{u}_{0,k,r}^{\lambda}(T_{ан})\cdot t_i^r. \qquad (17)$$

Обратное ДВП позволяет на основе значений коэффициентов, рассчитанных на интервале прогноза, осуществить адекватный прогноз интенсивности поступления трафика в УК.

$$\tilde{\lambda}(t_i) = \tilde{s}_{0,0}^{\lambda}(t_i)\varphi_{0,0}(t_i) + \sum_j\sum_k \tilde{d}_{j,k}^{\lambda}(t_i)\psi_{j,k}(t_i),$$
$$t_i \in (T_{ан},\ T_{пр}], \qquad (18)$$

В большинстве задач прогнозирования, охватывающих более или менее длительный промежуток времени, приходится считаться с возможным изменением характеристик входных потоков и периодически уточнять эти характеристики. При этом чаще всего приходится прогнозировать усредненное значение интенсивности входного потока.

Изменения значения ошибки аппроксимации (7) при использовании предлагаемого алгоритма по сравнению с известным алгоритмом, разработанном на основе метода скользящей средней (СС), при прогнозировании коэффициентов вейвлет-разложения, при различных характеристиках поступающей нагрузки (таблица 2), используя различные значения размера скользящего окна (РСО), представлены на рис. 2.

Из представленных результатов следует, что полученные значения ошибки аппроксимации в случае решения задачи прогнозирования с использованием разработанного алгоритма находятся в требуемом интервале (до 10%) при прогнозировании коэффициентов первого, второго, третьего уровней вейвлет-разложения скользящими окнами 256 и 128. В зависимости от динамики поступающего трафика, изменения

нагрузки, выигрыш в эффективности использования разработанного алгоритма по сравнению с известными установлен в диапазоне 5–20 %.

Формирование запроса резервирования ресурса происходит динамически сразу после получения прогноза интенсивности поступления трафика с учетом запросов, совершенных на длительности предыдущих интервалов. С учетом данных особенностей выражение, характеризующее запрос динамического резервирования ресурса, может быть представлено следующим образом:

$$R_з(t_i) = \max\left[\frac{q(kT_{sfr})}{T_{sfr}} + \sum_{j=0}^{T_{ан}} R_{пр}(t_j) - \sum_{j=0}^{T_{ан}} R_з(t_j^*), 0\right] + \\ + R_{пр}(t_i), t_i \in (T_{ан}, T_{пр}], t_j^* \in (0, T_{ан}] \quad (19)$$

где $R_{пр}(t_i)$ – прогноз интенсивности поступления трафика на интервале прогноза; $R_з(t_j^*)$ – статистические значения запросов резервирования ресурса; $R(t_j^*)$ – статистические значения прогнозов интенсивности поступления трафика; $q(kT_{sfr})$ – состояние буфера.

При этом первое слагаемое

$$\max\left[\frac{q(kT_{sfr})}{T_{sfr}} + \sum_{j=0}^{T_{ан}} R_{пр}(t_j) - \sum_{j=0}^{T_{ан}} R_з(t_j^*), 0\right]$$

в выражении (19) позволяет выделить объем пропускной способности для трафика, не обслуженного за предыдущий период $(0, T_{ан}]$.

Если

$$\max\left[\frac{q(kT_{sfr})}{T_{sfr}} + \sum_{j=0}^{T_{ан}} R_{пр}(t_j) - \sum_{j=0}^{T_{ан}} R_з(t_j^*), 0\right] \geq 0,$$

то в буфере ЗС находятся пакеты, для которых должен быть зарезервирован ресурс обратного канала на интервале прогнозирования $(T_{ан}, T_{пр}]$. Если же

$$\max\left[\frac{q(kT_{sfr})}{T_{sfr}} + \sum_{j=0}^{T_{ан}} R_{пр}(t_j) - \sum_{j=0}^{T_{ан}} R_з(t_j^*), 0\right] \leq 0,$$

то система справляется с поступающей нагрузкой и запрос равен прогнозу на интервале прогнозирования.

Заключение

В статье рассмотрен процесс ТУ ССС. Требуемый уровень оперативности ТУ обеспечивается за счет построения качественного прогноза интенсивности пользовательской нагрузки поступающей на ЗС с использованием механизмов на основе дискретного вейвлет-преобразования. Использование предложенных модели и алгоритма, позволяет обеспечить требуемуй уровень оперативности ТУ ССС DVB-RCS в условиях повышенной пользовательской нагрузки.

Литература

1. Владимиров, В. И. Информационные основы радиоподавления линий радиосвязи в динамике радиоэлектронного конфликта: монография / В.И. Владимиров – Воронеж: ВИРЭ, 2003. – С. 97–104.

2. Кириченко, Л. О. Сравнительный анализ статистических свойств оценок показателя Херста / Л.О. Кириченко // Вестник Национального технического университета Харьковского политехнического института. – 2010. – № 21. – С. 88–95.

3. Макаренко, С. И. Методика оценки времени задержки пакета в канале связи в условиях нестабильности вход-

Таблица 2

Характеристики поступающей нагрузки

Выборка трафика	МОЖ, $M[\lambda(t_i)]$ (пак.)	Дисперсия, $D[\lambda(t_i)]$ (пак.)	Стандартное отклонение, S (пак.)	Коэффициент вариации, V	Коэффициент самоподобия, H
а)	20,078	402,638	20,065	0,999	0,58354
б)	12,015	201,599	14,199	1,182	0,86763
в)	8,262	118,014	10,863	1,315	0,87582
г)	6,777	64,082	8,005	1,181	0,87366

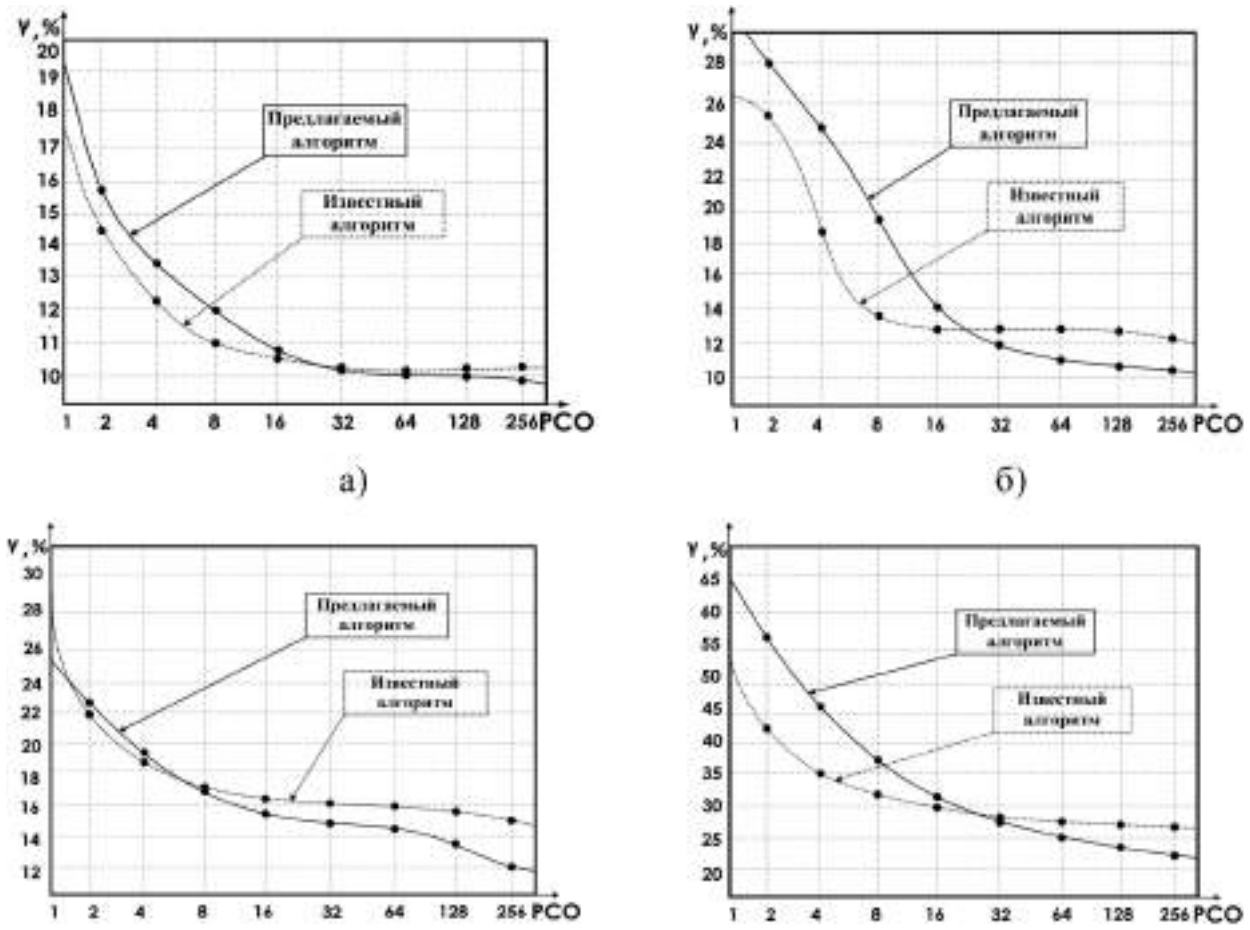

Рис. 2. Средняя ошибка аппроксимации при обратном ДВП, при прогнозировании коэффициентов вейвлет-разложения различными РСО для различных интенивностей входящей (см. таблицу 2) нагрузки

ного трафика / С.И. Макаренко // Инфокоммуникационные технологии. – 2007. – № 3. – С. 95–96.

4. Новиков, Е. А. Оперативное распределение радиоресурса спутникаретранслятора при нестационарном входном потоке сообщений с учетом запаздывания в управлении / Е.А. Новиков // Информационноуправляющие системы. – 2014. – № 2 (69). – С. 79–86.

5. Новиков, Е. А. Оперативное распределение радиоресурса спутника-ретранслятора при нестационарном входном потоке сообщений с учетом запаздывания в управлении / Е.А. Новиков // Информационно-управляющие системы. – 2014. – № 2 (69). – С. 79–86.

6. Новиков, Е. А. Оценка пропускной способности спутника-ретранслятора при резервировании радиоресурса с упреждением / Е.А. Новиков // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. – 2014. – № 3 (15). – С. 62–69.

7. Новиков, Е. А. Оперативное управление ресурсом АТМ-коммутатора при обеспечении заданного качества обслуживания нестационарных информационных потоков / Е.А. Новиков, С.И. Макаренко // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. – 2013. – № 1 (9). – С. 43–52.

8. Стенина, М. М. Согласование прогнозов при решении задач прогнозирования иерархических временных рядов / М.М. Стенина, В.В. Стрижов // Информатика и ее применения. – 2015. – Т. 9, Вып. 2. – С. 75–87.

9. Шелухин, О. И. Причины самоподобия телетрафика и методы оценки показателя Херста / О.И. Шелухин // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2007. – № 1, Т. 3. – С. 5–14.

10. Шелухин, О. И. Самоподобие и фракталы / О.И. Шелухин, С.М. Смолинский, А.В. Осин ; под ред. Шелухина. – М.: Радио и связь, 2000. – 368 с.

Методика поиска многоконтурной защитной структуры на транспортной сети телекоммуникационной системы

Search technique of multiple protective structures on the traffic network of telecommunication system

Жигадло / Zhigadlo V.
Валентин Эдуардович
(Zhigadlo@loniis.ru)
доктор технических наук, доцент.
Филиал ФГУП «Ленинградское отделение центрального научно-исследовательского института связи» (ЛО ЦНИИС), директор.
г. Санкт-Петербург

Зюзин / Zyuzin A.
Александр Николаевич
(alexz01@bk.ru)
кандидат технических наук.
ФГКВОУ ВО «Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного» МО РФ, преподаватель.
г. Санкт-Петербург

Лыжинкин / Lyzhinkin K.
Константин Владимирович
(lkv@loniis.ru)
ЛО ЦНИИС,
заместитель директора.
г. Санкт-Петербург

Ясинский / Jasinski S.
Сергей Александрович
(yasinsky777@mail.ru)
доктор технических наук, доцент.
ЛО ЦНИИС,
научный консультант.
г. Санкт-Петербург

Ключевые слова: адаптивные фильтры – adaptive filters; доплеровская фаза – doppler phase; коэффициенты корреляции – correlation coefficients; обработка сигналов – signal processing; пассивные помехи – clutters; точность оценивания – estimation accuracy; функция правдоподобия – plausibility function.

Рассматривается методика поиска многоконтурных защитных структур для транспортной сети телекоммуникационной системы, которая позволяет найти потоковую структуру системы резервирования и рассчитать резервные пропускные способности ребер сети.

The analysis of adaptive quasioptimal system 'the rejection filter-the multi-channel filter' is carried out in article. Connection between suppression of clutters in system and errors of adaptation of weight adaptive ratio of rejection and multi-channel filters to unknown parameters of clutters is established. The received ratios allow selection the training sample volume depending on the given value of adaptation losses, spectral and correlative properties of a clutter and structure of processing system.

В настоящее время во всем мире создаются телекоммуникационные системы (ТКС) на самых современных сетевых и информационных технологиях, позволяющих предоставлять пользователям самые разнообразные услуги, начиная от цифровой телефонии и заканчивая услугами мультимедиа. Соответственно, транспортные сети (ТС), обеспечивающие работу телекоммуникационных систем, усложняются, становятся все более производительными и неоднородными. При этом любые повреждения ТС ТКС приводят к потерям передаваемой информации в ТКС. Таким образом, задача совершенствования систем резервирования ТС ТКС приобретает особую важность и актуальность.

В настоящее время активно используются варианты резервирования линейного тракта (секций мультиплексирования) или соединения (тракта высокого или низкого порядка, оптических каналов, виртуальных соединений при пакетной передаче), которые реализуются методами 1+1, 1:N или резервированием методом самовосстанавливающихся колец. Кроме того, для резервирования высокосвязных топологических структур исследуются механизмы резервирования на основе p-циклов (*p-cycle, preconfigured protection cycle*), для резервирования ТС ТКС с неоднородной потоковой структурой рассматривают многоконтурные защитные структуры (МЗС) [1–5].

Под МЗС понимают замкнутый контур с резервной пропускной способностью на ТС ТКС, который декомпозируется на линиях передачи с избыточной пропускной способностью на несколько замкнутых контуров с меньшей пропускной способностью. Целевая функция, учитывающая требование по снижению избыточности пропускной способности сетевого резерва МЗС, выглядит следующим образом [5]:

$$U^{\text{МЗС}}_{\text{рез.}} = \sum_{k=1}^{K} \sum_{\substack{i,j=1 \\ i \neq j}}^{N} c^{k}_{ij} \times u^{k}_{ij} \to \min, \quad (1)$$

где: K – количество защитных контуров в МЗС, u^k_{ij} – резервная пропускная способность k-го защитного контура (k – индекс (порядковый номер) защитного контура), а

$$c^k_{ij} = \begin{cases} 1, \text{ если } k\text{-й защитный контур} \\ \text{проходит через ребро } b_{ij} \\ 0, \text{ в противном случае} \end{cases}.$$

Задача поиска МЗС как подсистемы ТС ТКС заключается в определении ее потоковой структуры. Потоковая структура МЗС, в свою очередь, будет представлять собой взаимосвязанную конструкцию структур всех защитных контуров входящих в состав МЗС. Для формализации этой задачи удобно использовать известные элементы теории графов, где многосвязная потоковая структура ТС ТКС, изображенная в качестве примера на рис. 1, моделируется ненаправленным графом $G = \{A, B, U, L\}$. В этом графе множество вершин $A = \{a_i;\ i = \overline{1, N}\}$ соответствует множеству узлов ТС с общим числом N, а множество ребер $B = \{b_{ij}; i, j = \overline{1, N}; i \neq j\}$ описывает линии передачи между этими узлами, на котором определены: матрица пропускных способностей $U = \{u_{ij};\ i, j = \overline{1, N};\ i \neq j\}$ и значения длин линий передачи $L = \{l_{ij};\ i, j = \overline{1, N};\ i \neq j\}$. При этом требуется найти некоторое множество защитных контуров $C = \{C^k;\ k = \overline{1, K}\}$, где K – количество контуров, в котором каждый защитный контур определяется множеством образующих его ребер $C^k = \{c^k_{ij};\ i, j = \overline{1, N};\ i \neq j\}$ и множеством пропускных способностей этих ребер $U^k = \{u^k_{ij};\ i, j = \overline{1, N};\ i \neq j\}$.

Таким образом, задачу поиска МЗС для ТС ТКС целесообразно декомпозировать на две подзадачи:

– подзадача определения резервных пропускных способностей МЗС для линий передачи $U_{рез} = \{u^{рез.}_{ij};\ i, j = \overline{1, N};\ i \neq j\}$, которые являются подмножеством множества пропускных способностей графа $G = \{A, B, U, L\}$, $U_{рез}(B) \in U(B)$;

– подзадача определения взаимоувязанных конструкций потоковых структур защитных контуров $C^k = \{c^k_{ij};\ i, j = \overline{1, N};\ i \neq j\}$ с расчетом пропускных способностей каждого контура $U^k = \{u^k_{ij};\ i, j = \overline{1, N};\ i \neq j\}$.

Решение первой подзадачи будет состоять в определении резервных пропускных способностей МЗС для линий передачи $U_{рез.} = \{u^{рез.}_{ij};\ i, j = \overline{1, N};\ i \neq j\}$, которые нужно учитывать при синтезе потоковой структуры ТС ТКС $G = \{A, B, U, L\}$.

Решением второй подзадачи будет определение топологических $C^k = \{c^k_{ij};\ i, j = \overline{1, N};\ i \neq j\}$ и потоковых структур $U^k = \{u^k_{ij};\ i, j = \overline{1, N};\ i \neq j\}$ защитных контуров, которые будут использоваться при технической реализации и выстраивании логики работы МЗС на реальном участке сети ТС ТКС.

Для решения первой подзадачи – определения резервных пропускных способностей линий передачи ТС ТКС, предлагается использовать следующий алгоритм (рис. 2) [6]:

1. В матрице пропускных способностей $U = \|u_{ij}\|$ находится элемент с максимальным значением пропускной способности – $U_{max} = \max\|u_{ij}\|$.

2. Между узлами, инцидентными ребру, найденному в предыдущем пункте, производится поиск кратчайшего

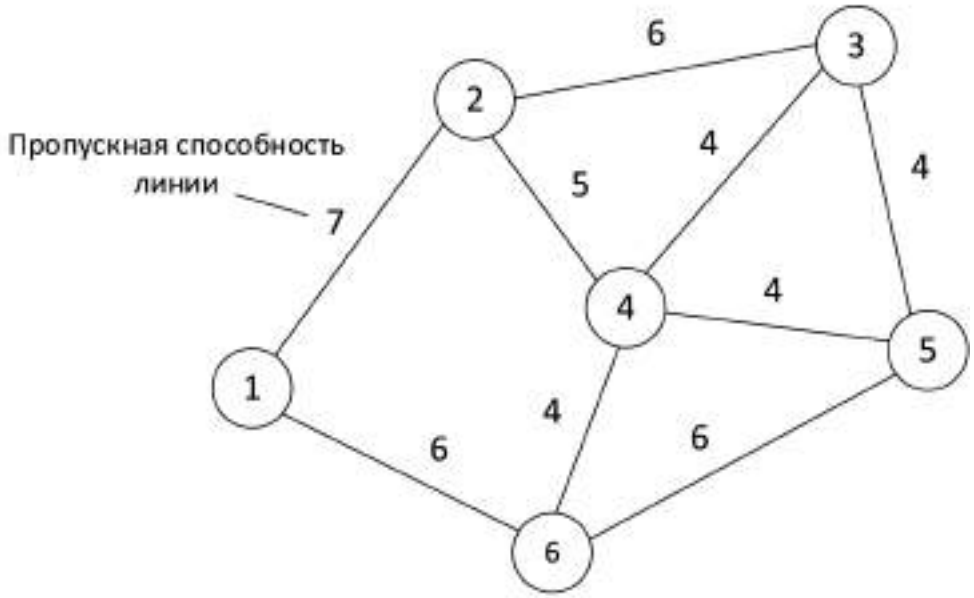

Рис. 1. Пример многосвязной потоковой структуры ТС ТКС с различными значениями пропускных способностей линий передачи

пути на полной матрице $L = \|l_{ij}\|$, например при помощи алгоритма Дейкстры [7]. Ребра, вошедшие в кратчайший путь и ребро с максимальным значением пропускной способности, формируют первичный защитный контур. При этом защитный контур соответствует ориентированному по часовой стрелке подграфу $G^1\{A^1, B^1, U^1\}$.

3. Из матрицы пропускных способностей $U = \|u_{ij}\|$ вычеркиваются элементы, вошедшие в подграф $G^1\{A^1, B^1, U^1\}$ (соответствующим значениям присваивается ноль), а процедура поиска первичного защитного контура повторяется (шаги 2–5). Если в результате работы шага 5 матрица пропускных способностей обнулена (все значения равны нулю), то выполняется шаг 7.

4. Производится процедура объединения полученного в шаге 5 множества ориентированных графов $G^k\{A^k, B^k, U^k\}$. В результате формируется матрица резервных пропускных способностей $G^k\{A^k, B^k, U^k\}$.

Для решения второй подзадачи предлагается на существующем графе $G = \{A, B, U, L\}$ с найденными в ходе решения первой подзадачи значениями резервных пропускных способностей $U_{\text{рез}} = \{u^{\text{рез.}}{}_{ij};\ i, j = \overline{1, N};\ i \neq j\}$ выполнить его декомпозицию на неориентированные циклы с учетом минимальных значений резервных пропускных способностей [8].

Для рассмотрения порядка решения второй подзадачи предлагается использовать алгоритм определения структуры защитных контуров МЗС с расчетом их пропускных способностей (рис. 3), который состоит в следующем:

1. В матрице резервных пропускных способностей $U_{\text{рез}} = \|u^{\text{рез.}}{}_{ij}\|$ находится элемент с минимальным и максимальным значением резервной пропускной способности, то есть $U^{\text{рез.}}{}_{\min} = \min\|u^{\text{рез}}{}_{ij}\|$ и $U^{\text{рез.}}{}_{\max} = \max\|u^{\text{рез}}{}_{ij}\|$.

2. Между инцидентными узлами ребру $U^{\text{рез.}}{}_{\min} = \min\|u^{\text{рез}}{}_{ij}\|$, найденному в предыдущем пункте, производится поиск кратчайшего пути на полной матрице $L = \|l_{ij}\|$. Для этого возможно использовать алгоритм Дейкстры, но с таким учетом, чтобы найденный путь включал ребро $U^{\text{рез.}}{}_{\max} = \max\|u^{\text{рез}}{}_{ij}\|$. Ребра, вошедшие в кратчайший путь, и ребра с максимальным и минимальным значением резервной пропускной способности формируют защитный контур $C^k = \{c^k{}_{ij};\ i, j = \overline{1, \mathrm{N}};\ i \neq j\}$ с последующим определением его пропускных способностей $U^k = \{u^k{}_{ij};\ i, j = \overline{1, N};\ i \neq j\}$, которые будут соответствовать $U^{\text{рез.}}{}_{\min} = \min\|u^{\text{рез}}{}_{ij}\|$ для каждого ребра защитного контура.

3. Из матрицы резервных пропускных способностей $U_{\text{рез}} = \|u^{\text{рез.}}{}_{ij}\|$ вычитаются значения пропускных способностей найденного контура $U^k = \{u^k{}_{ij};\ i, j = \overline{1, N};\ i \neq j\}$. В случае достижения нулевого значения элемента матрицы $U_{\text{рез}} = \|u^{\text{рез.}}{}_{ij}\|$ соответствующее ребро в шаге 2 не рассматривается. Процедура поиска защитных контуров (шаг 2–5) повторяется до полного обнуления матрицы резервных пропускных способностей $U_{\text{рез}} = \|u^{\text{рез.}}{}_{ij}\|$.

Результатом работы алгоритма является определенное множество защитных контуров $C = \{\mathrm{C}^k;\ k = \overline{1, K}\}$, где каждый защитный контур определен множеством ребер его образующих $C^k = \{c^k{}_{ij};\ i, j = \overline{1, \mathrm{N}};\ i \neq j\}$ и пропускными способностями ребер $U^k = \{u^k{}_{ij};\ i, j = \overline{1, N};\ i \neq j\}$, входящих в каждый контур.

Для оценки адекватности предложенной методики рассмотрим пример поиска МЗС для ТС ТКС. На первом этапе определим резервные пропускные способности линий передачи. Пример решения этой подзадачи методики рассмотрим на высокосвязной потоковой структуре ТС ТКС, представленной на рис. 1, которая характеризуется матрицей пропускных способностей (выражение 2) и матрицей расстояний (выражение 3):

$$U = \begin{Vmatrix} - & 7 & 0 & 0 & 0 & 6 \\ 7 & - & 6 & 5 & 0 & 0 \\ 0 & 6 & - & 4 & 4 & 0 \\ 0 & 5 & 4 & - & 4 & 4 \\ 0 & 0 & 4 & 4 & - & 6 \\ 6 & 0 & 0 & 4 & 6 & - \end{Vmatrix}; \tag{2}$$

$$L = \begin{Vmatrix} - & 35 & 0 & 0 & 0 & 35 \\ 35 & - & 40 & 25 & 0 & 0 \\ 0 & 40 & - & 40 & 30 & 0 \\ 0 & 25 & 40 & - & 30 & 25 \\ 0 & 0 & 30 & 30 & - & 45 \\ 35 & 0 & 0 & 25 & 45 & - \end{Vmatrix}. \tag{3}$$

В соответствии с предложенной методикой воспользуемся алгоритмом поиска резервных пропускных способностей – $U_{\text{рез}} = \{u^{\text{рез.}}{}_{ij};\ i, j = \overline{1, N};\ i \neq j\}$. Для этого:

1. Найдем ребро 1–2 с максимальным значением пропускной способности: $U_{\max} = \max\|7_{12}\|$.

2. Найдем кратчайший путь от вершины 2 к вершине 1 без учета ребра 1–2 и получим ориентированный по часовой стрелке цикл №1 (рис. 4).

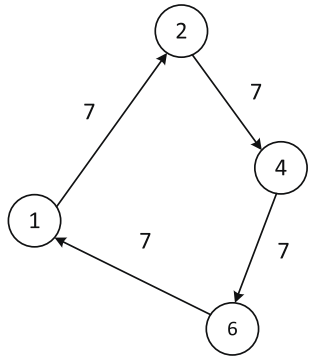

Рис. 4. Ориентированный цикл №1 для примера расчета

Рис. 2. Алгоритм поиска резервных пропускных способностей

Рис. 3. Алгоритм определения структуры защитных контуров МЗС с расчетом их пропускных способностей

3. Матрица пропускных способностей, полученная после удаления ребер, которые вошли в ориентированный цикл №1, имеет следующий вид:

$$U' = \begin{Vmatrix} - & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & - & 6 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 6 & - & 4 & 4 & 0 \\ 0 & 0 & 4 & - & 4 & 0 \\ 0 & 0 & 4 & 4 & - & 6 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 6 & - \end{Vmatrix}. \quad (4)$$

4. Найдем ребро с максимальным значением пропускной способности для матрицы (выражение 4) – это ребро 2–3 с пропускной способностью 6: $U_{\max} = \max\|6_{23}\|$.

5. Найдем кратчайший путь от вершины 3 к вершине 2 без учета ребра 2–3 и получим ориентированный по часовой стрелке цикл №2 (рис. 5).

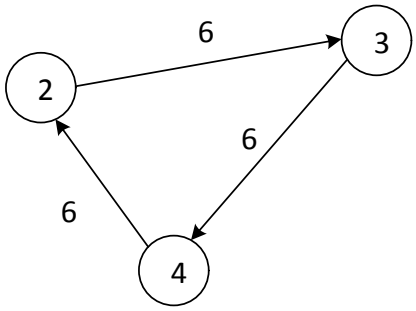

Рис. 5. Ориентированный цикл №2 для примера расчета

6. Матрица пропускных способностей, полученная после удаления ребер, которые вошли в ориентированный цикл №2, имеет следующий вид:

$$U'' = \begin{Vmatrix} - & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & - & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & - & 0 & 4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & - & 4 & 0 \\ 0 & 0 & 4 & 4 & - & 6 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 6 & - \end{Vmatrix}. \quad (5)$$

7. Найдем ребро с максимальным значением пропускной способности для матрицы (выражение 5) – это ребро 5–6 с пропускной способностью 6: $U_{\max} = \max\|6_{56}\|$.

8. Найдем кратчайший путь от вершины 5 к вершине 6, без учета ребра 5–6, и получим ориентированный по часовой стрелке цикл №3 (рис.6).

9. Матрица пропускных способностей, полученная после удаления ребер, которые вошли в ориентированный цикл №3, имеет следующий вид:

$$U''' = \begin{Vmatrix} - & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & - & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & - & 0 & 4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & - & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 4 & 0 & - & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & - \end{Vmatrix}. \quad (6)$$

10. Найдем ребро с максимальным значением пропускной способности для матрицы (выражение 6) – это ребро 3–5 с пропускной способностью 4: $U_{\max} = \max\|4_{35}\|$.

11. Найдем кратчайший путь от вершины 3 к вершине 5, без учета ребра 3–5 и получим ориентированный по часовой стрелке цикл №4 (рис. 7).

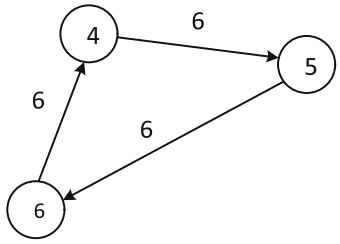

Рис. 6. Ориентированный цикл №3 для примера расчета

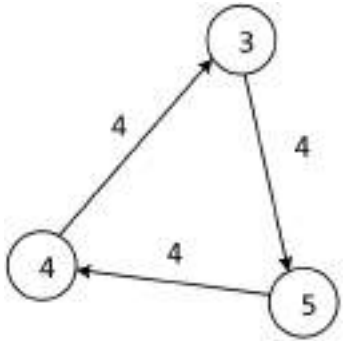

Рис. 7. Ориентированный цикл №4 для примера расчета

12. Матрица пропускных способностей, которая получилась после удаления ребер вошедших в ориентированный цикл №4 (нулевая). После объединения ориентированных циклов №1, №2, №3 и №4 получится структура ТС, представленная на рис. 8.

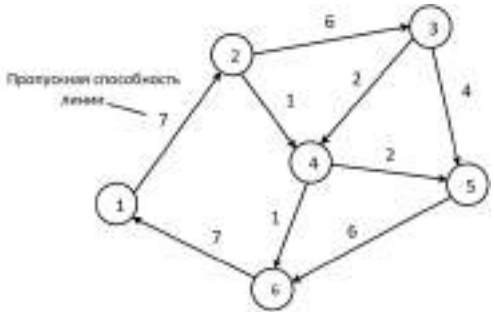

Рис. 8. Структура ТС, полученная в результате объединения ориентированных циклов №1, №2, №3 и №4

Суммарная резервная пропускная способность для этой структуры составит 36 условных единиц пропускной способности, а матрица резервных пропускных способностей будет иметь следующий вид:

$$U_{\text{рез.}} = \begin{Vmatrix} - & 7 & 0 & 0 & 0 & 7 \\ 7 & - & 6 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 6 & - & 2 & 4 & 0 \\ 0 & 1 & 2 & - & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 4 & 2 & - & 6 \\ 7 & 0 & 0 & 1 & 6 & - \end{Vmatrix}. \quad (7)$$

Результатом решения подзадачи определения резервных пропускных способностей линий передачи ТС ТКС являются полученные значения резервных пропускных способностей линий передачи, то есть $U_{\text{рез}} = \left\{ u^{\text{рез.}}_{ij};\ i, j = \overline{1, N};\ i \neq j \right\}$.

Далее в соответствии с предлагаемой методикой приступим к решению второй подзадачи определения структуры защитных контуров МЗС с расчетом их пропускных способностей (рис.3):

1. В матрице резервных пропускных способностей (7) находим элемент с минимальным и максимальным значением резервной пропускной способности: $U^{\text{рез.}}_{\min} = \min \left\| 1^{\text{рез}}_{24} \right\|$ и $U^{\text{рез.}}_{\max} = \max \left\| 7^{\text{рез}}_{12} \right\|$.

2. Находим кратчайший путь от вершины 2 к вершине 4 без учета ребра 2–4, но с учетом ребра 1–2. В результате получили защитный контур №1 для примера расчета (рис. 9) с пропускной способностью 1.

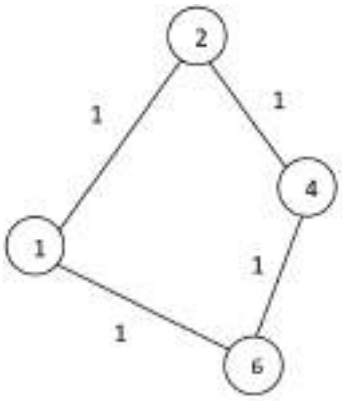

Рис. 9. Защитный контур №1 для примера расчета

3. Из матрицы резервных пропускных способностей (7) вычитаем значения пропускных способностей защитного контура №1, в результате чего полученная матрица будет иметь следующий вид:

$$U'_{\text{рез.}} = \begin{Vmatrix} - & 6 & 0 & 0 & 0 & 6 \\ 6 & - & 6 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 6 & - & 2 & 4 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & - & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 4 & 2 & - & 6 \\ 6 & 0 & 0 & 0 & 6 & - \end{Vmatrix}. \quad (6)$$

4. В матрице (8) находим элемент с минимальным и максимальным значением резервной пропускной способности, то есть $U^{\text{рез.}}_{\min} = \min \left\| 2^{\text{рез}}_{34} \right\|$ и $U^{\text{рез.}}_{\max} = \max \left\| 6^{\text{рез}}_{12} \right\|$.

5. Находим кратчайший путь от вершины 3 к вершине 4 без учета ребра 3–4, но с учетом ребра 1–2, в результате чего получим защитный контур №2 для примера расчета (рис. 10) с пропускной способностью 2.

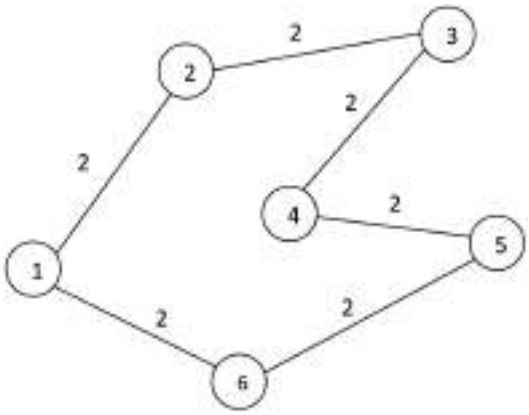

Рис. 10. Защитный контур №2 для примера расчета

6. Из матрицы резервных пропускных способностей (8) вычитаем значения пропускных способностей защитного контура №2. Полученная матрица будет иметь следующий вид:

$$U''_{\text{рез.}} = \begin{Vmatrix} - & 4 & 0 & 0 & 0 & 4 \\ 4 & - & 4 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 4 & - & 0 & 4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & - & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 4 & 0 & - & 4 \\ 4 & 0 & 0 & 0 & 4 & - \end{Vmatrix}. \quad (9)$$

7. В матрице (9) находим элемент с минимальным и максимальным значением резервной пропускной способности, то есть $U^{\text{рез.}}_{\min} = \min \left\| 4^{\text{рез}}_{12} \right\|$ и $U^{\text{рез.}}_{\max} = \max \left\| 4^{\text{рез}}_{12} \right\|$.

8. Находим кратчайший путь от вершины 1 к вершине 2 без учета ребра 1–2, в результате чего получим защитный контур №3 для примера расчета (рис. 11) с пропускной способностью 4.

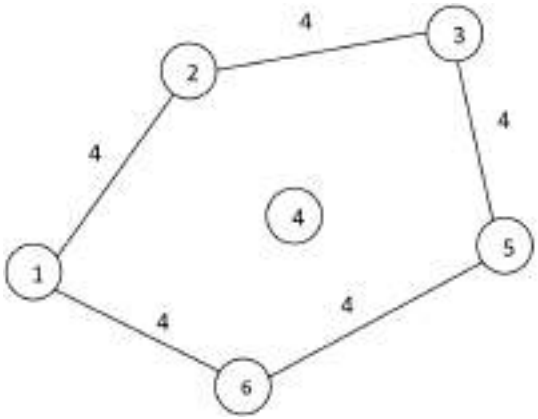

Рис. 11. Защитный контур №3 для примера расчета

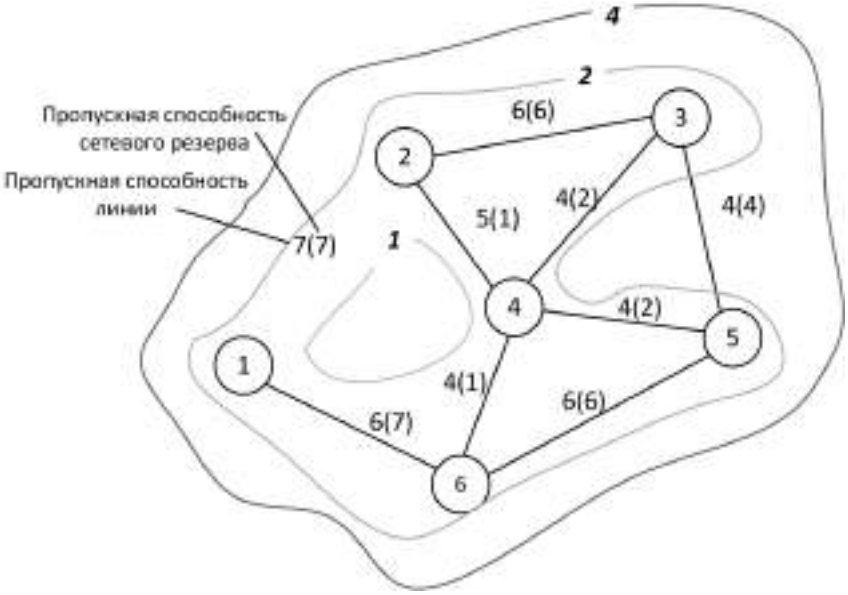

Рис. 12 . Структура ТС при резервировании многоконтурной защитной структурой

9. Из матрицы резервных пропускных способностей (9) вычитаются значения пропускных способностей защитного контура №3, а полученная матрица будет нулевой. Таким образом, найдены три защитные структуры контуров №1, №2 и №3 и определены их пропускные способности – 1, 2 и 4, соответственно (рис. 12).

Таким образом, найдена потоковая структура МЗС, которая представляет собой в качестве примера взаимоувязанные структуры защитных контуров с рассчитанными пропускными способностями для каждого защитного контура МЗС (рис. 12). Полученный результат исследования подтверждает работоспособность предложенной методики. Следовательно, рассмотренная методика поиска МЗС на ТС ТКС может использоваться при решении задач планирования и развития современных ТС ТКС с учетом сетевого резервирования для ТС.

Дальнейшие направления исследований по оптимальному поиску МЗС для ТС ТКС будут направлены на моделирование работы МЗС при различных моделях воздействия злоумышленников и на формулирование предложений по технической реализации МЗС для ТС ТКС. Внедрение рассмотренного механизма организации резервирования позволит существенно снизить затраты на организацию резерва и значительно повысить эффективность затрат на построение и эксплуатацию ТС ТКС [5].

Литература

1. Зюзин, А. Н. Совершенствование систем сетевого резервирования транспортной сети магистрального оператора связи / А.Н. Зюзин, И.С. Каминецкий // Электросвязь. – 2005. – № 11. – С. 18.

2. New option and insights for survivable transport networks / W.D. Grover [et al.] // IEEE Communications Magazine, January 2002. – P. 34–41.

3. Grover, W. D. The Forcer Concept and Express Route Planning in Meshsurvivable Networks / W. D. Grover, D. Y. Li // Journal of Network and Systems Management. – 1999. – Vol. 7, No. 2. – P. 199–223.

4. Подход к поиску отказоустойчивой структуры транспортной сети телекоммуникационной системы на основе *p*-циклов / В.В. Ефимов [и др.] // Информация и Космос. – 2016. – № 3. – С. 36–39.

5. Ефимов, В. В. Модификация кольцевых механизмов резервирования для неравномерных потоковых структур транспортных сетей связи / В.В. Ефимов, С.А. Ясинский, А.Н. Зюзин // Электросвязь. – 2016. – № 12. – С. 68–70.

6. Алгоритм определения резервной пропускной способности линий передачи транспортной сети телекоммуникационной системы для многоконтурных защитных структур / В.В. Ефимов [и др.] // Информация и Космос. – 2017. – № 1. – С. 29–33.

7. Майника, Э. Алгоритмы оптимизации на сетях графах / Э. Майника ; Пер. с англ. М.Б. Кацнельсона, М.И. Рубинштейна; под редакцией Е.К. Масловского. – М.: Мир, 1981. – 323 с.

8. Алгоритм определения защитных контуров для многоконтурных защитных структур на транспортной сети телекоммуникационной системы / В.В. Ефимов [и др.] // Информация и Космос. – 2017. – № 2. – С. 42–47.

Аналитическое представление крупноапертурной стационарной фазированной антенной решетки

Analytical representation of the stationary cophased array

Козлов / Kozlov N.
Николай Аифалович
(Kna.32@yandex.ru)
кандидат технических наук, доцент.
ФГБВОУ ВО «Военно-космическая академия имени А. Ф. Можайского» МО РФ (ВКА им. А. Ф. Можайского),
старший научный сотрудник.
г. Санкт-Петербург

Прокофьев / Prokofjev A.
Александр Валерьевич
(prokofjev_alexander@mail.ru)
кандидат технических наук.
ВКА имени А. Ф. Можайского,
начальник научно-исследовательского отдела.
г. Санкт-Петербург

Сергеев / Sergeev D.
Дмитрий Викторович
(sergeevdmitriyV@yandex.ru)
кандидат технических наук.
ВКА имени А. Ф. Можайского,
начальник научно-исследовательской лаборатории – старший научный сотрудник.
г. Санкт-Петербург

Андриевская / Andrievskaya V.
Виктория Юрьевна
(vika75_07@mail.ru)
кандидат физико-математических наук, доцент.
ВКА имени А. Ф. Можайского,
старший научный сотрудник.
г. Санкт-Петербург

Ключевые слова: фазированная антенная решетка – cophased array; геодезический контроль – geodesic control; деформация – deformation; азимут и угол места нормали – azimuth and elevation.

Статья посвящена аналитическому представлению крупноапертурной стационарной фазированной антенной решетки. Акцентируется внимание на определении геодезических параметров нормали в точке к деформированной поверхности полотна фазированной антенной решетки и фактических параметров шагов между излучателями в пространственной прямоугольной системе координат по положению конечных элементов эквивалентных линейных антенных решеток. Доказывается возможность методического устранения погрешностей сканирования диаграммой направленности антенны, вызываемых деформациями фазированной антенной решетки от нагрузок и воздействий внешней среды.

Article is devoted to analytical representation of stationary cophased array. Attention is focused on determination of geodesic parameters standard in a point to the deformed surface of a cophased array cloth and the actual parameters of steps between radiators in a spatial rectangular coordinate system under the provision of terminal elements of the equivalent linear arrays. The possibility of methodical elimination of the errors of scanning by the direction characteristic of the array caused by deformations of the cophased array from loadings and influences of an external environment is proved.

С позиции геометрии крупноапертурная стационарная фазированная антенная решетка (ФАР) описывается как совокупность простейших слабонаправленных излучателей, размещаемых в проектной плоскости антенного полотна через равные шаги по строкам и столбцам линейных антенных решеток [1]. Такое представление ФАР содержит некоторую неопределенность, обуславливающую необходимость учета параллельности строк излучателей к плоскости земного горизонта и перпендикулярности столбцов излучателей к ним и др. Совокупность независимых уточняющих условий затрудняет решение прикладных задач и негативно отражается на этапах создания и эксплуатации ФАР.

С целью обеспечения принципа формирования диаграммы направленности (ДН) антенны, нормативно-технической документацией предъявляются допуски к взаимному положению антенных секций, модулей, равенству шагов между излучателями.

Но даже при их соблюдении фактическая геометрия антенного полотна может отличаться от проекта. Так, например, в результате поэтапного приведения конечного элемента (излучателя) столбца линейной антенной решетки (АР) в проектное положение, прямая $OM-1$ принимает форму ломаной линии $O\,1'\,2'\,m'...\,M-1'$ (рис. 1).

Существующее аналитическое представление ФАР [2] отразилось и на их геодезическом обеспечении, основной задачей которого является определение и

Рис. 1. Приведение элементов АР

контроль азимута и угла места нормали к плоскости антенного полотна. По всей видимости, предполагалось, что другие параметры ФАР соответствуют проектным требованиям. Однако ряд экспериментальных исследований свидетельствует, что в процессе создания и эксплуатации ФАР подвержены деформациям сложного характера (осадки, крены, прогибы, азимутальные развороты) [3].

Неопределенность в аналитическом представлении ФАР удается устранить в том случае, если ФАР представить как совокупность излучателей, размещаемых через равные шаги между излучателями d_x, d_y, d_z в системе координат $\{Oxyz\}$ (рис. 2).

Величины шагов d_x, d_y, d_z первичны и при их постоянстве все излучатели размещаются в одной плоскости, что позволяет осуществлять переход к размерности шагов в плоскости антенного полотна d_n, d_m, к кренам строк и столбцов линейных антенных решеток. В процессе строительно-монтажных работ размещение излучателей необходимо контролировать в системе координат антенной решетки с началом в нулевом излучателе (O), вычисляемым по значениям проектных шагов:

$$x_i = x_0 + nd_x;\ y_i = y_0 + md_y;\ z_i = z_0 + md_z, \qquad (1)$$

где x_i, y_i, z_i – пространственное положение излучателей;

x_0, y_0, z_0 – пространственное положение нулевого излучателя (O);

n – порядковый номер столбца линейной АР, $n \in 0...N-1$;

m – порядковый номер строки линейной АР, $m \in 0...M-1$.

Контроль взаимного положения излучателей ФАР с учетом формулы (1) способствует устранению накопления погрешностей в процессе возведения конструкции ФАР.

На практике предъявляются повышенные требования к точности определения взаимного положения излучателей ФАР. Применение современных электронных тахеометров и методики [4] позволяет осуществлять геодезический контроль параметров x_i, y_i, z_i со средней квадратической погрешностью, не превышающей 1 мм.

Необходимо отметить, что приращения параметров приводят к появлению следующих погрешностей радиолокационных измерений – смещению в исходном положении ДН антенны и погрешностям ее сканирования в главных плоскостях (азимутальной и угломестной). С учетом этого геодезическое обеспечение ФАР должно сводиться к решению следующих задач:

– определению исходных геодезических параметров (азимута и угла места) нормали в точке к поверхности деформированного полотна ФАР;

– созданию условий методической компенсации погрешностей сканирования, вызываемых несоответствием фактических и проектных значений параметров шагов между излучателями АР.

Решение этих задач рассмотрим на примере геометрической интерпретации деформированной линейной АР, проекции которой в плоскостях XOY и XOZ представлены ломаными линиями (рис. 3).

В данном случае положение элементов решетки не совпадает с их проектными значениями на величины средних искажений параметров d_x, d_y, d_z в соответствующих столбцах (строках), вызываемых откло-

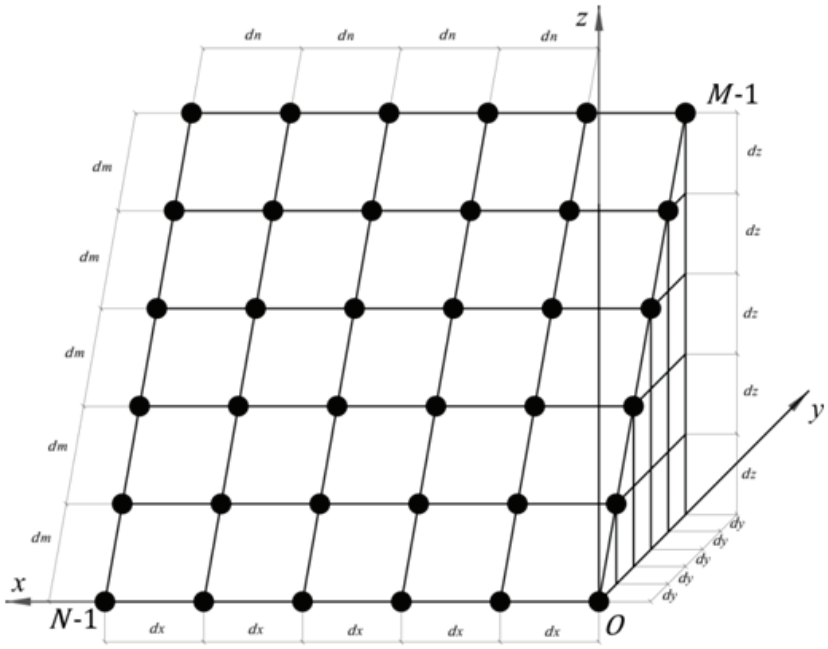

Рис. 2. Представление исходных параметров в пространственной прямоугольной системе координат

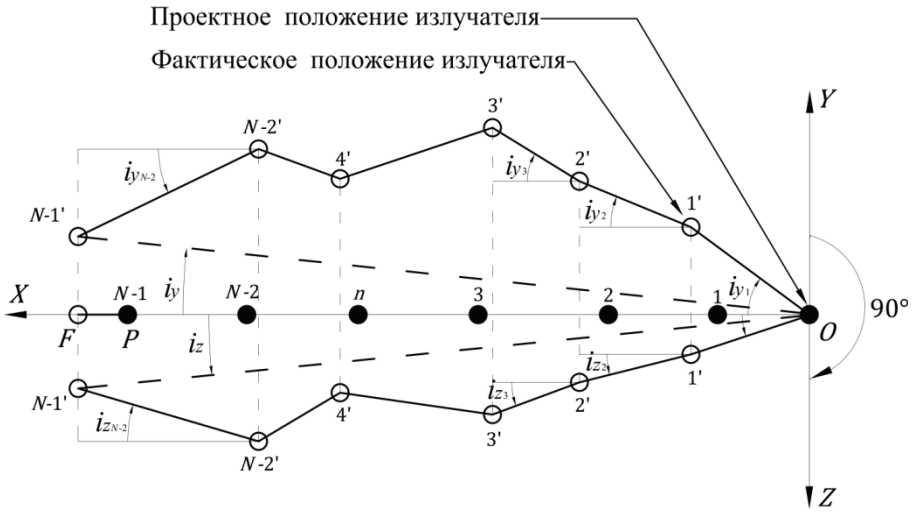

Рис. 3. Геометрическая интерпретация деформированной линейной АР

нениями координат излучателей от их проектного положения.

Обозначим координаты элементов деформированной линейной решетки через X_n, Y_n, Z_n, тогда малые развороты i_{y_n}, i_{z_n} сторон линейных решеток, вызывающие смещение диаграммы направленности антенны по азимуту и углу места, можно представить следующими выражениями:

$$i_{y_1} = \rho\frac{(Y_1 - Y_0)}{d_x};\ i_{y_2} = \rho\frac{(Y_2 - Y_1)}{d_x};\ i_{y_{N-1}} = \rho\frac{(Y_{N-1} - Y_{N-2})}{d_x};$$
$$i_{z_1} = \rho\frac{(Z_1 - Z_0)}{d_x};\ i_{z_2} = \rho\frac{(Z_2 - Z_1)}{d_x};\ i_{z_{N-1}} = \rho\frac{(Z_{N-1} - Z_{N-2})}{d_x}, \quad (2)$$

где

Y_0, Y_1, $Y_2,...,Y_{N-2}, Y_{N-1}$, – координаты излучателей в плоскости XOY;

Z_0, Z_1, $Z_2,...,Z_{N-2}, Z_{N-1}$, – координаты излучателей в плоскости XOZ;

i_{y_1}, i_{y_2}, $i_{y_{N-1}}$ –крены сторон между смежными излучателями в плоскости XOY;

i_{z_1}, i_{z_2}, $i_{z_{N-1}}$ – крены сторон между смежными излучателями в плоскости XOZ;

ρ – количество секунд в радиане, $\rho = 206265''$.

Величины среднего разворота сторон линейной решетки по азимуту и углу места рассчитываются по формулам

$$i_y = \rho\frac{(Y_{N-1} - Y_0)}{(N-1)\cdot d_x};\ i_z = \rho\frac{(Z_{N-1} - Z_0)}{(N-1)\cdot d_x}, \quad (3)$$

где i_y, i_z – величина среднего разворота сторон линейной решетки по азимуту, углу места;

$N-1$ – количество сторон линейной решетки.

Из формул (3) видно, что величина среднего разворота линейной решетки зависит от положения ее крайних элементов Z_{N-1}, Z_0 и Y_{N-1}, Y_0. К аналогичному заключению приходим и по многоугольнику с вершинами O, $1'$, $2'$, $n,...,N-1'$ (рис. 3). При относительно малых разворотах отдельных сторон линейной решетки сумма положительных и отрицательных разворотов между элементами относительно прямой $ON-1'$ равна нулю, а среднему развороту строки линейной решетки относительно оси OX соответствует угол i. При этом длина отрезка PF равна сумме искажений шагов решетки по оси OX, а ее величина определяет суммарную погрешность в углах сканирования ДН антенны. Так, погрешность максимума излучения в направлении $\theta_м$ от приращения шага Δd одной стороны строки (столбца) линейной АР определяется формулой

$$\Delta\theta_м = \rho\cdot \mathrm{tg}\theta\frac{\Delta d}{d} \quad (4)$$

где θ – направление излучения ДН антенны;

d – шаг строки (столбца) линейной АР.

Тогда при условии равенства нулю суммы всех погрешностей шагов строки (столбца) линейной АР, суммарная погрешность сканирования относительно всех сторон решетки также будет равна нулю, а максимум диаграммы направленности совпадет с перпендикуляром к строке $ON-1'$.

Условие взаимной компенсации погрешностей сканирования достигается, если проектные шаги строк (столбцов) линейной АР заменить их фактическими величинами, вычисляемыми по координатам конечных элементов эквивалентной линейной АР.

Таким образом, контроль деформаций ФАР должен сводиться к определению плоских прямоугольных координат и высот излучателей, размещаемых по контуру ФАР с последующим вычислением по ним координат элементов строки и координат элементов столбца эквивалентных линейных АР по формулам

Таким образом, контроль деформаций ФАР должен сводиться к определению плоских прямоугольных координат и высот излучателей, размещаемых по контуру ФАР с последующим вычислением по ним координат элементов строки $\{N-1;\ O\}$ и координат элементов столбца $\{M-1;\ O\}$ эквивалентных линейных АР по формулам

$$X_{N-1} = \frac{\sum_0^{M-1}(x_{N-1} - x_0)}{M};\ Y_{N-1} = \frac{\sum_0^{M-1}(y_{N-1} - y_0)}{M};$$
$$Z_{N-1} = \frac{\sum_0^{M-1}(z_{N-1} - z_0)}{M};$$
$$X_{M-1} = \frac{\sum_0^{N-1}(x_{M-1} - x_0)}{N};\ Y_{M-1} = \frac{\sum_0^{N-1}(y_{M-1} - y_0)}{N};$$
$$Z_{M-1} = \frac{\sum_0^{N-1}(z_{M-1} - z_0)}{N}, \quad (5)$$

где X_{N-1}, Y_{N-1}, Z_{N-1} – пространственные прямоугольные координаты элементов строки АР;

X_{M-1}, Y_{M-1}, Z_{M-1} – пространственные прямоугольные координаты элементов столбца АР;

x_{N-1}, y_{N-1}, z_{N-1} – плоские прямоугольные координаты и высоты строки излучателей в плоскости АР;

x_{M-1}, y_{M-1}, z_{M-1} – плоские прямоугольные координаты и высоты столбца излучателей в плоскости АР;

M, N – количество строк, столбцов излучателей АР.

Далее по координатам конечных элементов линейной решетки вычисляют фактические шаги строки и столбца линейной АР

$$d^{ф}_{X(n)} = \frac{X_{N-1}}{N-1};\ d^{ф}_{Y(n)} = \frac{Y_{N-1}}{N-1};\ d^{ф}_{Z(n)} = \frac{Z_{N-1}}{N-1};$$
$$d^{ф}_{X(m)} = \frac{X_{M-1}}{M-1};\ d^{ф}_{Y(m)} = \frac{Y_{M-1}}{M-1};\ d^{ф}_{Z(m)} = \frac{Z_{M-1}}{M-1}, \quad (6)$$

где $d^{ф}_{X(n)}$, $d^{ф}_{Y(n)}$, $d^{ф}_{Z(n)}$ – фактические шаги строки излучателей линейной АР в общеземной системе координат;

$d^{ф}_{X(m)}$, $d^{ф}_{Y(m)}$, $d^{ф}_{Z(m)}$ – фактические шаги столбца излучателей линейной АР общеземной системе координат.

После чего рассчитывают фактический шаг строки $d^{ф}_{n}$, столбца $d^{ф}_{m}$ в плоскости АР по формулам

$$d^{ф}_{n} = \sqrt{\left(d^{ф}_{X(n)}\right)^2 + \left(d^{ф}_{Y(n)}\right)^2 + \left(d^{ф}_{Z(n)}\right)^2};$$
$$d^{ф}_{m} = \sqrt{\left(d^{ф}_{X(m)}\right)^2 + \left(d^{ф}_{Y(m)}\right)^2 + \left(d^{ф}_{Z(m)}\right)^2}, \quad (7)$$

а также величины углов крена строки и столбца эквивалентных линейных АР по формулам

$$i_x = \mathrm{arctg}\frac{d^{ф}_{Z(n)}}{(N-1)d^{ф}_{n}}; \quad i_y = \mathrm{arctg}\frac{d^{ф}_{X(m)}}{(M-1)d^{ф}_{m}}. \quad (8)$$

Координаты вектора нормали $\vec{n}$ к плоскости АР, проведенной через вектора $\overrightarrow{O(N-1)}$ и $\overrightarrow{O(M-1)}$, определяют по формулам скалярного произведения

$$X_{\vec{n}} = \begin{vmatrix} Y_{N-1} & Z_{N-1} \\ Y_{M-1} & Z_{M-1} \end{vmatrix}; \; Y_{\vec{n}} = \begin{vmatrix} Z_{N-1} & X_{N-1} \\ Z_{M-1} & X_{M-1} \end{vmatrix}; \; Z_{\vec{n}} = \begin{vmatrix} X_{N-1} & Y_{N-1} \\ X_{M-1} & Y_{M-1} \end{vmatrix}, \quad (9)$$

где $X_{\vec{n}}, Y_{\vec{n}}, Z_{\vec{n}}$ – координаты вектора нормали $\vec{n}$ к плоскости АР.

Тогда азимут A и угол места нормали к плоскости АР будут получены из выражений

$$A = \mathrm{arctg}\frac{Y_{\vec{n}}}{X_{\vec{n}}} + \left(L - L_0\right)\sin B; \; \varepsilon = \mathrm{arctg}\frac{\sqrt{X_{\vec{n}}^{\,2} + Y_{\vec{n}}^{\,2}}}{Z_{\vec{n}}}, \quad (10)$$

где L, B – геодезические координаты точки стояния ФАР;

L_0 – долгота осевого меридиана.

Результаты экспериментальных исследований [5] показывают, что диаграмма направленности антенны деформированной ФАР практически совпадает с нормалью к плоскости, проходящей через конечные элементы эквивалентной линейной АР. Существенные погрешности сканирования ДН от перемещений внутренних элементов (излучателей) возникают при сложном характере деформаций ФАР, когда внутренние излучатели строки (столбца) линейной АР, ближайшие к крайним элементам, оказываются по разные стороны относительно отрезков $ON-1'$ и $OM-1'$. Влияние перемещений внутренних элементов строки (столбца) на исходное положение ДН антенны снижается до нуля с приближением их к середине линейной АР.

Предложенный подход к аналитическому представлению ФАР позволяет устранять погрешности сканирования ДН антенны, вызываемые деформациями антенного полотна. Однако для обеспечения требуемого уровня других характеристик антенн (боковых лепестков, коэффициента направленного действия антенны) необходимым условием является наличие юстировочных устройств на ФАР, позволяющих осуществлять приведение плоскости антенного полотна и пространственного положения излучателей в проектное положение по результатам геодезического контроля.

Литература

1. Леонов, С. А. Радиолокационные средства противовоздушной обороны / С.А. Леонов. – М.: Воениздат, 1988. – 180 с.

2. Волков, А. А. Особенности геодезического обеспечения стационарных антенных устройств системы предупреждения о ракетном нападении Войск воздушно-космической обороны / А.А.Волков // Труды конференции. Открытое акционерное общество «РТИ», Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана, Институт радиотехники и электроники имени В. А. Котельникова РАН. – М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2015. – С. 630–639.

3. Сергеев, Д. В. Основы единой методики комплексного геодезического контроля с применением косвенного ориентирования в процессе жизненного цикла радиолокационных станций высокой заводской готовности / Д.В. Сергеев // Перспективы развития РЛС дальнего обнаружения и интегрированных систем и комплексов информационного обеспечения Воздушно-космической обороны (РТИ Системы ВКО-2014): II Всероссийская научно-техн. конф.: Сборник материалов. – М.: Радиотехника, 2014. – С. 345–353.

4. Геодезический контроль деформаций сооружений на основе косвенных способов геодезического ориентирования / В.Ф. Алексеев [и др.] // Информация и Космос. – 2016. – № 2. – С. 78–82.

5. Козлов, Н. А. Моделирование и оценка влияния деформаций фазированной антенной решетки на характеристики РЛС ВЗГ при организации мониторинга технического состояния сложных систем / Н.А. Козлов, В.М. Краснов, Д.В. Сергеев // Труды Всероссийской НПК «Современные проблемы создания и эксплуатации вооружения, военной и специальной техники». – Т. 1. – С. 338–342.

Методика формирования ансамблей дискретных ортогональных сигналов для перспективных систем радиосвязи

Technique for forming ansembles of discrete orthogonal signals for perspective radiocommunication systems

Сазонов / Sazonov V.
Виктор Викторович
(vmktor-sazonov@yandex.ru)
кандидат технических наук.
ФГКВОУ ВО «Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного» (ВАС им. С. М. Буденного) МО РФ,
доцент кафедры автоматизированных систем специального назначения, кандидат технических наук.
г. Санкт-Петербург

Манаенко / Manaenko S.
Сергей Сергеевич
(manaenkoss@mail.ru)
кандидат технических наук.
ВАС им. С. М. Буденного,
старший преподаватель кафедры радиосвязи.
г. Санкт-Петербург

Ключевые слова: двухлучевой коротковолновый канал связи – two-beam short-wave communication channel; релеевские замирования – rayleigh fading; допустимая вероятность ошибки – acceptable error probability; схема некогерентного квадратичного сложения сигналов – scheme of incoherent quadratic addition of signals; сигналы с небольшой фазой – signals with a small base; формирования сигналов по совокупности требований предъявляемым к их характеристикам – formation of signals according to the set of requirements imposed on their characteristics.

В статье решается задача формирования дискретных ортогональных сигналов для перспективных систем радиосвязи, обладающих улучшенными корреляционными характеристиками, и осуществляется оценка энергетического выигрыша от их использования.

The assembly building technique of the discrete orthogonal signals for the advanced systems of a radio communication possessing improved correlative characteristics is solved and assessment of an energetic scoring from their use is carried out in article.

Актуальной проблемой в современных системах радиосвязи является проблема повышения производительности. Повышение производительности всегда связано со снижением энергетики и все возрастающим влиянием условий распространения. Одним из наиболее сложных по распространению радиоволн является коротковолновый (КВ) канал связи (КС), где появляется дискретное многолучевое распространение сигналов с релеевскими замираниями в точке приёма. В таких КВ КС целесообразно вместо обычной схемы некогерентной (НК) обработки использовать схему НК квадратичного сложения ансамблей дискретных ортогональных сигналов (АДОС), приходящих по лучам.

Однако известно [1, 2], что в КВ КС с многолучёвостью и замираниями используемые сигналы с небольшими базами $B_s \sim 10^2$ могут приводить к нарушению условия ортогональности сигналов, то есть нулю нормированных значений: 1) автокорреляционных функций (АКФ) передаваемых сигналов с одинаковыми символами $(m = p)$ $p_{11}(\tau) = 0$ при $\tau \geq \Delta t_i$, где τ – временной сдвиг анализируемого отсчета, Δt_i – относительное время запаздывания лучей; 2) взаимокорреляционной функции (ВКФ) передаваемых сигналов с разными символами $(m, p = 1;\ 0$ при $m \neq p)$ $p_{10}(\tau) = 0$ при временном сдвиге $\tau > 0$. В этих случаях имеет место энергетический проигрыш, приводящий к невозможности обеспечить достижения допустимой вероятности ошибки ($P_{ош_{доп}} = 10^{-4}$) [3].

Очевидно, чтобы пренебречь влиянием боковых пиков (БП) АКФ и ВКФ, необходимо решить задачу формирования АДОС которые имели бы, при $B_S \sim 10^2$, приемлемо малые значения БП АКФ и ВКФ, при учёте спектральных и энергетических характеристик сигналов.

Проблеме формирования АДОС с требуемыми характеристиками посвящены труды Л. Е. Варакина, М. К. Размахнина, Н. Г. Дядюнова, Д. Стиффлера, Х. Ф. Хармута, В. С. Попенко. Однако методика формирования АДОС с требуемыми корреляционными свойствами, при $B_S \sim 10^2$ не предложена.

Чтобы синтезировать АДОС с $B_S \sim 10^2$, имеющий приемлемо малые значения БП АКФ и ВКФ, необходимо разработать методику их формирования с учётом вышеизложенных особенностей КВ связи.

При разработке методики формирования АДОС с $B_S \sim 10^2$ для двухлучевых (как наиболее худших) КВ КС с улучшенными корреляционными характеристи-

ками на всём интервале анализа длительности сигнала, предлагается использовать известный шестиэтапный многокритериальный метод, разработанный в трудах В. С. Попенко [3÷5], при этом представляя в новой форме функции, функционалы и операторы, базирующиеся на их векторно-матричной интерпретации.

Разработанная методика формирования АДОС с улучшенными корреляционными характеристиками включает в себя следующие этапы:

1. Построение пространства моделей $\dot{S}_{i,k}$ АДОС, представленных в виде

$$\left|\dot{S}_{i,k}\right| = \begin{bmatrix} \dot{s}_{1,1} & \dot{s}_{1,2} & \cdots & \dot{s}_{1,m} \\ \dot{s}_{2,1} & \dot{s}_{2,2} & \cdots & \dot{s}_{2,m} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ \dot{s}_{n,1} & \dot{s}_{n,2} & \cdots & \dot{s}_{n,m} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где $\dot{S}_{i,k} = \dot{S}_i(t),\ i = 1,2,...,n,\ k = 1,2,\ldots,m$.

Вид АДОС (1) соответствует собственным векторам бидиагональной эрмитовой матрицы (ЭМ) вида:

$$Q = \begin{pmatrix} 0 & q_{1,2}\cdot e^{j\varphi_{1,2}} & 0 & \ldots & 0 & 0 \\ q_{2,1}\cdot e^{j\varphi_{2,1}} & 0 & q_{2,3}\cdot e^{j\varphi_{2,3}} & \ldots & 0 & 0 \\ 0 & q_{3,2}\cdot e^{j\varphi_{3,2}} & 0 & \ldots & 0 & 0 \\ . & . & . & . & . & . \\ 0 & 0 & 0 & \ldots & 0 & q_{n-1,n}\cdot e^{j\varphi_{n-1,n}} \\ 0 & 0 & 0 & \ldots & q_{n,n-1}\cdot e^{j\varphi_{n,n-1}} & 0 \end{pmatrix}, \quad (2)$$

где $q_{n-1,n}\cdot e^{j\varphi_{n-1,n}}$ и $q_{n,n-1}\cdot e^{j\varphi_{n,n-1}}$ – комплексно-сопряжённые коэффициенты (модули и аргументы) бидиагональной ЭМ.

2. Построение пространства характеристик $Y = \{y_1, y_2, y_3, y_4\}$.

На данном этапе задаются требования, предъявляемые двухлучевым КВ КС к характеристикам используемых АДОС, которые могут быть сформулированы следующим образом:

– максимальное значение пик-фактора сигналов ансамбля $\left(\max\limits_{\{i\}} \eta_i\right)$ должно быть не более величины $(a) - \left(\max\limits_{\{i\}} \eta_i \le a\right)$;

– максимальное значение относительной эффек тивной ширины спектра сигналов ансамбля $\left(\max\limits_{\{i\}} \Delta J\right)_i$ должно быть не больше величины $(b) - \left(\max\limits_{\{i\}} \Delta J_i \le b\right)$;

– максимальный БП огибающей АКФ сигналов ансамбля $\max\limits_{\{i\}} \rho_{i\text{АКФ}}$ на всём интервале анализа $(-\mathrm{T_S} \le \tau < -T_Э$ и $\mathrm{T_Э} < \tau \le T_S)$ должен быть не более величины c – $\left(\max\limits_{\{i\}} \rho_{i\text{АКФ}} \le c\right)$;

– максимальный БП огибающей ВКФ сигналов ансамбля $\max\limits_{\{i\}} \rho_{i\text{ВКФ}}$ на всём интервале анализа $(-\mathrm{T_S} \le \tau < 0$ и $0 < \tau \le T_S)$ должен быть не более величины d – $\left(\max\limits_{\{i\}} \rho_{i\text{ВКФ}} \le d\right)$.

На основании вышеизложенного, пространство характеристик можно представить в виде:

$$y_1 = \max_{\{i\}} \eta_i,$$

$$y_2 = \max_{\{i\}} \Delta J_i,$$

$$y_3 = \max_{\{i\}} \rho_{i\text{АКФ}},$$

$$y_4 = \max_{\{i\}} \rho_{i\text{ВКФ}}.$$

3. Построение оператора контроля *C*. Данный этап в методике осуществлен с помощью программы разработанной и реализованной в среде MatLab, которая позволила поэтапно оценивать характеристики сигналов $s_k(t)$ на предмет их соответствия накладываемым требованиям $\vec{y} = \{y_1, y_2, y_3, y_4\}$.

4. Определение регуляризатора *R* для оператора контроля *C*. Для этого решена система уравнений вида (3), что позволило представить координаты собственных векторов бидиагональной ЭМ (2) в виде (4):

$$\begin{cases} -\lambda\cdot\dot{s}_1 + q_{1,2}\cdot e^{j\varphi_{1,2}}\cdot\dot{s}_1 = 0, \\ q_{2,1}\cdot e^{j\varphi_{2,1}}\cdot\dot{s}_1 - \lambda\cdot\dot{s}_2 + q_{2,3}\cdot e^{j\varphi_{2,3}}\cdot\dot{s}_3 = 0, \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots, \\ q_{n-1,n-2}\cdot e^{j\varphi_{n-1,n-2}}\cdot\dot{s}_{n-2} - \lambda\cdot\dot{s}_{n-1} + q_{n-1,n}\cdot e^{j\varphi_{n-1,n}}\cdot\dot{s}_n = 0, \\ q_{n,n-1}\cdot e^{j\varphi_{n,n-1}}\cdot\dot{s}_{n-1} - \lambda\cdot\dot{s}_n = 0, \end{cases} \quad (3)$$

$$\begin{cases} \dot{s}_1 = \alpha, \\ \dot{s}_2 = \alpha\cdot\dfrac{\lambda}{q_{1,2}}\cdot e^{-j\varphi_{1,2}}, \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots, \\ \dot{s}_k = (-1)^{k-1}\cdot\alpha\cdot\dfrac{\Delta_{k-1}}{q_{1,2}\cdot\ldots\cdot q_{k-1,k}}\cdot e^{-j(\varphi_{1,2}\ldots+\varphi_{k-1,k})}, \end{cases} \quad (4)$$

где

$$\Delta_{k-1} = \lambda^{k-1} - \lambda^{k-3}\cdot(q_{1,2}^2 + q_{2,3}^2 + q_{3,4}^2 + \ldots + q_{\substack{k-2,\\k-1}}^2) +$$
$$+\lambda^{k-5}\cdot(q_{1,2}^2\cdot q_{3,4}^2\cdot\ldots\cdot q_{\substack{k-4,\\k-3}}^2\cdot q_{\substack{k-2,\\k-1}}^2) + \ldots\ldots +$$
$$+\lambda(q_{1,2}^2\cdot q_{3,4}^2\cdot\ldots\cdot q_{\substack{k/2+1,\\k/2+2}}^2 + \ldots + q_{2,3}\cdot q_{4,5}\cdot q_{\substack{k-2,\\k-1}})$$

– минор, составленный из элементов первых *k* строк и столбцов ЭМ вида (2), λ – собственное число ЭМ.

5. Построение оператора выбора терминального управления G.

В методике данный этап осуществлен посредством доказательства ряда утверждений [6].

Утверждение 1. Для обеспечения равенства по абсолютной величине координат собственных векторов бидиагональной ЭМ N-го порядка необходимо выполнение следующего условия [6]:

$$q_{1,2} \to \lambda;\ q_{2,3} \to 0;\ q_{3,4} \to \lambda;\ q_{4,5} \to 0;\ \ldots;$$
$$q_{n-2,m-1} \to 0;\ q_{n-1,m} \to \lambda. \quad (5)$$

Утверждение 2. Относительная эффективная ширина спектра сигнала в ансамбле с учётом того, что $\sum_{k=1}^{m} \dot{s}_k^2 = E$, может быть определена следующим выражением [6]:

$$\Delta \mathrm{J} = \frac{\Delta F^2}{\Delta F_0^2} = \left(\frac{T_S}{T_Э}\right)^2 \left[1 \pm \frac{T_Э}{E} \sum_{k=1}^{m} \frac{(-1)^{2k-3}\, \alpha_1^2 \cdot \Delta_{k-1} \cdot \Delta_{k-2}}{\left(q_{1,2} q_{2,3} \cdots q_{k-2,k-1}\right)^2 \cdot q_{k-1,k}} \cdot e^{-j\varphi_{k-1,k}}\right]. \quad (6)$$

Утверждение 3. Корреляционная функция с учётом того, что $\rho_{yz}(r\tau) = \frac{1}{m} \sum_{k=r+1}^{m} \dot{s}_{y,k} \overset{*}{s}_{z,k-\rho}$, где $\dot{s}_y$ и $\dot{s}_z$ – сигналы в ансамбле, представленные соответствующими координатами собственных векторов ЭМ вида (4) y и z, r – номер БП КФ, может быть определена следующим выражением [6]:

$$\rho_{y,z}(\rho\tau) = \frac{1}{m} \sum_{k=\rho+1}^{m} (-1)^{2k-\rho-2} \frac{\alpha^2 \cdot \Delta_{y,k-1} \cdot \Delta_{z,k-\rho-1}}{\left(q_{1,2} \cdot q_{2,3} \cdot \ldots \cdot q_{k-\rho-1,k-\rho}\right)^2} \cdot$$
$$\cdot \frac{1}{q_{k-\rho,k-\rho+1} \cdot \ldots \cdot q_{k-1.k}} \cdot e^{-j\left(\varphi_{k-\rho,k-\rho+1} + \ldots + \varphi_{k-1,k}\right)}. \quad (7)$$

6. Построение сведений о проекте $\Pi_k = R(u_k)$.

В рамках программной реализации методики синтеза АДОС с улучшенными корреляционными характеристиками разработан их алгоритм формирования, представленный на рис. 1.

При этом следует отметить, что ввод значений характеристик АДОС a, b, c, d на каждом из требований двухлучевого КВ КС y_1, y_2, y_3, y_4 выбирается, для размерности $N = 4, 8, 16$ на основе особенностей D-кодов, а для $N = 32$ – на основе ансамбля Стиффлера, как наилучшие по корреляционным характеристикам в данных размерностях.

Для примера рассмотрим процесс формирования АДОС с требуемыми корреляционными характеристиками.

Требования к характеристикам получаемого на каждом из этапов формирования АДОС размерностью 4, 8, 16, 32 заданы системами вида:

для N=4

$$\begin{cases} З_1 = \{\bar{y}/y_1 = 1\}; \\ З_2 = \{\bar{y}/\bar{y} \in З_1 \wedge y_2 \approx 1{,}667\}; \\ З_3 = \{\bar{y}/\bar{y} \in З_2 \wedge y_3 \approx 0{,}3\}; \\ З_4 = \{\bar{y}/\bar{y} \in З_3 \wedge y_4 \approx 0{,}75\}. \end{cases} \quad (8)$$

для N=8

$$\begin{cases} З_1 = \{\bar{y}/y_1 = 1\}; \\ З_2 = \{\bar{y}/\bar{y} \in З_1 \wedge y_2 \approx 1{,}286\}; \\ З_3 = \{\bar{y}/\bar{y} \in З_2 \wedge y_3 \approx 0{,}375\}; \\ З_4 = \{\bar{y}/\bar{y} \in З_3 \wedge y_4 \approx 0{,}75\}. \end{cases} \quad (9)$$

для N=16

$$\begin{cases} З_1 = \{\bar{y}/y_1 = 1\}; \\ З_2 = \{\bar{y}/\bar{y} \in З_1 \wedge y_2 \approx 1{,}133\}; \\ З_3 = \{\bar{y}/\bar{y} \in З_2 \wedge y_3 \approx 0{,}313\}; \\ З_4 = \{\bar{y}/\bar{y} \in З_3 \wedge y_4 \approx 0{,}75\}. \end{cases} \quad (10)$$

для N=32

$$\begin{cases} З_1 = \{\bar{y}/y_1 = P_i^{\max}/P_i^{\min} = 1\}; \\ З_2 = \{\bar{y}/\bar{y} \in З_1 \wedge y_2 = \Delta J_i^{\max}/\Delta J_i^{\min} \le 1{,}5\}; \\ З_3 = \{\bar{y}/\bar{y} \in З_2 \wedge y_3 = \rho_{mm} \le 0{,}3\}; \\ З_4 = \{\bar{y}/\bar{y} \in З_3 \wedge y_4 = \rho_{mp} \le 0{,}4\}. \end{cases} \quad (11)$$

Структуры сформированных АДОС с размерностями $N = 4, 8, 16$ и $N = 32$, представлены на рис. 2 и 3.

Значения характеристик y_1, y_2, y_3, y_4 известных ансамблей и сформированного АДОС (рис. 3) представлены в таблице 1.

Сравнение по помехоустойчивости приёма известных и синтезированного ансамбля произведём при допустимой вероятности ошибки в КВ КС $P_{\text{ОШ доп}} = 5 \cdot 10^{-2}$. Используя зависимость отношения С/Ш на выходе НК схемы обработки (W) от отношения средней энергии сигнала к спектральной плотности мощности шума на её входе ($\bar{h}^2 = 2\sigma_b^2 E/N_0 = \bar{E}_r/N_0$) и максимальных значений БП АКФ ($\rho_{\max 11}$) и ВКФ ($\rho_{\max 10}$) передаваемых АДОС в следующем виде [7]:

$$W = \frac{\bar{h}^2\left[\left(1-\rho_{\max 11}\right)^2 - \rho_{\max 10}^2\right]}{\bar{h}^2 \rho_{\max 10}^2 + 1} \times$$
$$\times \frac{\left(\bar{h}^2\right)^2\left[\left(1-\rho_{\max 11}\right)^2 \rho_{\max 10}^2 + \rho_{\max 10}^4\right] + \bar{h}^2\left[\left(1-\rho_{\max 11}\right)^2 + 3\rho_{\max 10}^2\right] + 2}{\left(\bar{h}^2\right)^2 \rho_{\max 10}^4 + \bar{h}^2\left[\left(1-\rho_{\max 11}\right)^2 + 3\rho_{\max 10}^2\right] + 2}. \quad (12)$$

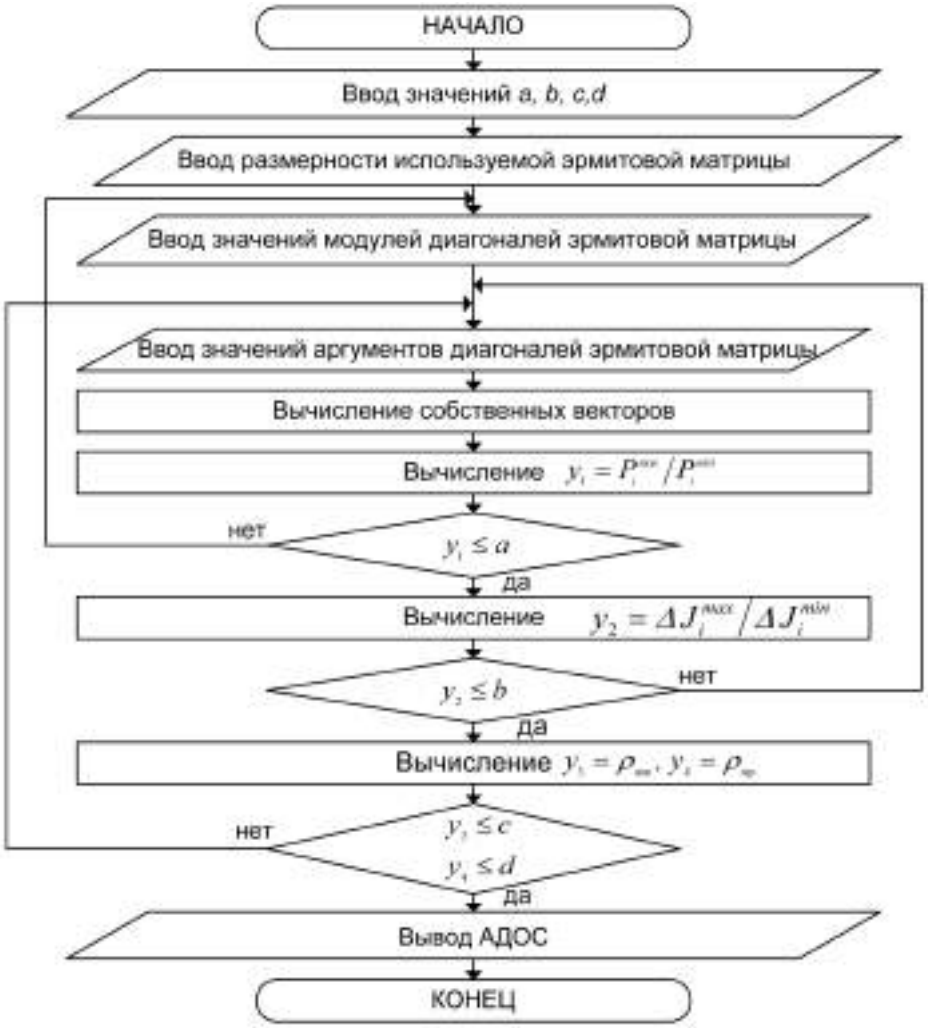

Рис. 1. Алгоритм формирования АДОС

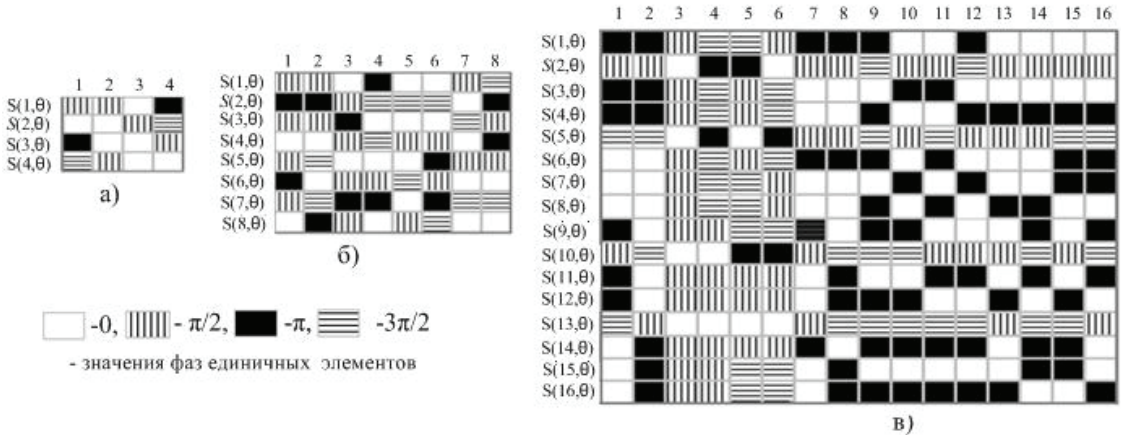

Рис. 2. Структура сформированного АДОС
а) N=4, б) N=8, в) N=16

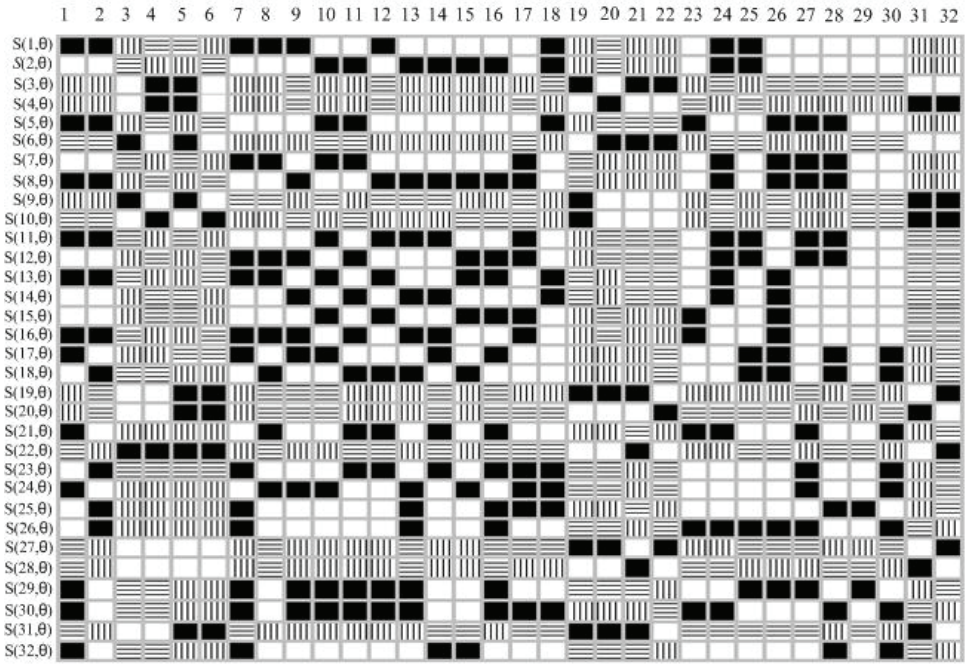

Рис. 3. Структура сформированного АДОС (N=32)

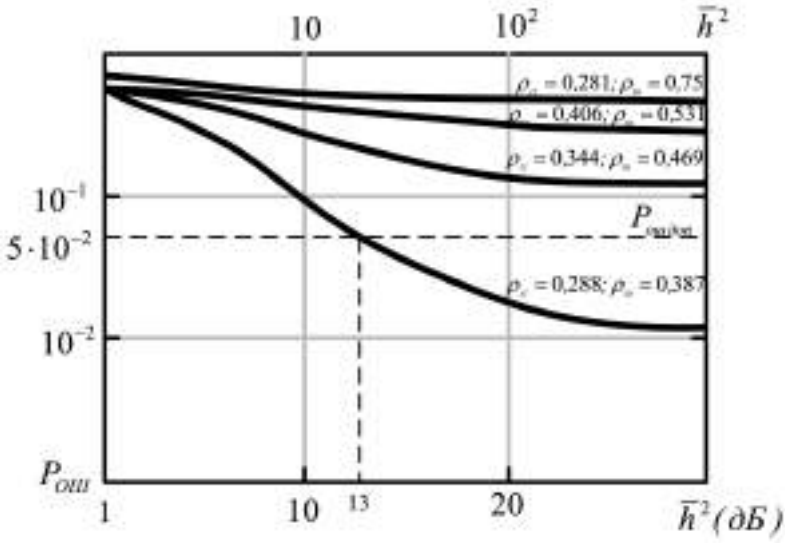

Рис. 4. Зависимости $P_{ош} = \psi\left(\overline{h}^2\right)$ для НК схемы квадратичного сложения при различных БП АКФ (ρ_{11}) и ВКФ (ρ_{10}) АДОС

Таблица 1

Характеристики известных и сформированного АДОС

Характ. / Вид ансамбля	y_1	y_2	y_3	y_4
D-коды Велти	1	1,064	0,281	0,75
Л. Е. Варакин	1	1,783	0,406	0,531
Д. Стиффлер	1	1,56	0,344	0,468
Сформированный АДОС	1	1,469	0,288	0,387

Оценку помехоустойчивости схемы НК квадратичного сложения сигналов в двухлучевых КВ КС произведем по известному выражению [7]

$$P_{\text{ош}} = (3W+4)/(W+2)^3 \approx 3/W^2, \qquad (13)$$

где зависимость $W = \psi\left(\overline{h}^2, \rho_{\max 11}, \rho_{\max 10}\right)$ определяется согласно (12).

С учётом вышеизложенного зависимость $P_{\text{ОШ}} = \psi\left(\overline{h}^2; \left|\dot{\rho}_{11\max}\right|; \left|\dot{\rho}_{10\max}\right|\right)$ для известных ансамблей Стиффлера ($\rho_{11} = 0,344; \rho_{10} = 0,469$), Варакина ($\rho_{11} = 0,406; \rho_{10} = 0,531$) и синтезированного ($\rho_{11} = 0,288; \rho_{10} = 0,387$) с $B_S = 32$, можно представить в виде рис. 4.

Из анализа рис. 4 видно, что сформированный АДОС удовлетворяет требованиям ($P_{\text{ОШ доп}} = 5 \cdot 10^{-2}$), предъявляемым к качеству КВ КС (в отличие от известных), при $\overline{h}^2 = 13$ дБ.

Обобщая вышеизложенное, можно сделать вывод:

– сформированный АДОС обладает лучшими энергетическими, спектральными, автокорреляционными и взаимокорреляционными характеристиками (таблица 1), по сравнению с известными;

- разработанная шестиэтапная методика формирования АДОС позволяет для КВ систем радиосвязи, получать ансамбль (рис. 3) с приемлемо малыми значениями БП АКФ и ВКФ (таблица 1);

- разработанная шестиэтапная методика формирования АДОС может быть использована для проектирования перспективных систем радиосвязи других диапазонов.

Литература

1. Андронов, И. С. Передача дискретных сообщений по параллельным каналам / И. С. Андронов – М.: Сов. радио, 1971. – 408 с.
2. Кириллов, Н. Е. Помехоустойчивая передача сообщений по линейным каналам со случайно изменяющимися параметрами / Н.Е. Кириллов. – М.: Сов. радио, 1971. – 256 с.
3. Попенко, В. С. Векторный синтез ансамблей ортогональных сигналов. Ч. 1 / В.С. Попенко – Ставрополь: МО РФ, 1992. – 99 с.
4. Попенко, В. С. Векторный синтез ансамблей ортогональных сигналов. Ч. 2 / В.С. Попенко – Ставрополь: МО РФ 1993. – 131с.
5. Попенко, В. С. Векторный синтез ансамблей ортогональных сигналов. Ч. 3 / В.С. Попенко – Ставрополь: МО РФ, 1993. –150 с.
6. Развитие теории синтеза и методов формирования ансамблей дискретных сигналов для перспективных систем радиосвязи различных диапазонов радиоволн / В.П. Пашинцев [и др.]. – М.: Физматлит, 2010. – 264 с.
7. Сазонов, В. В. Влияние корреляционных характеристик широкополосных сигналов на помехоустойчивость их приёма в многолучевых каналах связи / В.В. Сазонов, С.С. Манаенко // II-я Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. научных статей / под ред. С.М. Доценко, сост. А.Г. Валдыко, Е.А. Аникевич, Л.М. Минаков. – СПб.: СПбГУТ им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, 2013. – С. 326–329.

Информатика, вычислительная техника и управление

(05.13.00*)

- Системный анализ, управление и обработка информации (05.13.01*)
- Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления (05.13.05*)
- Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей (05.13.11*)
- Вычислительные машины, комплексы и компьютерные сети (05.13.15*)
- Теоретические основы информатики (05.13.17*)
- Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ (05.13.18*)
- Методы и системы защиты информации, информационная безопасность (05.13.19*)
- Квантовые методы обработки информации (05.13.20*)

раздел

Информатика, вычислительная техника и управление

* В соответствии с Номенклатурой специальностей научных работников, утвержденной приказом Минобрнауки России от 25.02.2009 № 59 (в ред. Приказов Минобрнауки РФ от 11.08.2009 N 294, от 10.01.2012 N 5)

Индустриальные революции и водный транспорт

Industrial revolutions and water transport

Малыгин / Malygin I.
Игорь Геннадьевич
(malygin_com@mail.ru)
доктор технических наук, профессор.
ФГБУН Институт проблем транспорта
имени Н. С. Соломенко РАН (ИПТ РАН),
директор.
г. Санкт-Петербург

Комашинский / Komashinsky V.
Владимир Ильич
(kama54@rambler.ru)
доктор технических наук, доцент.
ИПТ РАН, заместитель директора по научной работе.
г. Санкт-Петербург

Михалев / Mikhalev O.
Олег Александрович
(vas-nic@yandex.ru)
кандидат технических наук.
ФГКВОУ ВО «Военная академия связи
имени Маршала Советского Союза
С. М. Буденного» МО РФ,
начальник отдела НИЦ.
г. Санкт-Петербург

Аванесов / Avanesov M.
Михаил Юрьевич
(avanesov@itain.spb.ru)
кандидат технических наук.
ЗАО «Институт телекоммуникаций»,
научный секретарь.
г. Санкт-Петербург

Королев / Korolev O.
Олег Александрович
(korolev@iptran.ru)
ИПТ РАН, научный сотрудник.
г. Санкт-Петербург

Ключевые слова: водный транспорт – water transport; четвертая индустриальная революция – fourth industrial revolution; информационно-управляющие системы – management information systems; искусственный интеллект – artificial intelligence; системы связи – communication systems; информационно-телекоммуникационная система – information telecommunication system.

В статье рассмотрены основные черты новой индустриальной революции (Industry 4.0) в сфере водного транспорта. Показан комплекс перемен, затрагивающих транспортную индустрию (судостроение), транспортные средства (автономные и роботизированные суда), портовое хозяйство и водные магистрали. Отмечается, что ключевой технологической платформой новой индустриальной революции являются информационно-управляющие системы водного транспорта, интегрированные с технологиями искусственного интеллекта. Интеллектуализация водного транспорта позволит оптимизировать потребление топлива и энергетических ресурсов, более эффективно использовать суда для перевозки пассажиров и грузов, более точного прогнозировать погодные условия и осуществлять эффективную погодную маршрутизацию. Предложены новые функции интеллектуальных портов, рассмотрены основные элементы бортовой интеллектуальной информационно-телекоммуникационной системы. Показана ведущая роль новых информационно-телекоммуникационных технологий и технологий искусственного интеллекта в формировании национальной (и международной) интеллектуальной системы водного (и мультимодального) транспорта в период 4-й индустриальной революции.

In the article, the main lines of new industrial revolution (Industry 4.0) in the sphere of the water transport are considered. The complex of the changes affecting the transport industry (shipbuilding), vehicles (independent and robotic vessels), and port economy and water trunks is revealed. It is marked that a key technological framework of new industrial revolution are the management information systems of the water transport integrated with technologies of an artificial intelligence. Intellectualization of the water transport will allow optimizing consuming of fuel and energy resources, more effectively to use vessels for transportation of passengers and loads, to predict weather conditions more exact and to realize effective weather routing. New functions of intellectual ports are offered, basic elements of onboard intellectual information telecommunication system are considered. The leading role of new information and telecommunication technologies and technologies of an artificial intelligence in formation of national (and international) intellectual system of water (and multimodal) transport during the fourth industrial revolution is shown.

Введение

Водный транспорт был и остается ключевым элементом Мировой экономической системы [1]. Объемы морских и речных перевозок постоянно возрастают, требования к качеству перевозки грузов водным транспортом (своевременность, безопасность, надежность) повышаются.

Современные водные транспортные системы включают транспортные средства (пассажирские суда, контейнеровозы, сухогрузы, наливные суда и др.) водные транспортные магистрали, а также морские (и речные) порты. Очевидно, что совершенствование инфраструктур водного транспорта является важным фактором ускоренного развития национальной и международной экономик [2].

Коэволюция индустриальных технологий и водного транспорта

Анализируя процессы развития технологий построения водных транспортных средств и транспортных магистралей, трудно не заметить положительную корреляцию с траекторией развития индустриальных технологий в целом.

В частности (рис. 1), переход от парусного флота к флоту на паровой тяге (пароходам) произошел в результате первой индустриальной революции [3, 4], основанной на разработке, производстве и широком использовании паровых двигателей.

Успешное проведение второй индустриальной революции [3, 4], основанной на широком использовании двигателей внутреннего сгорания и электродвигателей (рис. 1), привело к существенной модернизации флота (появлению различных типов теплоходов) при этом, существенно повысилась скорость движения водного транспорта, его грузоподъемность и надежность.

Прогресс в области информационных, телекоммуникационных и компьютерных технологий стимулировал третью индустриальную революцию, в результате которой началась цифровизация водного транспорта и его инфраструктур (рис. 1).

Особенностью наступающей, четвертой индустриальной революции является усиление акцента на технологиях получения знаний и их применения посредством специальных технических систем, получивших название искусственных когнитивных технических систем [5, 6, 7].

Применительно к сфере водного транспорта, новые технологии проявляются в дальнейшей его цифровизации и информатизации (рис. 2), в разработке и создании автономных (роботизированных) надводных и подводных транспортных средств и интеллектуализации водных магистралей. Успешное проведение четвертой индустриальной революции в сфере водного транспорта предполагает успешное решение комплекса взаимосвязанных задач по построению интеллектуальной информационно-телекоммуникационной системы водного транспорта (ИТС ВТ). Создание ИТС ВТ формирует условия для обеспечения сквозного управления жизненным циклом водного транспорта, начиная от его проектирования и заканчивая утилизацией (рис. 3).

Управление жизненным циклом водного транспорта предусматривает сетевое взаимодействие всех его элементов (интеллектуальных производственных предприятий (верфей), интеллектуальных (морских и речных) судов, «умных» водных магистралей и интеллектуальных систем обслуживания судов). Управление жизненным циклом, в конечном итоге, способствует увеличению производительности водного транспорта и поддерживает «самовоспроизводящийся цикл повышения стоимости».

Основные составные части интеллектуальной системы водного транспорта

Интеллектуализация системы водного транспорта предполагает проведение комплекса взаимосвязанных мероприятий (НИР, ОКР, модернизацию судов и судостроительного производства), направленных на широкое применение новых информационных технологий, искусственного интеллекта и робототехники в надводном (и подводном) торговом (и военном) флоте, в морских и речных портах, в отраслевых информационно-телекоммуникационных системах, а также в национальной (и международной) интегрированной интеллектуальной транспортной системе в целом.

Интеллектуализация водного транспорта открывает широкие возможности по оптимизации использования топлива и энергетических ресурсов, более эффективному использованию судов для перевозки пассажиров и грузов, более точного прогнозирования погоды и осуществлению эффективной погодной маршрутизации. Повышение степени интеллектуализации систем водного транспорта, использование интеллектуальных датчиков и глобальных беспроводных высокоскоростных сетей передачи данных между судном и берегом будет способствовать использованию систем дистанционного управления, а также поддержанию полностью или частично автономной работы судов. Непрерывное и надежное взаимодействие между транспортными системами морского базирования и береговыми центрами управления позволит усилить поддержку и контроль со стороны берега. Все это одновременно потребует применения новых подходов для обеспечения безопасности информационно-телекоммуникационной инфраструктуры водного транспорта от кибератак.

Таким образом, основными целями интеллектуализации морского транспорта являются:

– повышение эффективности и качества работы

Рис. 1. Коэволюция индустриальных технологий и технологий построения водного транспорта

Рис. 2. Новые технологии, применяемые на водном транспорте

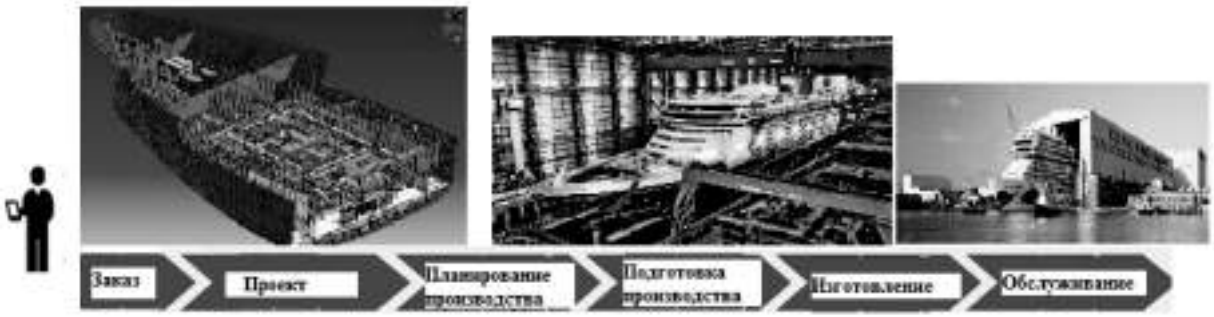

Рис. 3. Управление всеми этапами жизненного цикла судна

Рис. 4. Основные составные части ИТС ВТ

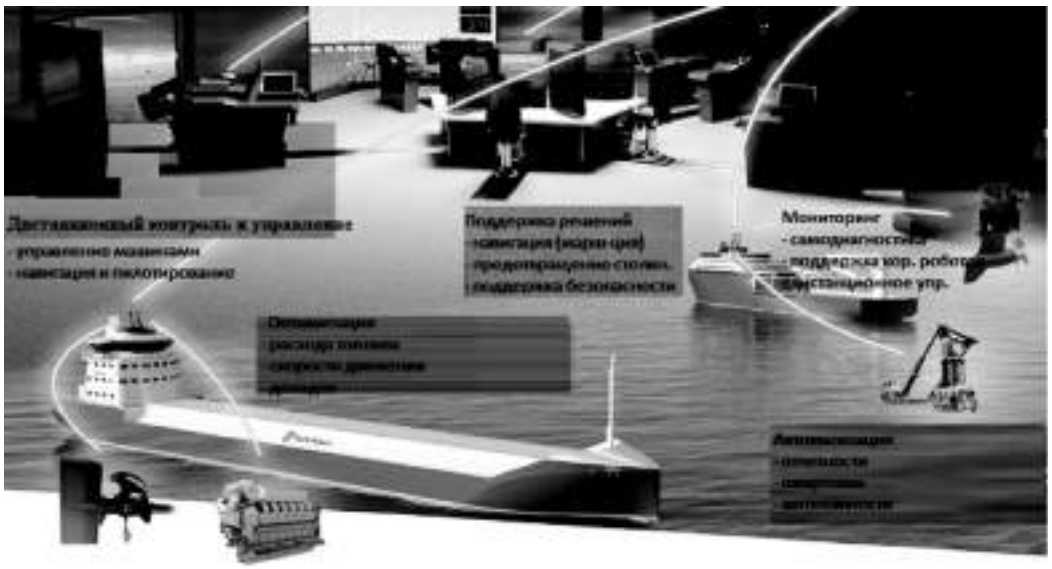

Рис. 5. Современные судовые технологии и новые возможности

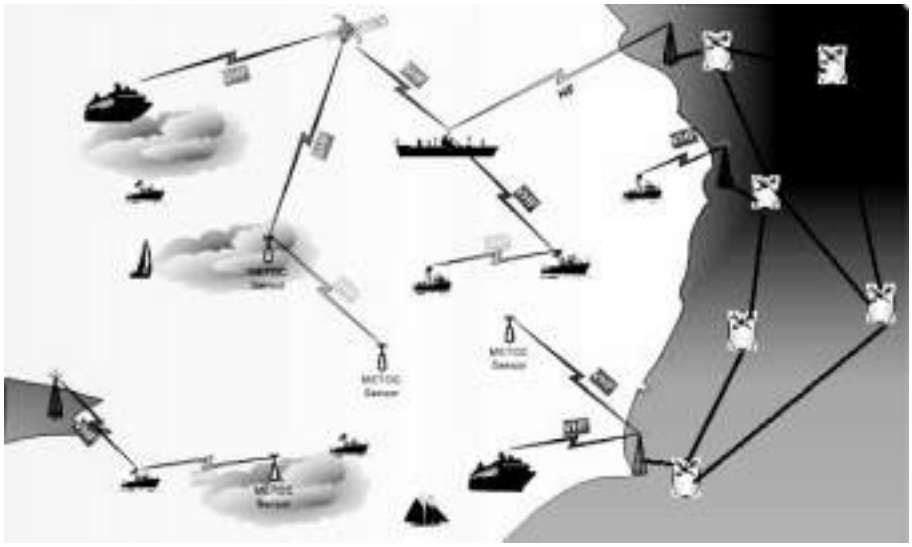

Рис. 6. Беспроводные сети водного транспорта

Рис. 7. Бортовые беспроводные системы связи

портов, логистической инфраструктуры, системы транспортировки пассажиров и грузов;

– управление и совершенствование береговой инфраструктуры;

– улучшение условий труда экипажа, требований охраны здоровья и безопасности на борту;

– усовершенствование системы безопасности судовождения;

– улучшение качества мониторинга морских трасс и прибрежных зон;

– повышение энергоэффективности судов;

– улучшение качества услуг, предоставляемых водным транспортом по перевозке пассажиров и грузов;

– более высокая автономность судов;

– более эффективная работа интегрированных логистических цепочек (трансмодальных и мультимодальных) перевозок.

В процессе модернизации водного транспорта объектами интеллектуализации становятся (рис. 4) суда, ИТ-инфраструктура, порты и мультимодальные шлюзы.

Предусматривается, что интеллектуальный и автономный водный транспорт будет «интеллектуально» взаимодействовать не только с водным пространством, но и с другими водными транспортными средствами и интеллектуальными морскими (и речными) портами (рис. 5). Интеллектуализация и роботизация водного транспорта предусматривает всестороннее обеспечение мониторинга состояния

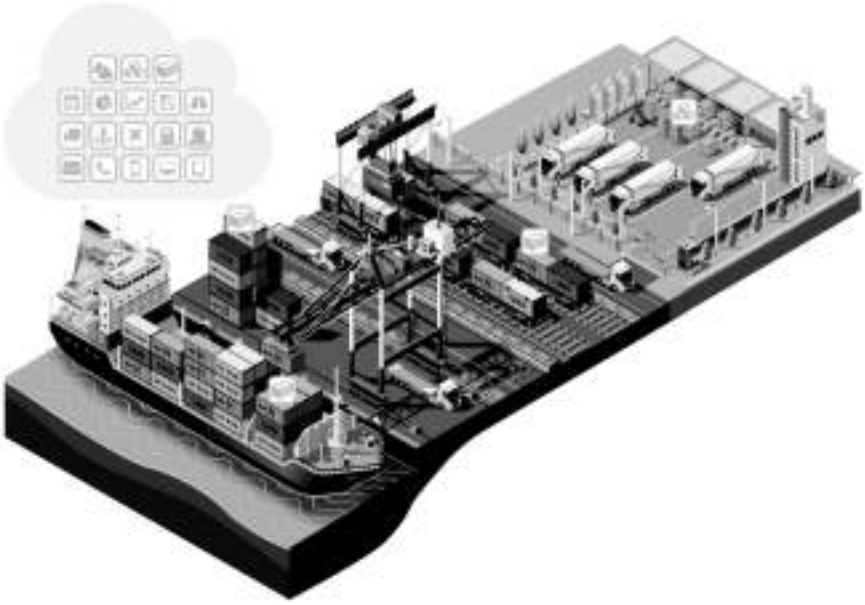

Рис. 8. Новые функции интеллектуальных портов

судов и внешней среды в режиме реального времени, осуществление управление судном в дистанционном или автономном режимах.

Надежные беспроводные сети передачи данных, системы управления данными (датчиками), информацией и знаниями приобретают важное значение для обеспечения надежной и качественной эксплуатации судна, кроме того многие новые системы водного транспорта требуют обеспечения надежной информационно-сетевой защиты (рис. 5).

Цифровые водные магистрали, включают в себя не только сети беспроводной (и проводной) связи между судами и портами (рис. 6, 7), но также и сети датчиков (бортовых, портовых, береговых, надводных и подводных), которые обеспечивают необходимыми данными судовые и береговые интеллектуальные информационно-телекоммуникационные системы.

Основу цифровых беспроводных магистралей составляют сети спутниковой связи и навигации, а сети дальней коротковолновой (КВ) радиосвязи выполняют задачи резервирования сетей спутниковой связи и функции оповещения о чрезвычайных ситуациях; системы ультракоротковолновой (УКВ) радиосвязи и сотовой связи широко используется для обмена информацией экипажа судна и взаимодействия с береговыми службами в портах.

Интеллектуальные порты (морские и речные) формируются в результате цифровизации и роботизации портовой инфраструктуры (на основе применения внутренних сетей передачи данных, специальных сетей датчиков и исполнительных устройств), портовых информационно-управляющих и интеллектуальных систем. Умные порты взаимодействуют с информационными системами судов и других (национальных и зарубежных) портов, создают условия для предоставления (совместно с торговыми порталами) услуг по принципу «одного окна» в интересах повышения эффективности управления морским транспортом и морскими перевозками и качества водных транспортных услуг (рис. 8).

Интеллектуальные порты, интегрированные с системами навигации, береговыми сетями, судовыми информационно-телекоммуникационными системами, сетями (надводных и подводных) датчиков (рис. 9) и т.п., образуют информационно-телекоммуникационную систему водного транспорта (ИТС ВТ), обеспечивающую функционирование всех его составных частей как единой системы.

Портовая интеллектуальная информационно-телекоммуникационная система (ИИТС) включает: центр автоматизированного управления, подсистему интеллектуального анализа и отображения данных и информации, сети портовых датчиков и исполнительных устройств, и др. подсистемы. Портовые подсистемы интегрируются с помощью проводных и беспроводных местных сетей доступа [8] с инфраструктурными элементами магистральной интеллектуальной мультимодальной транспортной системы (ИМТС).

ИТС ВТ строится как открытая система (рис. 9, 10) на основе стандартных стеков сетевых протоколов, стандартных интерфейсов (в т.ч. и с бортовым оборудованием) и открытых прикладных программных интерфейсов (API).

Бортовая ИИТС может состоять из сети датчиков и исполнительных устройств, подсистемы обработки и отображения данных, навигационной системы, бортового искусственного интеллекта и др. подсистем. Судовые подсистемы интегрируются с помощью гибридной

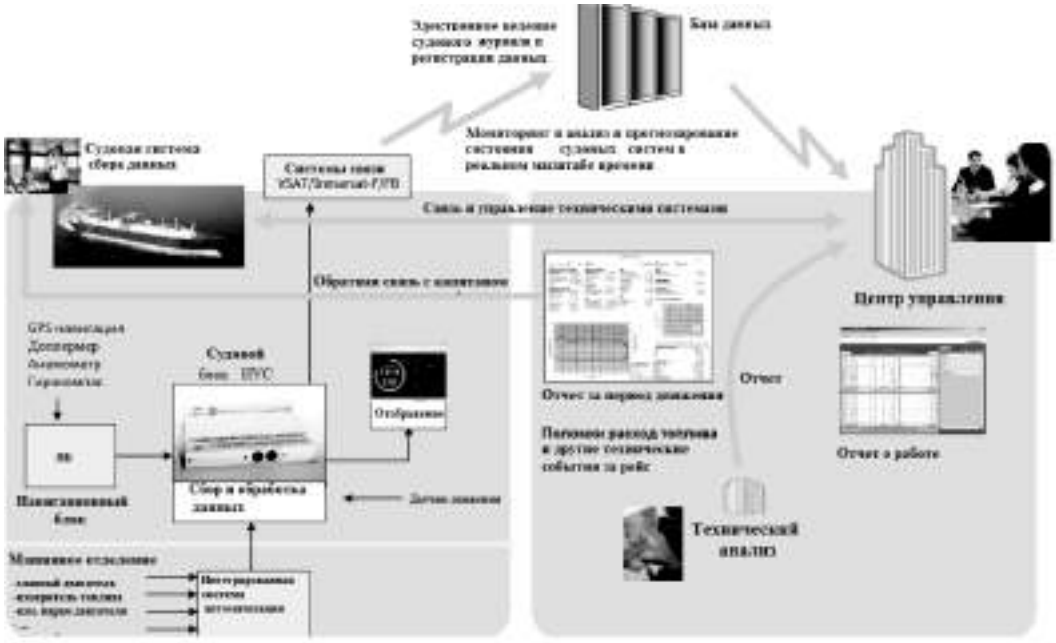

Рис. 9. Основные составные части интеллектуальной информационно-телекоммуникационной системы водного транспорта

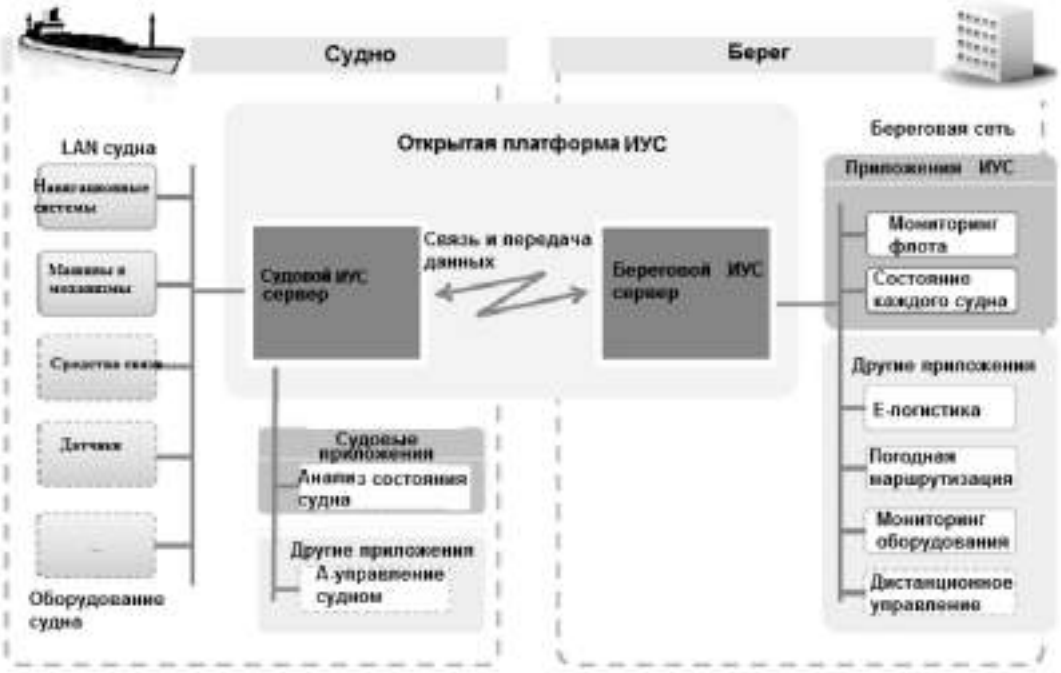

Рис. 10. Основные элементы бортовой интеллектуальной информационно-телекоммуникационной системы

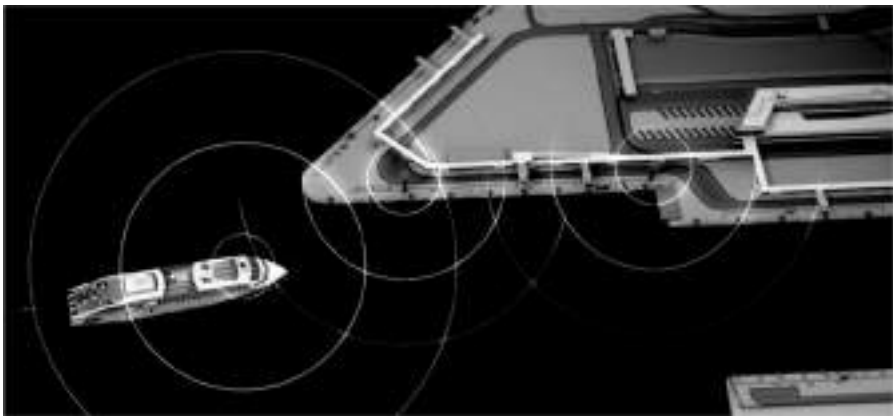

Рис. 11. Автономное причаливание

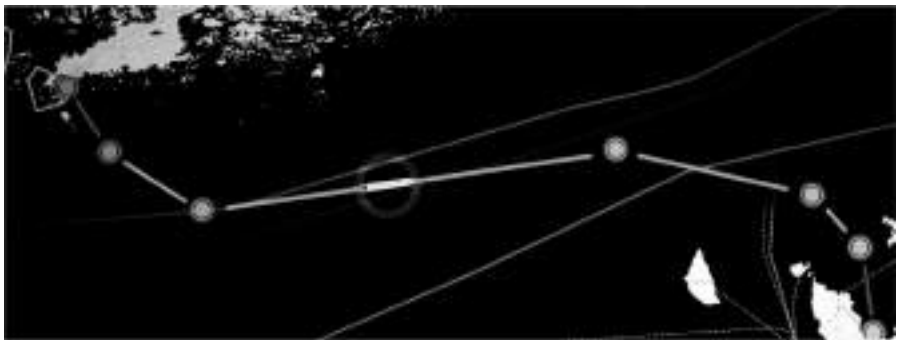

Рис. 12. Автономная динамическая погодная маршрутизация

Рис. 13. Автономное предупреждение аварийных столкновений судов

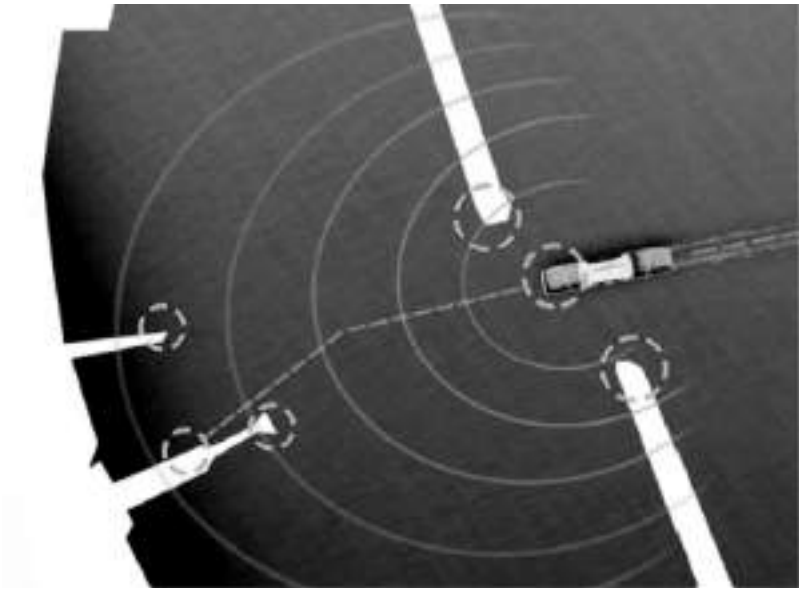

Рис. 14. Автономный докинг

(проводно-беспроводной) судовой локальной сети. Бортовые беспроводные сети обеспечивают мобильное взаимодействие между членами экипажа (P2P), межу экипажем и техническими устройствами (P2M), а также между бортовыми (M2M) и внешними инфраструктурными техническими системами (M2I).

В ближайшее время на ИТС ВТ может быть возложено решение таких проблем как безопасность портов и охрана окружающей среды, в том числе уменьшение уровня шума порта и эффективного использования энергии. Решение проблем реализации концепции «зеленых» портов, также может возлагаться на ИТС ВТ вместе с вопросами охраны морской среды, глобального изменения климата и повышение уровня моря.

На бортовую (судовую) информационно-управляющую систему (ИУС) может возлагаться решение таких задач, как автономное причаливание, динамическая погодная маршрутизация, предупреждение аварийных столкновений судов, автономный докинг (рис. 11–14) и др.

Эффективное функционирование ИТС ВТ в рамках интегрированной интеллектуальной мультимодальной транспортной системы (ИМТС) предполагает использование технологий открытых систем, обеспечивающих прозрачное взаимодействие различных транспортных мод (железнодорожной, авиационной, автомобильной и водной), а также стандартизацию аппаратных и программных интерфейсов ИМТС. Одной из задач, решаемых ИМТС, является ведение морской электронной базы данных (баз знаний) и предоставление их через WEB-порталы в интересах эффективного решения задач модальной (и мультимодальной) логистики и таможенного обслуживания.

Развитие ИТС ВТ (в рамках ИМТС) является важным условием эффективного взаимодействия и интеграции между различными видами (модами) транспорта, благодаря использованию общих эталонных моделей модальных ИТС, общей системы электронной таможни, стандартов на оцифровку транспортных документов и широкого использования электронной транспортной документации. Кроме того, в рамках ИМТС обеспечивается открытый, надежный и прозрачный доступ к транспортной и торговой информации, что позволит сформировать новые более эффективные бизнес-модели и оптимизировать транспортные и торговые системы.

Выводы

В статье показан ряд ожидаемых технологических изменений водного транспорта, которые уже происходят или будут происходить в ближайшем будущем. Показана ведущая роль новых информационно-телекоммуникационных технологий и технологий искусственного интеллекта в формировании национальной (и международной) интеллектуальной системы водного (и мультимодального) транспорта в период 4-й индустриальной революции.

Литература

1. Pipitsoulis, C. The EU eMaritime initiative – Single Window, with a view to the near future / C. Pipitsoulis // In Logious Conference. Rotterdam. 2010.

2. Enhancing Public Transport System in Developing Countries towards Multimodal Public Transport System / E. Buchari [et al.] / Proceedings of the Conference on The Intelligent Public Transport System, April 2–4, 2008. Netherland.

3. Industrie 4.0 – Volkswirtschaftliches Potenzial fur Deutschland / J. Bauer [et al.]. – Berlin, 2014. – P. 5–30.

4. Bauernhansl, T. Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik – Anwendung, Technologie, Migration / T. Bauernhansl, M. Hompel, B. Vogel-Heuser. – Wiesbaden, 2014. –
P. 12–17.

5. Mertens, P. Industrie 4.0 – Herausforderungen auch an Rechnungswesen und Controlling im Uberblick / P. Mertens // Controlling – Zeitschrift fur erfolgsorientierte Unternehmensteuerung. – 2015. – Vol. 27. – P. 452–454.

6. Комашинский, В. И. Когнитивная метафора в развитии телекоммуникационных и индустриальных сетевых инфраструктур, или первые шаги к постинформационной эпохе / В.И. Комашинский, Д.В. Комашинский // Технологии и средства связи. – 2015. – № 1. – С. 62–67.

7. Malygin, I. The intellectual technologies on water transport/ I. Malygin, V. Komashinsky, M. Asaul // Marine intellectual technologies. – 2017. – No. 2 (36), Vol. 2. – P. 55–58.

8. Industrie 4.0 Controlling in the Age of Intelligent Networks [Электронный ресурс] / International Controller Association. – Режим доступа: . https: //www.icv.controlling.com/fileadmin/Assets/Content/AK/Ideenwerkstatt/Files/Dream Car Industrie 4.0 EN.pdf, свободный. – Загл. с экрана.

Линейная сплайн-интерполяция в задаче обнаружения сигналов

Line spline interpolation in the problem of signals detection

Бутырский / Butyrsky E.
Евгений Юрьевич
(evegnira88@mail.ru)
доктор физико-математических наук, профессор.
Военно-морской институт радиоэлектроники им. А. С. Попова ФГКВОУ ВО «Военный учебно-научный центр ВМФ «Военно-морская академия имени Адмирала Флота Советского Союза Н. Г. Кузнецова» (ВМА им. Н. Г. Кузнецова) МО РФ, профессор кафедры.
г. Санкт-Петербург

Васильев / Vasiliev V.
Валерий Васильевич
(vasiliev.valeron2016@yandex.ru)
Военно-морской политехнический институт ВУНЦ ВМФ ВМА им. Н. Г. Кузнецова, адъюнкт.
г. Санкт-Петербург

Понкратова / Ponkratova K.
Ксения Ивановна
(jessy_magg@mail.ru)
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет», аспирант.
г. Санкт-Петербург

Ключевые слова: функция – function; аппроксимация – approximation; сплайн – spline; динамическая система – dynamic system; сигнал – signal; процесс – process; алгоритм – algorithm, матрица – matrix; фильтрация – filtering.

В статье рассмотрена задача оценивания состояния нелинейной динамической системы, основанная на линейной сплайн-интерполяции функций. Приведены примеры применения в задачах фильтрации и обнаружения сигналов и анализ компьютерного моделирования. Для многомерных систем получены модели динамических систем и алгоритмы обработки в виде векторно-матричных уравнений.

The estimation problem of a status of non-linear dynamic system based on the line spline interpolation of functions is considered in article. Examples of application in problems of filtering and detection of signals and the computer simulation analysis are given. For multivariate systems, models of dynamic systems and algorithms of processing in the form of the vector-matrix equations are received.

Введение

Существует множество методов решения задачи оптимальной фильтрации для нелинейных систем, основанных на различных методах аппроксимации апостериорной плотности вероятности (АПВ). Обычно задача нахождения АПВ сводится к нахождению вероятностных характеристик апостериорного распределения (методы моментов, квазимоментов, спектральные моды), также сюда относятся численные методы решения, конечно-разностные и конечно-элементные методы, эллипсоидальная аппроксимация апостериорного распределения; замена оценки функции на функцию оценки; замена среднего по множеству средним по времени. Другие методы характеризуются упрощением исходных математических моделей с помощью линеаризации или представления функций, что позволяет использовать обобщенный фильтр Калмана, субоптимальные фильтры Стратоновича, Пугачева и др. [1–3].

Перечисленные выше методы дают принципиальную возможность получить приближение к оптимальной оценке с любой степенью точности, но требуют значительных вычислительных затрат. Однако в ряде случаев, когда АПВ существенно отличается от нормальной и при возникновении больших ошибок фильтрации, требуются более точные приближения. С этой точки зрения особенно привлекательными являются аппроксимации, основанные на сплайновых представлениях, так как при их применении никаких допущений по поводу законов распределений не делается, поэтому в данной статье будет рассматриваться метод, основанный на сплайновых представлениях. В этом случае задача фильтрации решается за счет того, что нелинейная функция представляется через линейные сплайны, что дает возможность проводить линейную обработку на каждом интервале и представлять нелинейный алгоритм как композицию линейных фильтров Калмана-Бьюси.

Сплайны в математике известны давно, в конце XIX века английские инженеры так называли гибкую линейку, которую применяли для проектирования закруглений

железных дорог. Математика получила этот термин благодаря работам Шонберга в 1946 г., который назвал так рассмотренные им функции с «кусочными» свойствами. Сплайн В. С. Рябенького был первым интерполяционным минимальным сплайном. К настоящему времени имеется большая серия статей и ряд монографий, освещающих многие стороны теоретических исследований и широкого практического применения различных сплайнов [5, 6].

Существует большое количество разнообразных пространств сплайнов с различными полезными свойствами: гладкостью, качественной аппроксимацией, численной устойчивостью, неотрицательностью базисных функций, минимальной кратностью накрытия носителями функций базиса при заданном порядке аппроксимации. Некоторые пространства сплайнов обладают интерполяционным локальным базисом, определенными фильтрационными свойствами. Выбор пространства сплайнов обычно определяется типом данных и целями, которые ставятся при их обработке.

Первая цель – улучшение качества приближения: при одинаковых вычислительных затратах абсолютные погрешности аппроксимации сплайнами меньше, чем абсолютные погрешности аппроксимации многочленами, а при одинаковых погрешностях уменьшается объем вычислений. Сплайны позволяют избежать осцилляций. Для сходимости аппроксимации к аппроксимируемой функции предъявляются более слабые требования, чем в случае многочленов. Например, интерполяция сплайнами невысоких степеней сходится даже для непрерывных функций.

Вторая цель – резкое уменьшение вычислительных трудностей как при построении алгоритмов решения задач, так и при дальнейшей работе с аппроксимантами, которые на каждом звене представляют собой многочлены невысоких степеней или иные элементарные функции.

Достижение этих целей привело в настоящее время к образованию двух направлений в теории сплайнов: алгебраического и вариационного.

В первом случае сплайны трактуются как некоторые гладкие кусочно-многочленные функции с однородной структурой. Сюда относятся так называемые L-сплайны, составленные из решений однородного линейного дифференциального уравнения (где $Ls(x)=0$ (где L – дифференциальный оператор). Решение задач аппроксимации и изучение аппроксимативных свойств сплайнов при этом сводятся к исследованию линейных алгебраических систем. При вариационном подходе под сплайнами понимают элементы гильбертовых (или банаховых) пространств, минимизирующие определенные функционалы, а затем исследуются свойства этих решений. Преимуществом алгебраического подхода перед вариационным является простота изложения и большая близость к практическим потребностям современных методов обработки, ориентируемых на цифровые вычислительные средства. Известно [4, 5], что наиболее эффективными, с точки зрения интерполяции и аппроксимации, являются кубические сплайны и B-сплайны, которые широко используются в практических задачах. Но их применение в вопросах фильтрации и обнаружения не позволит вывести алгоритм обработки из рамок нелинейных процедур, так как кубический сплайн является совокупностью функций третьей степени, которые нелинейны. Поэтому в статье используются линейные сплайны, которые хотя и не удовлетворяют требованиям непрерывности первой и второй производной, но зато позволяют свести алгоритм нелинейной фильтрации к линейной.

Необходимо отметить, что сплайновые функции представляют собой мощное и привлекательное в вычислительном отношении средство современной теории аппроксимации.

Сплайны обладают рядом интересных свойств:

- если аппроксимируемая функция неотрицательна, то такова и аппроксимирующая функция;
- сплайновая аппроксимация равномерно сходится к аппроксимируемой функции при возрастании степени используемых полиномов или числа узлов;
- можно построить точные границы ошибок аппроксимации, использующие только свойство непрерывности функции;
- достаточно точные аппроксимации получаются даже при низких степенях полиномов и малом числе узлов, поэтому необходимая память и вычислительные требования невелики;
- использование сплайновых аппроксимаций позволяет ослабить «проклятие размерности».

Предлагаемый подход обладает большой общностью и позволяет решать сложные задачи нелинейной фильтрации-обнаружения с помощью линейных фильтров Калмана, структура которого скачкообразно меняется в зависимости от мгновенного значения оцениваемого процесса.

В настоящей статье предлагается метод фильтрации-обнаружения, основанный на аппроксимации стохастического уравнения помехи кусочно-линейными функциями (линейные сплайн-функции). Разработанные на этой основе алгоритмы обработки сигналов определяются как алгоритмы сплайн-фильтрации и сплайн-обнаружения.

Метод сплайн-фильтрации и обнаружение для скалярной системы

Алгоритм линейной сплайн-фильтрации на интервале можно представить как фильтр Калмана с параметрами, меняющимися в зависимости от номера секции, к которой принадлежит текущая оценка процесса. Известно, что в задачах линейной фильтрации нет необходимости вычислять плотность вероятности, достаточно найти оценку математического ожидания процесса в каждой точке и дисперсию этой оценки [8–10].

Предположим, что задана стохастическая динамическая система (ДС) уравнений вида:

$$\begin{cases} \dfrac{dx}{dt} = f(\mathrm{x}) + n_1(t), \\ z = x + n_0(t). \end{cases} \qquad x(0) = x_0. \tag{1}$$

$n_0(t)$ и $n_1(t)$ белые гауссовские шумы математическое ожидание и корреляционные функции которых, определяются выражениями:

$$\langle n_0(t) \rangle = \langle n_1(t) \rangle = 0, \ \langle n_0(t) n_0(t-\tau) \rangle = N_0 \delta(\tau),$$
$$\langle n_1(t) n_1(t-\tau) \rangle = N_1 \delta(\tau)$$

Таким образом, первое уравнение описывает динамику состояния, а второе является уравнением наблюдения процесса.

Аппроксимируем функцию $f(.)$, входящую в уравнение состояния, на интервалах $[x_i, x_{i+1})$ кусочно-линейной функцией, определяющей сплайн первой степени S_1 класса C [2]:

$$S_1 = \begin{cases} a_1(x - x_1) + b_1, & x_1 \le x < x_2 \\ a_2(x - x_2) + b_2, & x_2 \le x < x_3 \\ \hline a_i(x - x_i) + b_i, & x_i \le x < x_{i+1} \\ \hline a_n(x - x_n) + b_n, & x_{n-1} \le x < x_n. \end{cases} \tag{2}$$

где: n – число интервалов аппроксимации.

Зададим линейный интерполяционный сплайн между узлами сетки:

$$S_1(x) = (1-u) f_i + u f_{i+1}, \quad u = \frac{(x - x_1)}{\Delta_i},$$
$$\Delta_i = x_{i+1} - x_i.$$

Асимптотически наилучшее равномерное приближение сплайном первой степени $S_1(x)$ функции $f(x)$ определяется выражением

$$S_1 = (1-u)\left[f_i - \frac{1}{16} \max\left(\Delta_{i-1}^2, \Delta_i^2\right) f_i \right] +$$
$$+ u\left[f_{i+1} - \frac{1}{16} \max\left(\Delta_i^2, \Delta_{i+1}^2\right) f_{i+1} \right]. \tag{3}$$

$x_i \le x < x_{i+1}$, $\Delta_{-1} = \Delta_N = 0$,. n – число интервалов аппроксимации.

Введём функции прямоугольного окна $h(.)$, которую определим следующим образом

$$h(x_i, x_{i+1}) = \begin{cases} 1 \ \textit{если} \ x \in [x_i, x_{i+1}) \\ 0 \ \textit{если} \ x \notin [x_i, x_{i+1}) \end{cases} \Rightarrow$$
$$\Rightarrow S_1 = \sum_{i=1}^{n} h(x_i, x_{i+1})(a_i x + b_i)$$

С учетом последнего, стохастическое ДС (1), у которого коэффициент сноса $f(x)$ аппроксимирован кусочно-линейными функциями, имеет вид:

$$\frac{dx}{dt} = \sum_{i=1}^{n} h(x_i, x_{i+1})(a_i x + b_i) + n_1(t). \tag{4}$$

Уравнение (4) определяет марковский процесс, статистические характеристики которого полностью определяются двумя одномерными распределениями: начальной и переходной плотностями вероятности. Аналитическое выражение для них можно найти, решая соответствующее уравнение Фоккера-Планка-Колмогорова [3].

$$\frac{\partial p}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial x}\left[\sum_{i=1}^{n} h(x_i, x_{i+1})(a_i x + b_i) p \right] +$$
$$+ \frac{N_0 [\sum_{i=1}^{n} h(x_i, x_{i+1}) a_i^2]}{4} \frac{\partial^2 p}{\partial x^2}, \tag{5}$$

При начальных условиях $p = \delta(x - x_1)$ решением уравнения будет:

$$p(x,t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi R(t)}} \exp\left\{ \frac{[x - m_x(t)]^2}{2R(t)} \right\},$$
$$x_0 = 0, \ m_x(0) = 0.$$
$$m_x(t) = x_0 \exp\left[t \sum_{i=1}^{n} h(x_i, x_{i+1}) a_i \right].$$
$$R(t) = 0.25 \mathrm{N}_0 \sum_{i=1}^{n} h(x_i, x_{i+1}) a_i \left\{ 1 - \exp\left[2t \sum_{i=1}^{n} h(x_i, x_{i+1}) a_i \right] \right\}.$$

Имитационное моделирование уравнения (5) показывает, что плотность вероятности имеет разрывы, которые являются следствием операции дифференцирования над функцией $h(x)$. Для удовлетворения требования непрерывности плотности вероятности применялась операция сглаживания высокочастотных (ВЧ) составляющих характеристической функции, путем замены ВЧ-отсчетов ($i > 6$) нулями.

Рассмотрим, как определяются значения коэффициентов a_i, b_i через узловые точки x_i и значения функции $f(x_i)$. Для их определения составим систему уравнений:

$$\begin{cases} f(x_{i-1}) = a_i x_{i-1} + b_i \\ f(x_i) = a_i x_i + b_i \end{cases}. \tag{6}$$

В результате получаем значения коэффициентов:

$$a_i = \frac{f(x_i) - f(x_{i-1})}{x_i - x_{i-1}}; \quad b_i = \frac{f(x_i) x_i - f(x_{i-1}) x_{i-1}}{x_i - x_{i-1}}. \tag{7}$$

Необходимо отметить, что аппроксимировать исходную функцию кусочно-линейной можно различными способами (к примеру, точки сопряжения отрезков

прямых можно выбирать на самой функции или вне ее). С другой стороны, способ аппроксимации зависит от принятого критерия близости [5, 6].

Но для решения задачи линейной фильтрации в этом нет необходимости, так как выражение (4) позволяет на интервалах $[x_i, x_{i+1})$ рассматривать (1) как линейное стохастическое уравнение, вследствие чего алгоритм фильтрации для этого интервала представим как фильтр Калмана с параметрами, меняющимися в зависимости от номера интервала Δ_i, к которому принадлежит текущая оценка процесса $x(t)$.

Так как в задачах линейной фильтрации не требуется вычислять плотность вероятности, а достаточно найти оценку математического ожидания процесса в каждой точке и дисперсию этой оценки, то можно после стандартной процедуры осреднения [3, 4, 8–10] записать уравнение оценки случайного процесса $x(t) \in \Delta_i$ задаваемого системой (1) в виде:

$$\begin{cases} \dfrac{d\hat{x}}{dt} = \sum\limits_{i=1}^{n} h(x_i, x_{i+1})\left(a_i\hat{x} + b_i\right) + \dfrac{R}{N_0}\left(z - \hat{x}\right), \\ \dfrac{dR}{dt} = \dfrac{N_1}{2} - 2\sum\limits_{i=1}^{n} h(x_i, x_{i+1}) a_i R - \dfrac{R^2}{N_0}. \end{cases} \quad (8)$$

Учитывая, что на уровне математических моделей система и сигнал неразличимы, уравнения (8) могут быть использованы и при решении задач фильтрации и обнаружения сигналов [7–10].

Для стационарного режима, когда производная дисперсии на интервале $x \in \Delta_i$ равна нулю, можно записать соотношение:

$$\hat{\sigma}_x^2 = \frac{1}{2}\sqrt{N_0^2 a_i^2 + N_0 N_1} - N_0 a_i = Const, \quad x \in \Delta_i. \quad (9)$$

Если рассматривать весь интервал изменения $x \in X$, то дисперсия фильтрации случайного процесса $x(t)$будет представляться вектором $(\sigma_1^2, \sigma_2^2, ..., \sigma_n)$.Таким образом, имеет место соответствие: $\{\Delta_i\} \to \{\hat{\sigma}_i^2\}$ и система уравнений (8) представляется уравнениями:

$$\begin{cases} \dfrac{d\hat{x}}{dt} == \sum\limits_{i=1}^{n} h(x_i, x_{i+1})(a_i\hat{x} + b_i) + \dfrac{2\hat{\sigma}_x^2}{N_0}(u - \hat{x}) \\ \hat{\sigma}_x^2 = 0.5\sqrt{N_0^2 \sum\limits_{i=1}^{n} h(x_i, x_{i+1}) a_i + N_0 N_1} + 0.5 N_0 \sum\limits_{i=1}^{n} h(x_i, x_{i+1}) a_i \end{cases} \quad (10)$$

Из выражения (10) следует, что в стационарном режиме дисперсия фильтрации, постоянна на интервалах Δ_i, и меняется при переходе к другому интервалу ступенчатым образом. При этом необходимо отметить, что на каждом интервале реализуется линейный фильтр Калмана-Бьюси. При этом дисперсия фильтрации является функцией только оценки $\hat{\sigma}_x^2(\hat{x})$. Важным фактором с вычислительной точки зрения является то, что стационарные коэффициенты усиления $[N_0 / 2]\sigma_i^2$ могут быть рассчитаны априори и представляться в виде вектора чисел. Поэтому реализация метода фильтрации со стационарными коэффициентами требует значительно меньших объемов памяти и вычислительных затрат. Но с другой стороны, учитывая, что современная элементная база вычислительной техники непрерывно развивается, а объемы памяти возрастают, предварительный расчет и запоминание вектора функций $[N_0 / 2]\sigma_i^2(t)$ не представляет собой принципиальных сложностей.

Работа алгоритма фильтрации помехи заключается в следующем.

1. С учетом начальных значений $\hat{x}(0)$и $\hat{\sigma}_x(0)$и первого уравнения системы (10) находится значение оценки помехи $\hat{x}(1)$.

2. Значение оценки $\hat{x}(1)$соотносится с системой интервалов $\{\Delta_i\}$.В результате определяются величины коэффициентов $a_i(1)$, $b_i(1)$и дисперсия $\hat{\sigma}_i^2(1)$, которые используются для определения следующей оценки $\hat{x}(2)$.

3. С приходом отсчета реализации u_1 на основании системы уравнений (10) вычисляется следующая оценка помехи $\hat{x}(2)$.

4. Полученное значение $\hat{x}(2)$ соотносится с множеством интервалов $\{\Delta_i\}$ и снова определяется тройка $\{a_i, b_i, \hat{\sigma}_i^2\}$.

5. С учетом полученных значений коэффициентов $a_i(2)$, $b_i(2)$, дисперсии $\hat{\sigma}_i^2(2)$ и системы (10) находится следующее значение оценки помехи $\hat{x}(3)$.

6. Повторяются процедуры 2–5.

Так как линейное СДУ определяет гауссовскую плотность вероятности, то аппроксимация нелинейного СДУ линейным сплайном приводит к тому, что апостериорная плотность вероятности представляется в виде сплайна, «склеенного» из кусков нормальных плотностей вероятности при различных математических ожиданиях и дисперсиях (определяемых коэффициентами a_i, b_i). Так как коэффициенты (a_i, b_i) в общем случае для положительных и отрицательных значениях $\hat{x}$ различны, то плотности вероятности могут иметь более двух моментов, не равными нулю (что имеет место для нормальной плотности вероятности).

Таким образом, в принципиальном плане метод сплайн-фильтрации основан на аппроксимации зависимости $f(x)$ сплайн-функцией $S_1(x)$, что позволяет использовать линейный фильтр Калмана, коэффициенты которого априори определяются значениями a_i, b_i, N_0и N_1. Значения a_iи b_iмогут быть рассчитаны заранее, исходя из вида зависимости $f(x)$и необходимой точности аппроксимации (задача определения числа узлов интерполяции), так как уравнение Риккати, для коэффициента усиления фильтра Калмана, не содержит измеряемых данных.

Сплайн-фильтрация и обнаружение в случае многомерной системы

В работе [8] была предложен метод сплайн-фильтрации, основанный на представлении многомерной функции в виде линейной композиции одномерных функции на расширенном базисе аргументов. Такой подход обеспечивает независимость обработки по

каждой компоненте, но требует значительного расширения числа аргументов. В настоящей статье предлагается подход, не требующий расширения базиса аргументов. Для многомерного случая $\mathbf{x}=(x_1,x_2,...,x_m)$ стохастическую нелинейную ДС можно записать в следующем виде:

$$\begin{cases}\dfrac{d\mathbf{x}}{dt}=\mathbf{f}(\mathbf{x})+\mathbf{n}_1(t),\\ \mathbf{z}=\mathbf{x}+\mathbf{n}_0(t).\end{cases} \qquad (11)$$

f(x)– известная функция своих аргументов.

$$\mathbf{n}_1=\begin{bmatrix}n_{11}(t) & n_{12}(t)-n_{1m}(t)\end{bmatrix}^T,$$
$$\mathbf{n}_0=\begin{bmatrix}n_{01}(t) & n_{02}(t)- & n_{0m}(t)\end{bmatrix}^T.$$

Корреляционные функции формирующего $\mathbf{n}_1(t)$ и наблюдаемого шумов $\mathbf{n}_0(t)$ задаются выражениями:

$$\langle\mathbf{n}_1(t)\rangle=\langle\mathbf{n}_0(t)\rangle=0,\ \langle\mathbf{n}_1(t)\mathbf{n}_1^T(t-\tau)\rangle=\mathbf{N}_1\delta(\tau),$$
$$\langle\mathbf{n}_0(t)\mathbf{n}_0^T(t-\tau)\rangle=\mathbf{N}_0\delta(\tau).$$

$\mathbf{N}_0,\mathbf{N}_1$ – симметричные матрицы двусторонних спектральных плотностей шума наблюдения и формирования размера $(m\times m)$

$$\mathbf{N}_0=\begin{bmatrix}N_{01} & 0 & ... & 0\\ 0 & N_{02} & ... & 0\\ ... & ... & ... & ...\\ 0 & 0 & ... & N_{0m}\end{bmatrix},\quad \mathbf{N}_1=\begin{bmatrix}N_{11} & 0 & ... & 0\\ 0 & N_{12} & ... & 0\\ ... & ... & ... & ...\\ 0 & 0 & ... & N_{1m}\end{bmatrix}.$$

Аппроксимируем систему (11) линейными сплайнами. Сначала рассмотрим более простой случай, когда каждое уравнение содержит только одну переменную. Для этого уравнение (4) развернем до системы уравнений, где каждое из уравнений будет связано только с одной из переменных:

$$\begin{cases}\dfrac{dx_1}{dt}=\sum\limits_{i=1}^{n}h_{1,i}(x_{1,i},x_{1,i+1})(a_{1,i}x_1+b_{1,i})+n_1(t)\\ \dfrac{dx_2}{dt}=\sum\limits_{i=1}^{n}h_{2,i}(x_{2,i},x_{2,i+1})(a_{2,i}x_2+b_{2,i})+n_2(t)\\ ----------\\ \dfrac{dx_m}{dt}=\sum\limits_{i=1}^{n}h_{m,i}(x_{m,i},x_{m,i+1})(a_{m,i}x_m+b_{m,i})+n_m(t)\end{cases}. \qquad (12)$$

Представим последнюю систему в векторно-матричном виде:

$$\sum_{i=1}^{n}h_{j,i}(x_{j,i},x_{j,i+1})a_{j,i}x_j=$$
$$=h_{j,1}a_{j,1}x_1+h_{j,2}a_{j,2}x_1+...+h_{j,1}a_{j,n}x_1.$$

$$\begin{bmatrix}h_{1,1}a_{1,1} & h_{1,2}a_{1,2} & --- & h_{1,n}a_{1,n}\\ h_{2,1}a_{2,1} & h_{2,2}a_{2,2} & --- & h_{2,n}a_{2,n}\\ --- & --- & --- & ---\\ h_{m,1}a_{m,1} & h_{m,2}a_{m,2} & --- & h_{m,n}a_{m,n}\end{bmatrix}^T\begin{bmatrix}x_1\\ x_2\\ --\\ x_m\end{bmatrix}=$$

$$=\begin{bmatrix}h_{1,1}a_{1,1} & h_{2,1}a_{2,1} & --- & h_{m,1}a_{m,1}\\ h_{1,2}a_{1,2} & h_{2,2}a_{2,2} & --- & h_{m,2}a_{m,2}\\ --- & --- & --- & ---\\ h_{1,n}a_{1,n} & h_{2,n}a_{2,n} & --- & h_{m,n}a_{m,n}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}x_1\\ x_2\\ --\\ x_m\end{bmatrix}.$$

$$\cdot\mathbf{A}=\begin{bmatrix}h_{1,1}a_{1,1} & h_{2,1}a_{2,1} & --- & h_{m,1}a_{m,1}\\ h_{1,2}a_{1,2} & h_{2,2}a_{2,2} & --- & h_{m,2}a_{m,2}\\ --- & --- & --- & ---\\ h_{1,n}a_{1,n} & h_{2,n}a_{2,n} & --- & h_{m,n}a_{m,n}\end{bmatrix}.$$

$$\cdot\mathbf{Ax}=\{h_{i,j}a_{j,i}\}_{n\times m}\cdot\{x_j\}_{m\times 1}. \qquad (13)$$

Аналогично получим для свободного члена:

$$B_j=\sum_{i=1}^{n}h_{j,i}(x_i,x_{i+1})b_{j,i}$$

$$B_j=h_{j,1}b_{j,1}+h_{j,2}b_{j,2}+...+h_{j,n}b_{j,n}=$$
$$=\begin{bmatrix}h_{j,1}h_{j,2}...h_{j,n}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}b_{j,1}\\ b_{j,2}\\ ...\\ b_{j,n}\end{bmatrix}=\mathbf{h}_j\mathbf{b}_j^T.$$

$$\mathbf{B}=\begin{bmatrix}h_{1,1}b_{1.1}+h_{1,2}b_{1.2}+...+h_{1,n}b_{1.n}\\ h_{2,1}b_{2.1}+h_{2,1}b_{2.1}+...+h_{2,n}b_{2.n}\\ .....\\ h_{m,1}b_{m.1}+h_{m,2}b_{m.2}+...+h_{m,n}b_{m.n}\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}B_1\\ B_2\\ ....\\ B_m\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}\mathbf{h}_1\mathbf{b}_1^T\\ \mathbf{h}_2\mathbf{b}_2^T\\ .....\\ \mathbf{h}_m\mathbf{b}_m^T\end{bmatrix}, \qquad (14)$$

$$\mathbf{h}_j=\begin{bmatrix}h_{j,1} & h_{j,2} & -- & h_{j,n}\end{bmatrix},$$
$$\mathbf{b}_j=\begin{bmatrix}b_{j,1} & b_{j,2} & -- & b_{j,n}\end{bmatrix}$$

$$\mathbf{N}_0=\begin{bmatrix}N_{01} & 0 & ... & 0\\ 0 & N_{02} & ... & 0\\ ... & ... & ... & ...\\ 0 & 0 & ... & N_{0m}\end{bmatrix},\quad \mathbf{N}_1=\begin{bmatrix}N_{11} & 0 & ... & 0\\ 0 & N_{12} & ... & 0\\ ... & ... & ... & ...\\ 0 & 0 & ... & N_{1m}\end{bmatrix}.$$

Таким образом, динамическую систему (11) в векторно-матричной форме, можно представить следующей системой дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} \dfrac{d\mathbf{x}}{dt} = \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{B} + \mathbf{n}_1, \\ \mathbf{z} = \mathbf{x} + \mathbf{n}_0. \end{cases} \tag{15}$$

Уравнение оценивания состояния ДС для (15) можно записать в виде:

$$\begin{cases} \dfrac{d\hat{\mathbf{x}}}{dt} = \mathbf{A}\hat{\mathbf{x}} + \mathbf{B} + \mathbf{K}\left(\mathbf{z} - \hat{\mathbf{x}}\right), \quad \mathbf{K} = \mathbf{R}\mathbf{N}_0^{-1}, \\ \dfrac{d\mathbf{R}}{dt} = \mathbf{N}_1 - \mathbf{A}\mathbf{R} + \mathbf{R}\mathbf{A}^T - \mathbf{R}\mathbf{N}_0^{-1}\mathbf{R}^T. \end{cases} \tag{16}$$

$\mathbf{A}$ – диагональная матрица $(m \times m)$; $\mathbf{B}$, $\mathbf{z}$ – вектор-столбцы $(m \times 1)$; $\mathbf{K}$– матричный коэффициент усиления $(m \times m)$; $\mathbf{R}$ – корреляционная матрица ошибок фильтрации $(m \times m)$.

Для задачи фильтрация-обнаружение сигналов динамическая система соответствует нелинейному стохастическому уравнению, которое описывает помеху $\mathbf{x}$, а уравнение наблюдения имеет вид [9–10]:

$$\begin{cases} \dfrac{d\mathbf{x}}{dt} = \mathbf{f}\left(\mathbf{x}\right) + \mathbf{n}_1\left(t\right) \\ \mathbf{z}(t) = \theta\mathbf{s}(t) + \mathbf{x}(t) + \mathbf{n}_0(t), \quad \theta = 0,1. \end{cases} \tag{17}$$

Система уравнений моделирующих обработку сигнала, при условии нелинейности уравнения состояния и аппроксимации нелинейности линейными сплайнами, может быть записана следующим образом:

$$\begin{cases} \dfrac{d\hat{\mathbf{x}}_+}{dt} = -(\mathbf{A} + \mathbf{K})\hat{\mathbf{x}}_+ + \mathbf{K}(2\mathbf{z} - \mathbf{s}) \\ \dfrac{d\hat{\mathbf{x}}}{dt} = \mathbf{A}\hat{\mathbf{x}} + \mathbf{B} + \mathbf{K}\left(\mathbf{z} - \hat{\mathbf{x}}\right), \quad \mathbf{K} = \mathbf{R}\mathbf{N}_0^{-1} \\ \dfrac{d\mathbf{R}}{dt} = \mathbf{N}_1 - \mathbf{A}\mathbf{R} + \mathbf{R}\mathbf{A}^T - \mathbf{R}\mathbf{N}_0^{-1}\mathbf{R}^T \\ \dfrac{dL}{dt} = \mathbf{N}_0^{-1}(\mathbf{s} + \hat{\mathbf{x}}_-)(2\mathbf{z} - \mathbf{s} - \hat{\mathbf{x}}_+) + \mathbf{s}\mathbf{N}_0^{-1}\mathbf{s}^T \end{cases}. \tag{18}$$

$\hat{\mathbf{x}}_+ = \hat{\mathbf{x}}_1 + \hat{\mathbf{x}}_0$, $\hat{\mathbf{x}}_- = \hat{\mathbf{x}}_1 - \hat{\mathbf{x}}_0$; $\hat{\mathbf{x}}_1$, $\hat{\mathbf{x}}_0$ – оценка помехи, соответственно при наличии сигнала и его отсутствии; L отношение правдоподобия.

Рассмотрим общий случай, когда каждое ДУ будет содержать не одну, а все переменные, т.е. когда изменение состояния одной переменной зависит от состояния нескольких (или всех) переменных $\mathbf{x} = \left(x_1, x_2, ..., x_m\right)$.Тогда функция окна будет зависеть не только от i и j (где i – номер интервала, на котором проводится линейная сплайн-интерполяция, $i = \overline{1,\ n}$; j – индекс переменной $j = \overline{1,\ m}$), но еще от k – индекса определяющего секции на каждой из переменных, и индекса l, определяющего коэффициенты на каждой из секций. В скалярном случае один индекс, когда в каждом уравнении по одной переменной, два индекса, когда в каждом уравнении все переменные, то $2 \times 2 = 4$ индекса.

Введем следующие обозначения:

$$h_{1,i}^{kl}\left(x_{1,i}, x_{1,i+1}\right) = h_{1i}^{kl},\ a_{1,i} = a_{1i}^{kl},\ b_{1,i} = b_{1i}^{kl}$$

$$\begin{cases} \dfrac{dx_1}{dt} = \sum\limits_{i=1}^{n} h_{1i}^{11}\left(a_{1i}^{11}x_1 + b_{1i}^{11}\right) + \sum\limits_{i=1}^{n} h_{1i}^{12}\left(a_{1i}^{12}x_2 + b_{1i}^{12}\right) + ... \\ .....+ \sum\limits_{i=1}^{n} h_{1i}^{1m}\left(a_{1i}^{1m}x_m + b_{1i}^{1m}\right) + n_1\left(t\right) \\ \dfrac{dx_2}{dt} = \sum\limits_{i=1}^{n} h_{2i}^{21}\left(a_{2i}^{21}x_1 + b_{1i}^{21}\right) + \sum\limits_{i=1}^{n} h_{2i}^{22}\left(a_{2i}^{12}x_2 + b_{2i}^{12}\right) + ... \\ .....+ \sum\limits_{i=1}^{n} h_{mi}^{2m}\left(a_{mi}^{2m}x_m + b_{1i}^{2m}\right) + ... + n_2\left(t\right) \\ ..... \\ \dfrac{dx_m}{dt} = \sum\limits_{i=1}^{n} h_{mi}^{m1}\left(a_{1i}^{m1}x_1 + b_{1i}^{m1}\right) + \sum\limits_{i=1}^{n} h_{mi}^{m2}\left(a_{mi}^{m2}x_2 + b_{mi}^{m2}\right) + ... \\ .....+ \sum\limits_{i=1}^{n} h_{mi}^{mm}\left(a_{mi}^{mm}x_m + b_{1i}^{mm}\right) + ... + n_m\left(t\right) \end{cases}$$

$$\begin{cases} \dfrac{dx_1}{dt} = \sum\limits_{i=1}^{n} h_{1i}^{11}a_{1i}^{11}x_1 + \sum\limits_{i=1}^{n} h_{1i}^{12}a_{1i}^{12}x_2 + ... \\ .....+ \sum\limits_{i=1}^{n} h_{1i}^{1m}a_{1i}^{1m}x_m + \sum\limits_{k}^{m}\sum\limits_{i=1}^{n} h_{1i}^{1k}b_{1i}^{1k} + n_1\left(t\right) \\ \dfrac{dx_2}{dt} = \sum\limits_{i=1}^{n} h_{2i}^{21}a_{2i}^{21}x_1 + \sum\limits_{i=1}^{n} h_{2i}^{22}a_{2i}^{22}x_2 + ... \\ .....+ \sum\limits_{i=1}^{n} h_{2i}^{2m}a_{2i}^{2m}x_m + \sum\limits_{k}^{m}\sum\limits_{i=1}^{n} h_{2i}^{2k}b_{2i}^{2k} + n_2\left(t\right) \\ ..... \\ \dfrac{dx_m}{dt} = \sum\limits_{i=1}^{n} h_{mi}^{m1}a_{mi}^{m1}x_1 + \sum\limits_{i=1}^{n} h_{mi}^{m2}a_{mi}^{m2}x_2 + ... \\ .....+ \sum\limits_{i=1}^{n} h_{mi}^{mm}a_{mi}^{mm}x_m + \sum\limits_{k}^{m}\sum\limits_{i=1}^{n} h_{mi}^{2k}b_{mi}^{2k} + n_m\left(t\right) \end{cases}.$$

Суммируя слагаемые в правой части последней системы, получим:

$$\begin{cases} \dfrac{dx_1}{dt} = \sum\limits_{k=1}^{m}\sum\limits_{i=1}^{n} h_{1i}^{1k}a_{1i}^{1k}x_k + \sum\limits_{k}^{m}\sum\limits_{i=1}^{n} h_{1i}^{1k}b_{1i}^{1k} + n_1\left(t\right) \\ \dfrac{dx_2}{dt} = \sum\limits_{k=1}^{m}\sum\limits_{i=1}^{n} h_{2i}^{2k}a_{2i}^{2k}x_k + \sum\limits_{k}^{m}\sum\limits_{i=1}^{n} h_{2i}^{2k}b_{2i}^{2k} + n_2\left(t\right) \\ ..... \\ \dfrac{dx_m}{dt} = \sum\limits_{k=1}^{m}\sum\limits_{i=1}^{n} h_{mi}^{mk}a_{mi}^{mk}x_k + \sum\limits_{k}^{m}\sum\limits_{i=1}^{n} h_{mi}^{mk}b_{mi}^{mk} + n_m\left(t\right) \end{cases}$$

Введем следующие обозначения:

$$\mathbf{A}_{11}^1 = \sum_{i=1}^{n} h_{1i}^{11}a_{1i}^{11},\ \ \mathbf{A}_{12}^1 = \sum_{i=1}^{n} h_{1i}^{12}a_{1i}^{12},\ \ \ldots,\ \mathbf{A}_{1m}^1 = \sum_{i=1}^{n} h_{1i}^{1m}a_{1i}^{1m}$$

$$\mathbf{A}_{21}^2 = \sum_{i=1}^{n} h_{2i}^{21}a_{2i}^{21},\ \mathbf{A}_{22}^2 = \sum_{i=1}^{n} h_{2i}^{22}a_{2i}^{22},\ \ldots,\ \mathbf{A}_{2m}^2 = \sum_{i=1}^{n} h_{2i}^{2m}a_{2i}^{2m}$$

$$.....$$

$$\mathbf{A}_{m1}^m = \sum_{i=1}^{n} h_{mi}^{m1}a_{mi}^{m1},\ \mathbf{A}_{m2}^m = \sum_{i=1}^{n} h_{2i}^{m2}a_{mi}^{m2},\ \ldots,\ \mathbf{A}_{1m}^m = \sum_{i=1}^{n} h_{mi}^{mm}a_{mi}^{mm} \tag{19}$$

$$\mathbf{B}_1 = \sum_{k=1}^{m}\sum_{i=1}^{n} h_{2i}^{2k} b_{2i}^{2k}, \mathbf{B}_2 = \sum_{k=1}^{m}\sum_{i=1}^{n} h_{2i}^{2k} b_{2i}^{2k}, \ldots\ldots, \mathbf{B}_m = \sum_{k=1}^{m}\sum_{i=1}^{n} h_{mi}^{mk} b_{mi}^{mk} \tag{20}$$

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} \mathbf{A}_{11}^1 & \mathbf{A}_{12}^1 & \ldots\ldots & \mathbf{A}_{1m}^1 \\ \mathbf{A}_{21}^2 & \mathbf{A}_{22}^2 & \ldots\ldots & \mathbf{A}_{2m}^2 \\ \ldots\ldots & \ldots\ldots & \ldots\ldots & \ldots\ldots \\ \mathbf{A}_{m1}^m & \mathbf{A}_{m2}^m & \ldots\ldots & \mathbf{A}_{mm}^m \end{bmatrix}, \quad \mathbf{B} = \begin{bmatrix} \mathbf{B}_1 \\ \mathbf{B}_2 \\ \ldots\ldots \\ \mathbf{B}_m \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{Ax} = \begin{bmatrix} \mathbf{A}_{11}^1 & \mathbf{A}_{12}^1 & \ldots\ldots & \mathbf{A}_{1m}^1 \\ \mathbf{A}_{21}^2 & \mathbf{A}_{22}^2 & \ldots\ldots & \mathbf{A}_{2m}^2 \\ \ldots\ldots & \ldots\ldots & \ldots\ldots & \ldots\ldots \\ \mathbf{A}_{m1}^m & \mathbf{A}_{m2}^m & \ldots\ldots & \mathbf{A}_{mm}^m \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \ldots \\ x_m \end{bmatrix}$$

С учетом, введенных обозначений систему (18) можно записать в виде:

$$\begin{cases} \dfrac{d\mathbf{x}}{dt} = \mathbf{Ax}(t) + \mathbf{B} + \mathbf{n}_1(t) \\ \mathbf{z} = \theta\mathbf{s}(t) + \mathbf{x}(t) + \mathbf{n}_0(t) \end{cases}.$$

Векторно-матричная модель фильтрации-обнаружения может быть записана в виде (12), но при этом матрицы **A**, **B** вычисляются по формулам (19–20), а не по (13) и (14).

Выводы

1. Аппроксимация стохастической нелинейной динамической системы в виде линейных сплайнов является глобальной аппроксимацией, позволяющей сохранить все особенности присущие ей.

2. На каждом линейном участке система обработки может быть представлена в виде линейного фильтра Калмана-Бьюси. При этом будут соблюдаться все условия его применимости, а именно, модель шума в виде гауссовского процесса и линейность самой системы относительно ее состояния.

3. В целом система обработки представляется в виде композиции фильтров Калмана-Бьюси, имеющими характеристики, согласованные с моделью системы на каждом из интервалов сплайнового представления.

4. Плотность вероятности оцениваемого процесса представляется в виде сочленения различных гауссовских распределений, каждое из которых соответствует своему интервалу.

5. Компьютерное моделирование подтверждает теоретические выводы, что аппроксимация линейными сплайнами позволяет достичь выходного эффекта сколь угодно близкого к точной модели системы.

6. Предложенный подход может быть применен в задачах обнаружения и фильтрации сигналов в условиях помех и шумов с различными законами распределений.

Литература

1. Рыбаков, К. А. Решение задачи оптимальной нелинейной фильтрации как задача анализа систем со случайными обрывами и ветвлениями траекторий / К.А. Рыбаков // Материалы конференции «Физико-математические науки и информационные технологии: актуальные проблемы». – Новосибирск: Изд. «Сибирская ассоциация консультантов», 2012. – С. 38–42.

2. Крассовский, А. А. Справочник по теории автоматического управления / А.А. Красовский. – М.: Наука, 1987. – 711 с.

3. Тихонов, В. И. Статистический анализ и синтез радиотехнических устройств и систем / В.И. Тихонов, В.Н. Харисов. – М.: Радио и связь, 1991. – 608 с.

4. Казаков, В. А. Введение в теорию марковских процессов и некоторые радиотехнические задачи / В.А. Казаков. – М.: Сов. радио, 1973. – 232 с.

5. Бурова, И. Г. Теория минимальных сплайнов / И.Г. Бурова, Ю.К. Демьянович. – СПб.: СПбГУ, 2001. – 315 с.

6. Завьялов, Ю. С. Метод сплайн-функций / Ю.С. Завьялов, Б.Н. Квасов, В.Л. Мирошниченко. – М.: Наука, 1980. – 352 с.

7. Розов, А. К. Нелинейная фильтрация сигналов / А.К. Розов. – СПб.: Политехника, 1994. – 381 с.

8. Бутырский, Е. Ю. Основы сплайн-фильтрации сигналов / Е.Ю. Бутырский // Информация и Космос. – 2010. – № 1. – С. 34–39.

9. Бутырский, Е. Ю. Обнаружение сигналов на фоне марковской реверберационной помехи / Е.Ю. Бутырский // Научное приборостроение. – 2012. – Т. 22, № 1. – С. 87–95.

10. Бутырский, Е. Ю. Сплайн модели сигналов и сплайн фильтрация / / Е.Ю. Бутырский // Национальная безопасность и стратегическое планирование. – 2014.– № 2 (6). – С. 43–56.

Исследование совместной информации

Joint information research

Синюк / Sinyuk A.
Александр Демьянович
(eentrop@rambler.ru)
доктор технических наук, доцент.
ФГКВОУ ВО «Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного» (ВАС им. С. М. Буденного) МО РФ,
доцент.
г. Санкт-Петербург

Остроумов / Ostroumov O.
Олег Александрович
(oleg-26stav@mail.ru)
кандидат технических наук.
ВАС им. С. М. Буденного,
преподаватель.
г. Санкт-Петербург

Ключевые слова: широковещательный канал связи – broadcast channel; оценка информационной эффективности передачи информации по широковещательному каналу – assessment of information efficiency of information transfer on broadcast channel; пропускная способность канала связи – throughput of communication link; средняя совместная информация – average joint information; условная совместная информация – conventional joint information; свойства совместной информации – properties of joint information.

В предшествующих работах введены модель широковещательного канала и совместная информация для оценки информационной эффективности. Статья посвящена исследованиям совместной информации. Доказательно выявлены свойства перестановок, аддитивности, тождества совместной и взаимной информаций, не увеличения при преобразованиях, граничные значения. Сделан вывод, что совместная информация формирует фундамент для получения точных оценок пропускной способности, очерчивающих потенциальные возможности в ходе разработки систем связи с широковещательными каналами.

The model of broadcast channel and joint information for assessment of information efficiency are entered in prior operations. Article is devoted to researches of joint information. Properties of swaps, additivities, identities of joint and mutual information, not increases in case of conversions, boundary values are revealed evidentiary. The conclusion is that joint information creates the base for receiving the exact estimates of throughput contouring potential opportunities during development of systems of communication with broadcast channels.

Введение

В ходе проведенных исследований [1–3] дано описание модели и выполнена постановка задачи кодирования дискретного широковещательного канала без памяти (ДШВК БП), а также введена новая информационная мера [1], позволяющая описать передачу сообщения в разработанной модели канала на основе известного метода соответствия теоретико-информационных тождеств с их эквивалентами из теории множеств [4]. Конечной целью научного поиска определено получение точных оценок информационной эффективности, которые могут упростить реализацию процедур разработки оптимальных систем связи, включающих широковещательные каналы связи (ШВК). Для этого в работе выполняется всестороннее исследование свойств нововведенной меры на основе корректной формулировки и строгих доказательствах утверждений. Полученные результаты сформируют предпосылки для достижения цели определяющей получение точной оценки пропускной способности исследуемой модели ШВК.

Терминология совместной информации

Ранее было определено, что передача сигналов по ДШВК БП [1] определяется двумя каналами с общим входным алфавитом X, выходными алфавитами Y, M. Алфавиты X, Y и M представляются тремя дискретными множествами с сообщениями $x \in X$, $y \in Y$, $m \in M$. На основе ансамбля $\{XYM, p(x,y,m)\}$, который образован всеми тройками $(x,y,m) \in XYM$, и ансамблей $\{X, p(x)\}, \{Y, p(y)\}, \{M, p(m)\}, \{XY, p(x,y)\}, \{XM, p(x,m)\}$ в [1, 5] введена совместная информация (СИ) $F(x;y;m)$, которая рассматривается, как случайная величина (СВ) на ансамбле $\{XYM, p(x,y,m)\}$, что позволило ввести для нее различные числовые характеристики и, в частности, математическое ожидание. В [1, 5] определено понятие среднего количества СИ $F(X;Y;M)$ ансамблей $\{X, p(x)\}, \{Y, p(y)\}, \{M, p(m)\}$ как математическое ожидание СВ $F(x;y;m)$ на ансамбле $\{XYM, p(x,y,m)\}$:

$$F(X;Y;M) = \mathrm{M}F(x;y;m) =$$
$$= \sum_{x\in X}\sum_{y\in Y}\sum_{m\in M} p(x,y,m)\log\left(\frac{p(x/y)p(x/m)}{p(x)p(x/y,m)}\right) =$$
$$= I(X;Y) - I(X;Y/M) = I(X;M) - I(X;M/Y), \quad (1)$$

где M – обозначение математического ожидания, $I(X;Y)$ взаимная информация X и Y [4, 6]; $I(X;Y/M)$ – условная взаимная информация X и Y при известном M [4, 6]; $I(X;M)$ взаимная информация X и M; $I(X;M/Y)$ – условная взаимная информация X и M при известном Y.

В случае если в дополнение к ранее рассмотренному случаю для троек сообщений в модели ДШВК БП в [5] добавлена еще одна составляющая (канал), для которой определены ансамбли $\{Z, p(z)\}$, $\{XZ, p(x,z)\}$, определившие ансамбль $\{XYMZ, p(x, y, m, z)\}$, образованный всевозможными четверками $(x, y, m, z) \in XYMZ$. Это введение позволило определить понятие условной средней СИ $F(X;Y;M/Z)$ ансамблей X, Y и M относительно ансамбля Z:

$$F(X;Y;M/Z) = \\ = \sum_{XYMZ} p(x,y,m,z)\log\left(\frac{p(x/y,z)p(x/m,z)}{p(x/z)p(x/y,m,z)}\right). \quad (2)$$

Исследование совместной информации

Проведем исследование СИ с использованием известной терминологии теории информации [4, 6], корректной формулировки и строгих математических доказательствах представляемых утверждений.

1. Свойство аддитивности. Совместная информация тройки сообщений, одно из которых представляет пару сообщений $F(x;(y,m);z)$ может быть представлена суммой безусловной и условной СИ после преобразований:

$$F(X;(Y,M);Z) = I(X;(Y,M)) - I(X;(Y,M)/Z) = \\ = [I(X;Y) + I(X,M/Y)] - [I(X;Y/Z) + I(X;M/Y,Z)] = \\ = [I(X;Y) - I(X;Y/Z)] + [I(X;M/Y) - I(X;M/Y,Z)] = \\ F(X;Y;Z) + F(X;M;Z/Y). \quad (3)$$

Показанное свойство имеет аналог для взаимной информации [4, 6].

2. Утверждение 1. Для модели ДШВК БП выполняется следующее равенство:

$$F(X;Y;M) = I(Y;M). \quad (4)$$

Доказательство. Согласно (1) запишем

$$F(X;Y;M) = I(X;Y) - I(X;Y/M) = \\ = [H(Y) - H(Y/X)] - [H(Y/M) - H(Y/X,M)] = \\ = [H(Y) - H(Y/X)] - [H(Y/M) - \\ - H(Y/X)] = H(Y) - H(Y/M) = I(Y;M), \quad (5)$$

где $H(Y)$ – энтропия Y [4, 6], $H(Y/X)$ – условная энтропия Y при известном X [4, 6], $H(Y/M)$ – условная энтропия Y при известном M, $H(Y/X,M)$ – условная энтропия Y при условии, что известны X и M.

В (5) учтено, что $H(Y/X,M) = H(Y/X)$, т.к. при фиксированном ансамбле X ансамбли Y и M статистически независимы [7]. Утверждение доказано.

3. Утверждение 2. Для модели ДШВК БП определены границы СИ:

$$\min\left[I(X;M), I(X;Y)\right] \geq F(X;Y;M) \geq 0. \quad (6)$$

Доказательство. Верхняя граница $F(X;Y;M)$ определяется из (1), причем $F(X;Y;M) = I(X;M)$ в случае отсутствия ошибок в первой составляющей ДШВК БП [1], а $F(X;Y;M) = I(X;Y)$ в подобном случае во второй составляющей. Нижняя граница $F(X;Y;M)$ определяется теоремой о неотрицательности средней взаимной информации [4, 6]. $F(X;Y;M) = 0$ в случаях попарной или полной статистической независимости ансамблей друг от друга X, Y и M. Утверждение доказано.

4. Одно из важнейших свойств СИ состоит в том, что она не увеличивается при преобразованиях. Для того чтобы точно сформулировать и доказать это свойство, введем в рассмотрение некоторые преобразования $\psi(\bullet)$ и $f(\bullet)$, отображающие элементы множеств Y и M на элементы других множеств, скажем V и W, соответственно. Предположим, что каждый элемент множества V (W) является образом некоторого (возможно, не одного) элемента из $Y(M)$, что описывается выражением: $V = \psi(Y)$ $(W = f(M))$. Пусть задан $\{XYM, p(x,y,m)\}$ и определена величина средней СИ $F(X;Y;M)$. $\psi(\bullet)$ определяет $\{VX, p(v,x)\}$, для которого

$$p(v,x) = \sum_{y:\psi(y)=v} p(y,x), \quad (7)$$

а преобразование $f(\bullet)$ определяет ансамбль $\{WX, p(w,x)\}$, для которого

$$p(w,x) = \sum_{m:f(m)=w} p(m,x). \quad (8)$$

Поэтому средняя СИ $F(X;Y;M)$ определена для каждого из отображений $\psi(\bullet)$ и $f(\bullet)$ и принимает значения, определяемые выбором $\psi(\bullet)$ и $f(\bullet)$.

Теорема. Для любых отображений $V = \psi(Y)$ и $W = f(M)$ ансамблей Y и M в ансамбли V и W соответственно

$$F(X;Y;M) \geq F(X;V;W), \quad (9)$$

причем равенство достигается, когда отображения обратимы, т. е. каждой паре $v \in V$ и $w \in W$ соответствует единственная пара $y \in Y$ и $m \in M$.

Доказательство. Рассмотрим множество XYV. Так как при выбранном сообщении $x \in X$ сообщение $v \in V$ однозначно определено $y \in Y$ и, следовательно, не зависит от сообщения $x \in X$, то распределение вероятностей на тройках (x,y,v), соответствующее описанному выше отображению, удовлетворяет условию

$$p(v/y,x) = p(v/y), \quad (10)$$

или $p(v,y,x) = p(y,x)p(v/y)$ для всех $(v,y,x) \in YXV$.

Действительно

$$p(v/y,x)=(v/y)=\begin{cases}1, \text{ если } v=\psi(Y),\\ 0, \text{ если } v\neq\psi(Y).\end{cases} \quad (11)$$

Из условия (10) следует, что

$$I(x,v/y)=\mathbf{log}\left(\frac{p(v/y,x)}{p(v/y)}\right)=0. \quad (12)$$

для всех $(y,x,v)\in YXV$,для которых $p(y,x,v)\neq 0$, и, следовательно, . Тогда

$$I(Y,V;X)=I(Y;X)+I(V;X/Y)=I(Y;X). \quad (13)$$

С другой стороны, в силу неотрицательности $I(Y;X/V)$

$$I(Y,V;X)=I(V;X)+I(Y;X/V). \quad (14)$$

Тогда, как и в доказательстве теоремы о неувеличении средней взаимной информации при преобразованиях [4, 6]

$$I(Y;X)=I(V;X)+I(Y;X/V), \quad (15)$$

или

$$I(Y;X)\geq I(V;X). \quad (16)$$

Рассматривая ансамбль *MXW* и определяя по аналогии как в (10–16), получаем

$$p(w/m,x)=p(w/m). \quad (17)$$

$$p(w/m,x)=(w/m)=\begin{cases}1, \text{ если } w=f(M),\\ 0, \text{ если } w\neq f(M).\end{cases} \quad (18)$$

$$I(X;W/M)=0. \quad (19)$$

$$I(M,W;X)=I(M;X)+I(W;X/M)=I(M;X). \quad (20)$$

$$I(M,W;X)=I(W;X)+I(M;X/W). \quad (21)$$

$$I(M;X)=I(W;X)+I(M;X/W). \quad (22)$$

$$I(M;X)\geq I(W;X). \quad (23)$$

Перепишем (9) с учетом (1)

$$I(X;Y)-I(X;Y/M)\geq I(X;V)-I(X;V/W). \quad (24)$$

Используя (16), запишем (24)

$$I(X;Y)-I(X;V)\geq 0\geq I(X;Y/M)-I(X;V/W). \quad (25)$$

Отсюда исключая левую часть, запишем

$$I(X;V/W)-I(X;Y/M)\geq 0. \quad (26)$$

Расписывая взаимную информацию как разность энтропий, перепишем (26) и (23)

$$\left[H(X/W)-H(X/W,V)\right]-\left[H(X/M)-H(X/M,Y)\right]\geq 0. \quad (27)$$

$$H(X)-H(X/M)\geq H(X)-H(X/W). \quad (28)$$

Отсюда

$$H(X/W)-H(X/M)\geq 0. \quad (29)$$

Подставляя (29) в (27), запишем

$$H(X/W)-H(X/M)\geq 0\geq H(X/W,V)-H(X/M,Y). \quad (30)$$

Отсюда, исключая левую часть, запишем

$$H(X/M,Y)\geq H(X/W,V). \quad (31)$$

Из (29) и свойства не превышения условной энтропии над безусловной [4, 6], запишем

$$H(X/W)\geq H(X/M)\geq H(X/M,Y). \quad (32)$$

Тогда (31) можно переписать в виде

$$H(X/W)\geq H(X/W,V). \quad (33)$$

Истинность (33) определяется свойством непревышения условной энтропии над безусловной [4, 6] и доказывает истинность (24) и (9). Равенство в (9) имеет место в том случае, когда $I(Y;X/V)=0$ и $I(M;X/W)=0$ (см. (15) и (22)). Очевидно, что первое равенство выполняется, если для всех *(x, y,v) XYV*

$$p(y/x,v)=p(y/v). \quad (34)$$

Условие (34) означает, что при выбранном $v\in V$ сообщение $y\in Y$ не зависит от $x\in X$. Условие выполняется, если v однозначно определяет y и, если отображение $\psi(\bullet)$ обратимо. Второе равенство выполняется, если для $(x,m,w)\in XMW$

$$p(m/x,w)=p(m/w). \quad (35)$$

Условие (35) означает, что при выбранном $m\in M$ сообщение $w\in W$ не зависит от $x\in X$. Условие выполняется, если сообщения m и w однозначно определяют друг друга и, следовательно, если $f(\bullet)$ обратимо.

Рассмотрим взаимную информацию ансамбля $\{XYMVW, p(x, y, m, v, w)\}$.

$$I(X;(Y,M),(V,W)) = I(X;V,W) + I(X;Y,M/V,W) = \\ = I(X;Y,M) + I(X;V,W/Y,M). \quad (36)$$

Совместное выполнение (10) и (17) определяют равенство нулю $I(X;V,W/Y,M) = 0$. Тогда с использованием (36) можно записать

$$I(X;V,W) \geq I(X;Y,M). \quad (37)$$

Совместное выполнение условий обратимости $\psi(\bullet)$ и $f(\bullet)$ (см. (34) и (35)) определяет $I(X;Y,M/V,W) = 0$. С использованием (37) запишем

$$I(X;V,W) = I(X;Y,M). \quad (38)$$

Согласно (1) можно записать

$$F(X;V;W) = I(X;V) + I(X;W) - I(X;V,W), \quad (39)$$

$$F(X;Y;M) = I(X;Y) + I(X;M) - I(X;Y,M). \quad (40)$$

Выполнение (34–35) определяет равенства в (16), (33), (38). Тогда с использованием (39) и (40) можно записать $F(X;V;W) = F(X;Y;M)$. Теорема доказана.

Заметим, что в теореме доказано нечто большее, чем утверждается. А именно, доказано, что неравенство (24) имеет место не только при детерминированных отображениях $\psi(\bullet)$ и $f(\bullet)$, но и при произвольных случайных отображениях для которых выполнены условия (10) и (17). Никакая обработка наблюдений не может увеличить средней СИ об объекте. Информация сохраняется, если преобразование обратимо. Очевидно, что теорема остается верной в тех случаях, когда преобразование осуществляется или над XY или над XM или только над X (Y или M).

5. Свойства перестановок и непревосходства условной СИ.

Лемма. Для модели ДШВК БП выполняются следующие соотношения:

$$F(X;Y;M) = F(Y;M;X) = F(M;X;Y),$$

$$F(X;Y;M) \geq F(X;Y;M/Z). \quad (41)$$

Доказательство. Докажем истинность первого равенства. Согласно (1) запишем

$$F(Y;M;X) = I(Y;M) - I(Y;M/X) = \\ = I(Y;M) - [H(Y/X) - H(Y/X,M)] = I(Y;M).$$

В (41) учтено, что энтропия $H(Y/X,M) = H(Y/X)$ при фиксированном ансамбле X ансамбли Y и M независимы. Подобно можно показать, что $F(M;X;Y) = I(Y;M)$, тогда учет (4) из утверждения 1 завершает доказательство.

В целях доказательства истинности второго неравенства рассмотрим $F(Y;M;(X,Z))$ с использованием свойства аддитивности СИ (см. (3)), запишем

$$F(Y;M;(X,Z)) = F(Y;M;X) + F(Y;M;Z/X) = \\ = F(Y;M;Z) + F(Y;M;X/Z). \quad (42)$$

Учтем, что $F(Y;M;Z/X) = 0$, т.к. при фиксированном X ансамбли Y и M независимы. Тогда, используя свойство перестановок, перепишем (42) и завершим доказательство $F(X;Y;M) = F(X;Y;M/Z) + F(Y;M;Z)$. Лемма доказана.

Заключение

Основные результаты статьи заключаются доказательном определении свойств СИ: аддитивности, тождества СИ ДШВК БП и взаимной информации сообщений на выходах канала, границы изменения СИ, неувеличения СИ при преобразованиях, свойства перестановок и не превосходства условной СИ. Анализ свойств показывает, что часть их коррелирована с свойствами известной ИМ взаимной информации [4, 6], а другая часть имеет новизну, связанную с особенностями передачи сообщения по ДШВК БП. Совокупность полученных результатов исследования совместной информации позволяют сделать вывод о том, что создаются условия для доказательства прямой и обратной теорем кодирования в ДШВК БП, чтобы получить точные оценки пропускной способности разработанной модели канала.

Литература

1. Синюк, А. Д. Совместная информация трех ансамблей сообщений дискретного широковещательного канала связи без памяти / А.Д. Синюк // Информация и Космос. – 2010. – № 1. – С. 27–31.

2. Остроумов, О. А. Протокол открытого формирования трехстороннего ключа / О.А. Остроумов, А.Д. Синюк // Наукоемкие технологии в космических исследованиях Земли. – 2014. – Т. 6, вып. 2. – С. 48–52.

3. Пат. № 2480923 Российская Федерация, МПК: H 04 L 9/00. Способ формирования ключа шифрования/дешифрования / А. Д. Синюк [и др.]; заявитель и патентообладатель ФГВОУ ВПО «Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного»; № 2180469; заявл. 21.02.2012; опубл. 27.04.2013, Бюл. № 12. – 40 с.

4. Чисар, И. Теория информации: теоремы кодирования для дискретных систем без памяти [: пер. с англ.] / И. Чисар, Я. Кернер.– М.: Мир, 1985. – 400 с.

5. Синюк, А. Д. Формирование трехстороннего шифр-ключа по открытым каналам связи с ошибками: монография / А.Д. Синюк. – СПб.: Военная Академия связи, 2009. – 360 с.

6. Галлагер, Р. Теория информации и надежная связь / Р. Галлагер ; пер. с англ под ред. М. С. Пинскера и Б. С. Цыбакова. – М.: «Советское радио», 1974. – 720 с.

7. Фано, Р. Передача информации. Статистическая теория связи / Р. Фано ; пер. И. Овсеевич, Р. Добрушин. – М.: Мир, 1965 – 440 с.

Эвристическая модель ликвидации нештатных ситуаций в эргатических системах управления

Heuristic model of elimination of emergencies in ergatic management systems

Смагин / Smagin V.
Владимир Александрович
(va_smagin@mail.ru)
доктор технических наук, профессор,
заслуженный деятель науки РФ,
действительный член МАИ.
ФГКВОУ ВО «Военно-космическая академия
имени А. Ф. Можайского» МО РФ,
профессор кафедры метрологического обеспечения.
г. Санкт-Петербург

Ключевые слова: автоматизированная система управления – automated control system; информационная подсистема – information subsystem; сложный организационно-технический объект – complicated organizational and technical object; показатели качества функционирования – functioning figures of merit; информационные услуги – information services; экспертный опрос – expert inquiry; функция полезности – utility function.

Предложена модель для ликвидации нештатной ситуации при работе системы. Модель основана на предварительном обучении и тренировке операторов управления ликвидации нештатной ситуации до начала работы системы.

For support of the required indices of efficiency and continuity of difficult organizational and technical objects control within the automated control system (ACS) they create a developed information subsystem which provides receiving necessary information services to officials of governing bodies and complexes of the ACS automation equipment. In this article, the main attention is paid to issues of a choice and reasons for figures of merit of functioning of information subsystem of ACS by difficult organizational and technical objects.

Введение

Современные сложные системы управляются, организуются, контролируются, обслуживаются и т.д. человеком или группой людей – операторов. Правильно осуществляемое между ТС и ЧС взаимодействие определяет максимально достижимый эффект. Этот эффект может быть экономическим, политическим. Во многих случаях от него может зависеть живучесть систем, жизнь, благосостояние групп или коллективов людей. Как достичь максимального эффекта в условиях решения конкретной задачи, которых может быть довольно большое множество? Это зависит от ряда факторов и целевых установок, которые могут ставиться при решении задач. В целом охватить данную проблематику достаточно затруднительно. Поэтому мы будем ставить и пытаться решить сначала довольно простую, даже элементарную задачу.

Прежде всего, следует отметить некоторые наиболее важные компоненты частей данных систем. В частности, что понимать под состоянием элементов и целых систем, от каких факторов и компонентов они зависят и т.д. Это проще всего рассматривать в пространстве-среде конкретной системы. И заранее следует указать на множество трудностей, которые могут встречаться при построении количественных моделей систем.

Целью данной статьи является предложить простейшую математическую модель для оценивания отрицательного влияния человеческого фактора при управлении технической системой и дать некоторые рекомендации по его уменьшению.

Элементарная модель

Область программного прогноза. Создаётся сложная техническая система для выполнения некоторого предусмотренного задания в течение требуемого времени. Априорно оценивается и обеспечивается величина заданного показателя качества в течение этого времени работы системы. Допускается возможность возникновения наиболее вероятной нештатной ситуации в процессе её работы. Предполагается, что в случае её возникновения управляющий системой человек (звено) в течение некоторого времени сможет устранить неисправность в системе, и она продолжит дальнейшую работу. Для этой цели человек до начала применения системы по назначению должен быть заранее обучен устранению нештатной ситуации. Спрашивается сколько времени надо предусмотреть для устранения возможной нештатной ситуации?

Для решения данной задачи воспользуемся математической моделью J. Musa[1], предложенной им при оценивании надёжности программного обеспечения, которое предварительно до использования по назначению в течение некоторого времени проходило тестирование с целью определения и устранения возникающих в нём ошибок.

При условии, что в работе справедлив экспоненциальный закон безотказности, то есть когда приработка и старение программного обеспечения исключены, имеет место следующее выражение для вероятности безотказной работоспособности программного обеспечения:

$$P(t,\tau) = e^{-\frac{t}{T_0} e^{-\frac{\tau}{E_0 T_0}}}, \qquad (1)$$

где t,τ – времена непрерывной работы по назначению и тестирования программы, T_0 – среднее время безотказной работы при $\tau = 0$, E_0 – начальное число ошибок в программе.

При произвольных распределениях времён можно записать [2]:

$$P(t,\tau) = e^{-\int_0^t \lambda(z)dz\, e^{-\int_0^\tau \nu(\theta)d\theta}}, \qquad (2)$$

где $\lambda(t)$ – интенсивность отказа, а $\nu(\tau)$ – интенсивность тестирования программы. А пользуясь определением ресурса надёжности Н. М. Сидякина [3], (2) представим в виде:

$$P(r(t), b(\tau)) = e^{-r(t)\, e^{-b(\tau)}}. \qquad (3)$$

В дальнейшем условно будем называть $r(t)$ ресурсом расхода надёжности системы, а $b(t)$ – ресурсом восстановления работоспособности системы.

В рамках поставленного вопроса в данном разделе – сколько времени надо предусмотреть для устранения возможной нештатной ситуации – сначала решим вспомогательный пример. Цель примера – показать, как связаны графически оба введённых ресурса.

Пример 1. Пусть вероятность выполнения задания системой задана в виде:

$$P(r,b) = e^{-re^{-b}}, \qquad (4)$$

где r, b – ресурсы расхода и восполнения работоспособности системы, представим их и вероятность в дискретном виде:

$$r_i = 1,2\ldots5;\ b_j = 1,2\ldots5;\ P_{i,j} = e^{-r_i e^{-b_j}}. \qquad (5)$$

На рис. 1 и 2 представлены графическая и матричная зависимости на диагонали от левого верхнего угла к правому нижнему углу, построена кривая вероятностей в зависимости от номеров в порядке их возрастания от 1 до 5. Представим подробнее построение этой кривой на основе алгоритма линейной интерполяции [4]:

$$A(t)=linterp(x,y,t). \qquad (6)$$

Для условий нашего примера запишем транспонированные координаты переменных по осям *r, P*:

$$r(1,2,3,4,5)^T;\ P(0.692, 0.763, 0.861, 0.929, 0.967)^T. \qquad (7)$$

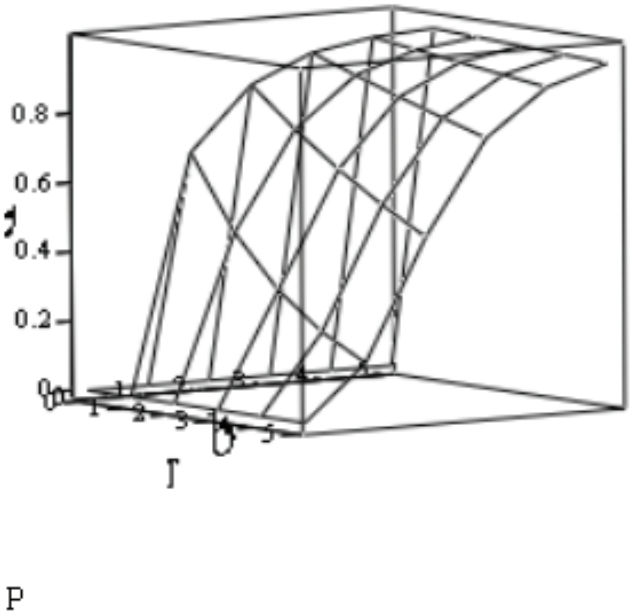

Рис. 1..

$$P := \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.692 & 0.873 & 0.951 & 0.982 & 0.993 \\ 0 & 0.479 & 0.763 & 0.905 & 0.964 & 0.987 \\ 0 & 0.332 & 0.666 & 0.861 & 0.947 & 0.98 \\ 0 & 0.23 & 0.582 & 0.819 & 0.929 & 0.973 \\ 0 & 0.159 & 0.508 & 0.78 & 0.912 & 0.967 \end{pmatrix}$$

Рис. 2.

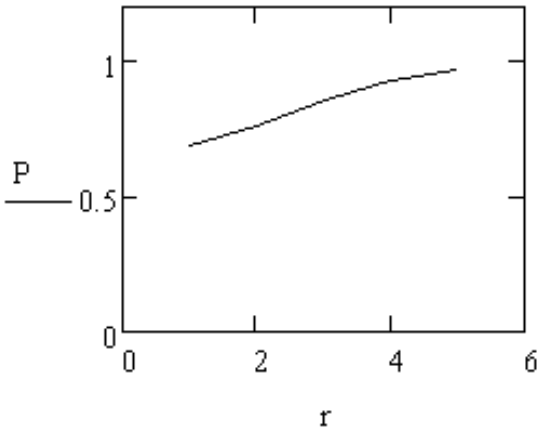

Рис. 3.

Зависимость (7) представлена на рисунке (3).

Из рис. 3 следует, что независимо от того, что величина ресурса r надёжности увеличивается (смещение вниз таблицы) значения вероятностей P на указанной диагонали возрастают. Это возрастание обуславливается тем, что с увеличением величины ресурса восстановления b значение экспоненты в показателе вероятности уменьшается, а сама вероятность P возрастает и при $b \to \infty$ будет стремиться к единице. Но следует иметь в виду то, что восстановление должно производиться перед началом применения системы по назначению.

Теперь предположим, что система начинает подвергаться испытаниям до начала использования. Проводится ряд испытаний с целью выявления и устранения возникающих неисправностей, которые в будущем могут нарушать процесс штатной её эксплуатации. При этом предварительные испытания должны проводиться до тех пор, пока не будет возможным построить с достаточной точностью закон распределения восстановления возникающих неисправностей. Благодаря этому человек по управлению приобретёт достаточно прочные навыки по оперативному устранению нештатных ситуаций в процессе эксплуатации системы.

Поясним ещё раз, но более детально смысл формулы J. Musa, представленной в виде формулы (4). Обратим внимание на то, что оба ресурса в этой формуле вводятся одинаково и ступенчато. Цифры вероятностей первой

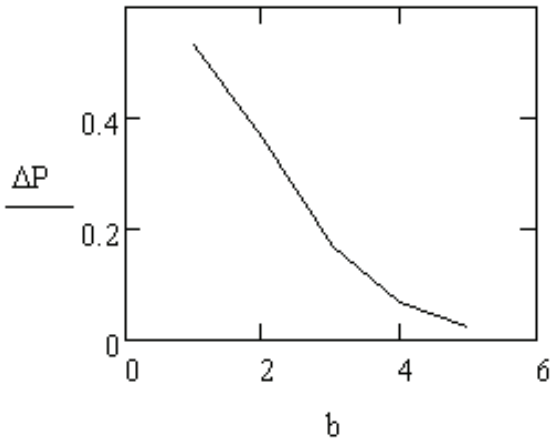

Рис. 4.

колонки матрицы на рис. 2 по мере увеличения ресурса r (расхода надёжности) при единичном значении ресурса $b = 1$ (ресурса восстановления) монотонно уменьшаются от 0.692 до 0.159. Если $b = 2$ для второй колонки матрицы, то падение вероятностей будет менее значительным, а именно от 0.873 до 0.508. Если ввести ещё одну единицу ресурса, то есть $b = 3$, то уменьшение вероятности станет ещё менее значительным, а именно от 0.951 до 0.780. И наконец, для граничного значения столбца 5, когда $b = 5$, уменьшение вероятности становится самым низким, а именно от 0.993 до 0.967. Это показывает насколько велико значение раннего, проводимого до начала эксплуатации, эффекта предварительного восстановления системы. На этом заканчивается изложение примера.

На рис. 4 дополнительно показано абсолютное постолбцовое уменьшение вероятности действия системы при заданных значениях $r, b = 5$:

$$b = (1,2,3,4,5)^T,\ \Delta P = (0.533, 0.365, 0.171, 0.070, 0.026)^T.$$

Итак, на абстрактном конкретном числовом примере мы детально рассмотрели поведение вероятности функционирования системы, описываемой математической моделью J. Musa. Однако мы сознательно изменили предложенную им область приложения к оцениванию надёжности программного обеспечения с учётом его предварительного тестирования и исправления обнаруженных в нём ошибок. Мы гипотетически заменили область приложения другой областью. Предполагая до начала работы системы в будущем, что в ней возникнет нештатная ситуация, могущая изменить траекторию движения, но эта ситуация звеном управления будет исправлена, а система войдёт снова в нормальный режим.

Функционирование системы с одной нештатной ситуацией. До начала применения системы предполагается выполненным безошибочное априорное оценивание её работы в течение времени t:

$$P(t) = e^{-\int_0^t \lambda(z)dz}, \qquad (8)$$

то есть величина ресурса $r(t)=\int_0^t \lambda(z)dz$ известна, но на интервале $[0,t]$ может случайно возникнуть нештатная ситуация, которая может в дальнейшем нарушить нормальное поведение системы. Предположим, что закон распределения времени возникновения этой ситуации известен. Зададим его:

$$H(y)=1-e^{-\int_0^y \nu(z)dz}, \quad 0\le y\le t. \tag{9}$$

Допустимое время выхода из нештатной ситуации определяется законом:

$$B(\theta)=1-e^{-\int_0^\theta \mu(z)dz}, 0\le\theta\le d. \tag{10}$$

Этот закон распределения должен быть установлен в результате предварительного обучения устранению нештатной ситуации управляющим звеном до применения системы.

В простейшем случае предположим, что закон (10) не зависит от времени возникновения ситуации в работе системы при эксплуатации. Тогда ресурс устранения ситуации будет равен:

$$b(\theta)=\int_0^\theta \mu(z)dz, \tag{11}$$

а вероятность выполнения задания системой

$$P(r(t,b(d))\approx e^{-r(t+d)}e^{-b(d)}. \tag{12}$$

В общем случае, когда нештатная ситуация происходит в момент времени y и продолжительность её устранения связана с этим моментом, тогда

$$b(\theta,y)\approx\int_0^{\theta(y)}\mu(y)dy, 0\le\theta(y)\le d(y), \tag{13}$$

и, соответственно, вероятность выполнения задания системой станет более сложной:

$$P(r(t,b(d(y)))\approx e^{-r(t+d(y))}e^{-b(d(y))}. \tag{14}$$

Знак $\approx$ применён для того, чтобы при записи избежать использования операции интегрирования.

Если в процессе функционирования системы предусматривается более одной нештатной ситуации, тогда алгоритм вычисления вероятности значительно усложнится. В отдельных случаях, на наш взгляд, может применяться имитационное моделирование для решения задачи.

Пример 2. Безотказность управляемой технической системы характеризуется следующими значениями численных параметров: время непрерывной работы составляет $10h.$, априорно определённое распределение времени до отказа задано нормальной плотностью вероятности $f(t)=dnorm(m,\sigma,t), m=100h., \sigma=12\text{h}.$, поэтому вероятность её безотказной работы составляет $P(10)=0,993$. На ней может возникнуть одна нештатная программная ситуация, приводящая к нарушению работоспособности системы. Распределение нарушения происходит по экспоненциальному закону с интенсивностью $\lambda=0.2h^{-1}$, средняя величина ресурса надёжности составит $r=2h.$,а значение первой экспоненты в формуле J.Musa будет равно $e^{-2}=0.135$. Для того, чтобы сохранить работоспособность технической системы на уровне $P(10)=0,993$ после устранения нештатной ситуации потребуется следующее значение ресурса восстановления $b=9.903$с вероятностью $0,9999$, которая подбирается опытно для постановки и получения в результате решения уравнения $e^{-2e^{-b}}-0,9999=0$.

Численная реализация этого алгоритма, даже сравнительно несложного в своей структуре, потребует приложения достаточно значительных усилий. Поэтому для иллюстрации вероятностных расчётов рассмотрим прикладной пример с применением другого алгоритма.

Спрашивается, сколько испытаний предварительно надо произвести для подтверждения этой вероятности и какое время затратить, если на один прогон программы требуется $\tau=0.005h$. Итак, вероятность отсутствия ошибки $p=0,9999$, а вероятность ошибки $q=0,0001$. Среднее число ошибок в n испытаниях равно np, а среднеквадратическое отклонение – $\sqrt{npq}$, поэтому плотность вероятности числа испытаний представим $g(x)=\frac{C}{\sqrt{2\pi npq}}e^{-\frac{(x-np)^2}{2npq}}, C=1,852$. Данная плотность превращается в дельта-функцию при $n=100$. Поэтому время испытаний становится равным $n\tau$. Если за время функционирования системы $10h.$ произойдёт одна нештатная ситуация, то время испытаний составит $0,5h.$Вероятность выполнения задания системой сохранится прежней, то есть равной $P=P(10)\mathrm{e}^{-2e^{-b}}=0,993$.

Если же в системе ожидается 10 нештатных ситуаций, тогда вероятность выполнения задания системой становится равной $P=P(10)e^{-2e^{-0.99}}=0.472$. Это означает, что предварительных испытаний программного обеспечения по устранению нештатных испытаний было выполнено недостаточно, так как вероятность исправной работы системы меньше расчётной $P<0.993$.

Дискретное представление ресурса. В теории надёжности рассматривается непрерывное представление ресурса $r(t)=\int_0^t\lambda(z)dz=-\ln P(t)$. Ресурс понимается в смысле профессора Н. М. Седякина. При испытаниях программного обеспечения приходится использовать не непрерывное время, а время, представляемое в дискретном виде, а именно в количестве прогонов программы. Поэтому имеет смысл выражать ресурс

в зависимости от числа прогонов программы. Предложим модель ресурса, зависящего от числа прогонов. Сначала запишем выражение для вероятности безотказной работы для непрерывного времени испытаний:

$$P(t) = \frac{N_0 - n(t)}{N_0}, \qquad (15)$$

где N_0 – количество объектов, первоначально поставленных на испытание, $n(t)$ – количество объектов, отказавших за время испытаний t.

Представим, что время t представлено дискретно $t = m\tau$, где τ – время одного кванта (дискрета), а m – полное число квантов за время до отказа. Первоначальное число объектов представим в виде n_0. Тогда

$$P(n_0\tau) = \frac{n_0\tau - m\tau}{n_0\tau} = 1 - \frac{m}{n_0}. \qquad (16)$$

Далее предположим, что формула (16) верна лишь для некоторого времени t_i, $i = 1,2,\ldots, t_{i+1} > t_i$, для всех i. Поэтому (16) можно представить в виде

$$P(t_i) = 1 - \frac{m_i}{n_i}(t_i),$$

а величину дискретного ресурса –

$$r_i(t_i) = -\ln[1 - \frac{m_i}{n_i}(t_i)]. \qquad (17)$$

Это касается только ресурсов для формулы J. Musa (($r_i(t_i), b_i(t_i)$ программного обеспечения), но не относится к ресурсу аппаратуры с непрерывным временем её функционирования. Расчёт безошибочности работы системы выполняется так же, как было выше указано.

Замечание о распределении требований, предъявляемых к технической системе и человеческому звену управления. В том случае, если к системе предъявляются особые требования, а не только просто вероятность выполнения ею задания, (например, безопасность экипажа, величина ущерба и риска и другие), то необходимо учитывать ряд дополнительных системных параметров. С учётом значений этих параметров необходимо скорректировать предлагаемую модель с целью выполнения экстремальных решений известными методами для получения желаемого результата.

Заключение

В статье предложена модель для снижения влияния нештатных ситуаций при функционировании сложной системы. Ликвидация этих нештатных ситуаций осуществляется силами человеческого управляющего звена. Для увеличения эффекта ликвидации звено управления должно предварительно до применения системы по назначению обучаться в лабораторных условиях. При этом выполняется имитация и необходимый мониторинг исходных данных для ликвидации ситуации в работе системы.

В качестве математической модели предложено использовать модель J. Musa, применяемой при тестировании программного обеспечения. Предлагается алгоритм для определения необходимого ресурса восстановления нештатной ситуации. Характеристики алгоритма служат руководством при ликвидации нештатной ситуации. Приводятся элементарные примеры численных расчётов для данной эвристической модели. Формулируются некоторые рекомендации по практической реализации предлагаемой модели.

Ограничительным моментом модели является то, что её нецелесообразно применять к комплексу «техника и программное обеспечение». Это объясняется тем, что математическая модель J. Musa не разработана применительно к проведению доработок по устранению отказов и неисправностей в частности, а тем более в совокупности с ошибками программного обеспечения.

Литература

1. Musa, J. A theory of software reliability and its application / J. Musa // IEEE Trans. on software Eng. – Sept. 1975. – Vol. SE-1 – P. 312–327.

2. Смагин, В. А. Дискретный аналог математической модели J. Musa и рекомендации по его применению в исследовании безошибочной работы коллективов и надёжности программного обеспечения / В.А. Смагин // Труды ВКА имени А. Ф. Можайского. – 2007. – Вып. 621. – 163 с.

3. Седякин, Н. М. Об одном физическом принципе теории надёжности / Н.М. Седякин // Изв. АН СССР. Техническая кибернетика. – 1966. – № 3. – С. 80–87.

4. Кирьянов, Д. В. Mathcad 12 / Д.В. Кирьянов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005 – 576 с.

Обеспечение эффективного функционирования информационных подсистем автоматизированных систем управления сложными организационно-техническими объектами на основе процедур оперативного управления ресурсами информационных служб

Ensuring effective functioning of information subsystems of automated control systems for difficult organizational and technical objects on the basis of procedures of operational management of resources of information services

Буренин / Burenin A.
Андрей Николаевич
(constl@mail.ru)
доктор технических наук, доцент.
АО «Научно-исследовательский институт "Рубин"»,
главный специалист.
г. Санкт-Петербург

Легков / Legkov K.
Константин Евгеньевич
(constl@mail.ru)
кандидат технических наук.
ФГБВОУ ВО «Военно-космическая академия
имени А. Ф. Можайского» МО РФ,
начальник кафедры.
г. Санкт-Петербург

Ключевые слова: информационная подсистема – information subsystem; автоматизированная система управления – automated control system; модель управления – model of management; эффективность функционирования – efficiency of functioning; управление ресурсами информационных служб – resource management of information services.

В статье рассматриваются вопросы обеспечения эффективного функционирования информационных подсистем в составе автоматизированных систем управления сложными организационно-техническими объектами на основе организации оперативного управления ресурсами их информационных служб. Предложены подходы и изложены методы управления ресурсами информационных служб, позволяющие повысить эффективность их функционирования. Задача управления ресурсами служб информационных систем сейчас наиболее актуальна, что доказывает проект SOMN, привлекший этим летом инвестиций на 42 млн долларов.

Problems of ensuring effective functioning of information subsystems as a part of automated control systems for difficult organizational and technical objects based on the organization of operational management of resources of their information services are considered in article. Approaches are offered and the methods of management of resources of information services allowing increasing efficiency of their functioning are stated. The problem of resource management of services of information systems is most relevant now that is proved by the SOMN project, which attracted investments for 42 million dollars this summer.

Введение

Во многих странах мира, для решения вопросов обороноспособности, безопасности и обеспечения правопорядка, создаются разнообразные сложные организационно-технические системы (СОТС), характеризующиеся эффективным функционированием в чрезвычайных условиях эксплуатации, когда возможны массированные информационные, помеховые и разрушающие воздействия на них.

В целях гарантированного обеспечения эффективного функционирования СОТС в различных условиях эксплуатации (особенно в чрезвычайных), создаются системы управления ими, которые, как правило, являются автоматизированными (АСУ СОТС) с широким привлечением должностных лиц органов управления (ДЛ ОУ) СОТС к процессу выработки управляющих решений [1]. Для устойчивого функционирования самих АСУ СОТС в их составе создаются информационные подсистемы (ИПС), которые обеспечивают предоставление ДЛ ОУ СОТС и прикладным процессам в основе специального программного обеспечения комплексов средств автоматизации (СПО КСА) АСУ СОТС необходимых информационных услуг (ИУ), позволяющих оперативно и обосновано принимать правильные решения.

ИПС АСУ СОТС, как любая многофункциональная сложная система, также должна функционировать с заданными показателями эффективности и при этом быть устойчивой, т.е. обеспечивать заданную эффективность функционирования в условиях, когда как

сама СОТС, так и АСУ СОТС подвергается различным деструктивным воздействиям. Этого можно достичь только при организации эффективного управления уже самой информационной подсистемой АСУ СОТС. Поэтому для управления ИПС АСУ СОТС специально создаются комплексы средств автоматизации, объединенные в систему управления (СУ) ИПС. При этом на СУ ИПС возлагается решение целого ряда задач управления, который в соответствии с используемой для достаточно широкого круга сложных организационно-технических объектов моделью управления NMS [1, 2], включает пять основных задач управления: управление функционированием [1, 2], управления структурой, управление устранением неисправностей и ошибок, управление ресурсами, управление безопасностью (рис. 1).

Особое место в комплексе задач управления ИПС АСУ СОТС (рис. 1) занимает задача управления ресурсами ИПС, которая фактически вырождается в задачу управления ресурсами информационных служб и позволяет получить максимально возможные (или требуемые) показатели эффективности функционирования ИПС

Рис. 1. Решение проблемы обеспечения эффективного функционирования ИПС АСУ СОТС на основе совершенствования процедур управления

и уровни предоставляемых информационных услуг (ИУ) при снижении (недопущении роста) общего потребляемого ресурса как при нормальной, так и в чрезвычайных условиях эксплуатации.

Актуальность задачи управления ресурсами информационных систем в настоящее время не вызывает сомнения, а подтверждением этого является новый проект SONM (Supercomputer Organized by Network Mining), который в июле 2017 года привлек инвестиций на 42 млн долларов.

SONM – это глобальная операционная система, которая представляет собой децентрализованный глобальный супер-компьютер для туманных вычислений, который имеет потенциал для включения любой вычислительной мощности, где бы она ни находилась (IoE, IoT). Глобальные Мировые вычисления, организованные с использованием этой системы, смогут выполнять абсолютно любое количество задач для научных вычислений с применением CGI-рендеринга. Определяющей особенностью SONM является децентрализованная открытая структура. SONM будет реализован с использованием SOSNA – Суперглобальной операционной системы с Net-Work Архитектурой для туманных вычислений (туманные вычисления – это модель, в которой для обработки, хранения и анализа данных используются ресурсы различных устройств в сети интернет (персональных компьютеров, смартфонов, планшетов, бытовых приборов и так далее), а не центральных узлов сети).

Поскольку SONM полностью децентрализованная платформа, то у нее нет единого органа, который бы регулировал или осуществлял распределение вычислительных ресурсов по критерию максимального качества предоставляемых информационных услуг, что в целом понижает эффективность функционирования всей информационной сети.

Формулировка задачи управления ресурсами ИПС АСУ СОТС

Как и многие другие задачи управления, задача управления ресурсами ИПС АСУ СОТС является достаточно сложной (в силу сложности самой информационной подсистемы АСУ СОТС) и предполагает разработку совокупности подходов и способов, применяемых последовательно или совместно (рис.2).

Как и при решении других задач управления ИПС АСУ СОТС, при управлении ее ресурсами необходимо, чтобы были достигнуты определенные цели:

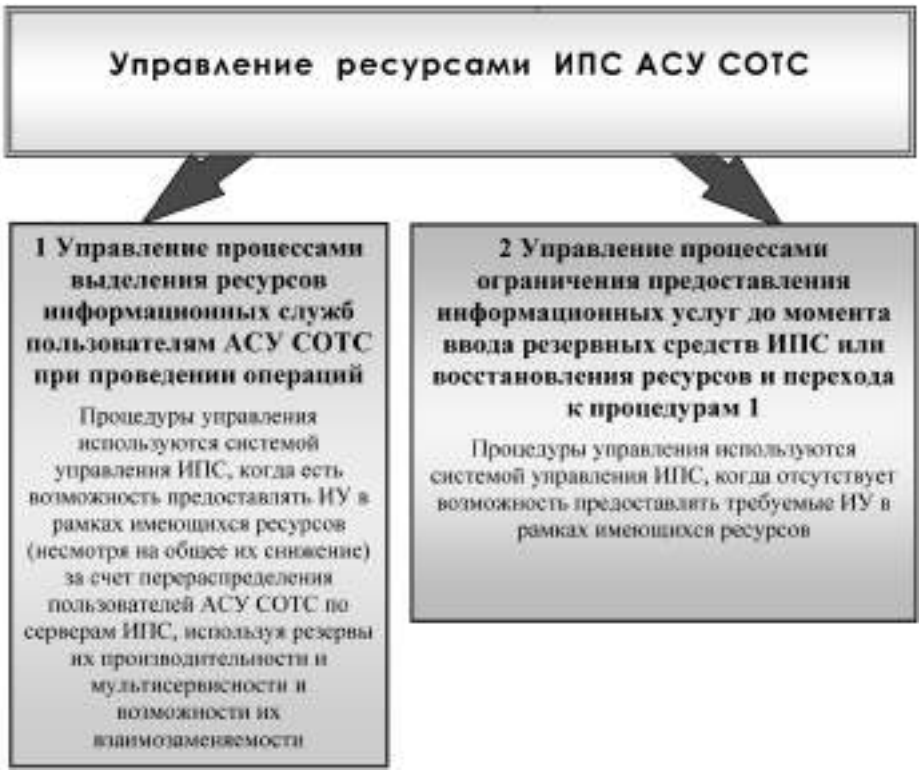

Рис. 2. Комплекс задач управления ресурсами ИПС АСУ СОТС

$$C_{IP} = \begin{cases} \rho_1 = b_1, ..., \rho_p = b_p \\ f(\rho_1) = \varsigma_1, ..., f(\rho_p) = \varsigma_p \\ F_{IP}(\rho_1, ..., \rho_p) \le (\ge) Q_{IP} \end{cases}, \quad (1)$$

где $\rho = \{\rho_1, ..., \rho_p\}$ – множество параметров ИПС АСУ СОТС, характеризующих ее ресурсы;

$f(\rho) = \{f(\rho_1), ..., f(\rho_p)\}$– множество функционально зависимых от параметров характеристик ИПС АСУ СОТС, определяющих ее функционирование;

$F_{IP}(\rho_1, ..., \rho_p)$ – показатель эффективности ИПС АСУ СОТС.

Выполнение всех целей C_{IP} обеспечит условия для эффективного и устойчивого функционирования ИПС в целом и отдельных ее компонентов в различных условиях эксплуатации, в т.ч. в условиях воздействия на нее и систему управления ИПС комплекса естественных и преднамеренных воздействий (деструктивных воздействий, компьютерных атак, помех и т.д.) [4].

В плоскости управления ресурсами эффективность функционирования ИПС АСУ СОТС целесообразно задать некоторым функционалом

$$F(t, \mathbf{L}_{IP}, \mathbf{K}_{IPSr}, \mathrm{Re}_{IP}, \mathbf{U}_{funcIP}, \mathbf{U}_{\mathrm{Re}IP}),$$

который зависит от фиксированных (невозмущенных) параметров и характеристик ИПС АСУ СОТС $\mathbf{L}_{IP}$ (размеры и связность структуры ИПС, производительность серверов ИПС, пропускная способность виртуальных каналов, алгоритмы функционирования ИПС и обслуживания требований, надежность компонентов ИПС), от параметров внешних воздействий $\mathbf{K}_{IPSr}$ (воздействия естественных помех, отказы технических средств ИПС, осуществляемые кибератаки на программно-аппаратные средства ИПС, деструктивные воздействия), от имеющихся ресурсов служб Re_{IP}, от управления функционированием подсистемы $\mathbf{U}_{funcIP}$, а также от управления ресурсами $\mathbf{U}_{\mathrm{Re}IP}$.

Рассматривая $F(t, \mathbf{L}_{IP}, \mathbf{K}_{IPSr}, \mathrm{Re}_{IP}, \mathbf{U}_{funcIP}, \mathbf{U}_{\mathrm{Re}IP})$ как функцию от управления ресурсами, можно утверждать, что выбор конкретного вектора $\mathbf{U}_{\mathrm{Re}IP}(t) = \mathbf{U}^{fics}_{\mathrm{Re}IP}(t)$ обеспечит, при прочих равных условиях, вполне конкретное значение показателя эффективности ИПС АСУ СОТС, т.е.

$$F[t, \mathbf{L}_{IP}, \mathbf{K}_{IPSr}, \mathrm{Re}_{IP}, \mathbf{U}_{funcIP}, \mathbf{U}^{fics}_{\mathrm{Re}IP}(t)] = F^{fics}_{IP}[\mathbf{U}^{fics}_{\mathrm{Re}IP}(t)].$$

Поэтому решение задачи управления ресурсами ИПС АСУ СОТС сводится к поиску такого $\mathbf{U}_{\mathrm{Re}IP}(t) = \mathbf{U}^{fics}_{\mathrm{Re}IP}(t)$, для которого обеспечивается либо экстремальное значение $F(t, \mathbf{L}_{IP}, \mathbf{K}_{IPSr}, \mathrm{Re}_{IP}, \mathbf{U}_{funcIP}, \mathbf{U}^{opt}_{\mathrm{Re}IP})$, либо значение показателя эффективности $F(t, \mathbf{L}_{IP}, \mathbf{K}_{IPSr}, \mathrm{Re}_{IP}, \mathbf{U}_{funcIP}, \mathbf{U}^{opt}_{\mathrm{Re}IP})$ не более (или менее) допустимого значения F_D.

Решение экстремальной задачи управления ресурсами – наилучшее управление $\mathbf{U}^{opt}_{\mathrm{Re}IP}$, являющееся оптимальным управлением ресурсами ИПС АСУ СОТС, результатом которого является получение оптимального плана распределения ресурсов $Pl^{Opt}_{IP}(t)$, наилучшего для сложившейся ситуации, при котором, при прочих равных условиях, обеспечивается экстремальное значение показателя эффективности.

Решение задачи, заданной в виде определенной квантили, – некоторое эффективное управление, результатом которого является получение целесообразного плана распределения ресурсов $Pl^{C}_{IP}(t)$, приемлемого для сложившейся ситуации, при котором, при прочих равных условиях, обеспечивается значение показателя эффективности ИПС не хуже требуемого уровня с заданной вероятностью.

И в том и другом решении задачи используется модель объекта управления (ИПС АСУ СОТС), представленная $\langle \mathbf{L}_{IP}, \mathbf{K}_{IPSr}, \mathrm{Re}_{IP} \rangle$ и учитывается управляющий ресурс, выделяемый на управление ресурсами ИПС $R_{\mathbf{U}_{\mathrm{Re}IP}}$.

Если СОТС функционирует в условиях незначительных внешних воздействий, когда изменения в общем ресурсе информационных служб ИПС несущественны и есть возможность маневрировать существующими ресурсами (перераспределением ресурсов) ИПС, то задача управления ресурсами сводится к задаче 1 (рис. 2) – управление процессами выделения ресурсов информационных служб для проведения той или иной операции управления СОТС

Если СОТС функционирует в чрезвычайных условиях (существенные изменения в структуре и снижение ресурсов служб ИПС АСУ СОТС), то необходимо применять другие процедуры, направленные на управление процессами ограничения предоставления информационных услуг до момента ввода резервных средств ИПС или восстановления ресурсов и перехода к процедурам 1, т.е. управление сводится к задаче 2 (рис. 2).

И для первого и для второго случая, ресурсы всех информационных служб ИПС АСУ СОТС целесообразно задать множеством разнородных параметров $\mathrm{Re}_{IP}(t - \Delta t_{USr}) = \{\mathrm{re}_i(t - \Delta t_{USr})\} \quad \forall\, i = 1, ..., l$. Тогда показатель эффективности ИПС представляется следующим образом:

$$F\left(t, \mathbf{L}_{IP}, \mathbf{K}_{IPSr}, \mathrm{re}_1(t - \Delta t_{USr}), ..., \mathrm{re}_l(t - \Delta t_{USr}), \mathbf{U}_{funcIP}, \mathbf{U}_{\mathrm{Re}IP}\right) = \\ = f_{Str}[F_1\left(\mathrm{re}_1(t - \Delta t_{USr})\right), ..., F_l\left(\mathrm{re}_l(t - \Delta t_{USr})\right)]. \quad (2)$$

С учетом (2) формулировка общей задачи организации управления множеством параметров, характеризующих ресурсы служб ИПС АСУ СОТС, хотя и существенно конкретизируется, но получить ее решение, в силу чрезвычайной большой ее размерности (множество параметров задающих ресурсы ИПС) и существующей неопределенности (степень влияния вектора $\mathbf{K}_{IPSr}$ на множество параметров $\mathrm{Re}_{IP}(t) = \{\mathrm{re}_i(t)\}$ непонятна), методами многокритериальной оптимизации (по Парето или по интегральному критерию [5, 6, 7]) невозможно. По тем же причинам, задача, связанная с выбором управления, обеспечивающего квантиль значения показа-

теля эффективности, которую формулируют тогда, когда оптимизационная постановка неразрешима, и предполагающая непосредственный синтез управления ресурсами ИПС АСУ СОТС, гарантирующего значение показателя ее эффективности не хуже заданного с вероятностью не ниже допустимого значения, также практически неразрешима.

Поэтому решение общей задачи целесообразно осуществлять отдельно для выбора процедур управления процессами выделения ресурсов информационных служб пользователям АСУ для проведения управляющей операции над объектом СОТС (процедура 1 рис.2) и для выбора процедур управления процессами ограничения предоставления информационных услуг до момента ввода резервных средств ИПС или восстановления ресурсов и перехода к процедурам 1, т.е. отдельно решать задачу 2 (рис. 2).

Формализация процессов управления ресурсами информационных служб ИПС АСУ СОТС

В обобщенном виде управление параметрами информационной подсистемы для процессов выделения ресурсов информационных служб пользователям АСУ СОТС основано на определении наилучших вариантов получения требуемых ИУ множеством потребителей услуг, обеспечивающих с одной стороны требуемую эффективность функционирования подсистемы, а с другой – эффективность проведения той или иной специальной операции СОТС, с учетом функциональной принадлежности информационных услуг, обеспечивающих конкретную операцию.

Решение поставленной задачи в общем виде довольно громоздко, поэтому рассмотрим ее решение при условии наличия двух ИУ, предоставляемых соответствующими службами ИПС АСУ СОТС.

Пусть в ИПС АСУ СОТС развернуты информационная служба №1, располагающая N_1 серверами, и служба №2, располагающая N_2 серверами. Службы поддерживают работу АСУ по управлению СОТС при проведении определенной специальной операции, состоящей, например, из четырех этапов (подопераций) O_1, O_2, O_3, O_4, причем каждый из серверов может обеспечивать любой из приведенных четырех этапов операции, но, в зависимости от его параметров и расположения его на определенных узлах ИПС АСУ СОТС, в разной мере.

Рассматривается управление ресурсами для конкретного ϑ-го цикла управления СОТС. Один сервер первого типа может обеспечить определенную долю поддержки каждого этапа операции, выраженную в единичных подоперациях: для первого этапа операции O_1 – $Serv_1(\vartheta, O_1)$, для второго этапа операции O_2 – $Serv_1(\vartheta, O_2)$, для третьего этапа операции O_3 – $Serv_1(\vartheta, O_3)$ и для четвертого этапа операции O_4 – $Serv_1(\vartheta, O_4)$.

Аналогично, один сервер второго типа может обеспечить определенную долю поддержки каждого этапа специальной операции: для этапа O_1 – $Serv_2(\vartheta, O_1)$, для этапа O_2 – $Serv_2(\vartheta, O_2)$, для этапа O_3 – $Serv_2(\vartheta, O_3)$ и для этапа O_4 – $Serv_2(\vartheta, O_4)$.

Каждая единичная подоперация каждого этапа обеспечивает определенный вклад в некоторый показатель качества проведенной специальной управляющей операции, причем единичные подоперации первого этапа операции обеспечивает единичное значение показателя качества c_1, единичные подоперации второго этапа операции обеспечивает единичное значение показателя качества c_2, единичные подоперации третьего этапа операции обеспечивает единичное значение показателя качества c_3 и единичные подоперации четвертого этапа специальной операции обеспечивает единичное значение показателя качества c_4.

Для успешного выполнения специальной операции необходимо, чтобы были проведены: на первом этапе – не менее n_1 единичных подопераций первого этапа, на втором этапе – не менее n_2 единичных подопераций второго этапа, на третьем этапе – не менее n_3 единичных подопераций третьего этапа и на четвертом этапе – не менее n_4 единичных подопераций четвертого этапа.

При управлении ресурсами требуется так распределить загрузку серверов служб ИПС АСУ СОТС подоперациями разных этапов специальной управляющей операции, чтобы качество ее выполнения было максимально.

Для решения задачи управления ресурсами служб ИПС АСУ СОТС формализуем эту задачу. Для этого введем обозначения: $x_i^j(\vartheta)$ – число серверов i-го типа, занятых осуществлением поддержки выполнения единичных подопераций j-го этапа специальной операции в ϑ-м цикле управления.

Таким образом, в задаче управления фигурируют восемь переменных (элементов решения): $x_1^1(\vartheta), x_1^2(\vartheta), x_1^3(\vartheta), x_1^4(\vartheta), x_2^1(\vartheta), x_2^2(\vartheta), x_2^3(\vartheta), x_2^4(\vartheta)$, которые необходимо задать так, чтобы значение показателя качества выполнения специальной операции было максимальным.

Так как каждая единичная подоперация этапа обеспечивает вклад в значение показателя качества проведенной специальной операции, то можно записать, что проведенные на первом этапе подоперации с поддержкой серверов 1-го и 2-го типов принесут «в копилку» показателя качества $c_1[x_1^1(\vartheta)+x_2^1(\vartheta)]$, проведенные на втором этапе – $c_2[x_1^2(\vartheta)+x_2^2(\vartheta)]$, проведенные на третьем этапе – $c_3[x_1^3(\vartheta)+x_2^3(\vartheta)]$, проведенные на четвертом этапе – $c_4[x_1^4(\vartheta)+x_2^4(\vartheta)]$.

Таким образом, при выполнении всего комплекса единичных подопераций на всех этапах специальной операции показатель качества примет вид:

$$Q_{so}(\vartheta) = c_1[x_1^1(\vartheta)+x_2^1(\vartheta)] + c_2[x_1^2(\vartheta)+x_2^2(\vartheta)] + \\ + c_3[x_1^3(\vartheta)+x_2^3(\vartheta)] + c_4[x_1^4(\vartheta)+x_2^4(\vartheta)]. \quad (3)$$

При организации управления ресурсами служб ИПС АСУ СОТС необходимо выбрать такие неотрицательные значения каждой из переменных $x_1^1(\vartheta), x_1^2(\vartheta), x_1^3(\vartheta), x_1^4(\vartheta), x_2^1(\vartheta), x_2^2(\vartheta), x_2^3(\vartheta), x_2^4(\vartheta)$, чтобы функция (3) от них обращалась в максимум. При этом должны выполняться следующие ограничительные условия, связанные с конечным числом серверов и необходимым количеством проводимых единичных подопераций, т.е.:

$$\begin{aligned} x_1^1(\vartheta)+x_1^2(\vartheta)+x_1^3(\vartheta)+x_1^4(\vartheta)\le N_1,\\ x_2^1(\vartheta)+x_2^2(\vartheta)+x_2^3(\vartheta)+x_2^4(\vartheta)\le N_2 \end{aligned}. \quad (4)$$

$$\begin{aligned} x_1^1(\vartheta)\,Serv_1(\vartheta,O_1)+x_2^1(\vartheta)\,Serv_2(\vartheta,O_1)\ge n_1\\ x_1^2(\vartheta)\,Serv_1(\vartheta,O_2)+x_2^2(\vartheta)\,Serv_2(\vartheta,O_2)\ge n_2\\ x_1^3(\vartheta)\,Serv_1(\vartheta,O_3)+x_2^3(\vartheta)\,Serv_2(\vartheta,O_3)\ge n_3\\ x_1^4(\vartheta)\,Serv_1(\vartheta,O_4)+x_2^4(\vartheta)\,Serv_2(\vartheta,O_4)\ge n_4 \end{aligned}. \quad (5)$$

Таким образом, окончательно задачу управления ресурсами служб ИПС АСУ СОТС для ϑ-го цикла управления можно сформулировать так: в процессе функционирования ИПС, при выполнении СОТС определенной специальной операции, необходимо так распределить ресурсы служб, выделив соответствующие сервера служб для выполнения единичных подопераций, т.е. задать значения переменных $x_1^1(\vartheta), x_1^2(\vartheta), x_1^3(\vartheta), x_1^4(\vartheta), x_2^1(\vartheta), x_2^2(\vartheta), x_2^3(\vartheta), x_2^4(\vartheta)$, удовлетворяющие линейным неравенствам (4) и (5), при которых функция качества – линейная функция этих переменных (3) обращалась бы в максимум.

Данная задача является типовой задачей линейного программирования и может быть достаточно легко решена стандартными способами. При этом считается, что варианты подключения пользователей АСУ СОТС к соответствующим серверам служб определяются процедурами управления структурой ИПС и при этом обеспечивается экстремальное (или не ниже требуемого) значение показателя эффективности функционирование ИПС АСУ СОТС.

Если в процессе эксплуатации СОТС возникают чрезвычайные ситуации, что приводит к той или иной потере информационных ресурсов служб ИПС АСУ СОТС, то необходимо организовать процессы управления ограничением предоставляемых ИУ определенным категориям пользователей АСУ и СУ СОТС. Задача является достаточно сложной и трудно формализуемой, т.к. ее решение зависит от типа и характера проводимой СОТС в данной момент специальной операции. Именно характер и тип проводимой специальной операции определяет то подмножество пользователей АСУ, которое может быть отключено от серверов ИПС, и при этом будет обеспечиваться допустимый для данных условий уровень значений показателя эффективности функционирования ИПС АСУ СОТС. В виду трудностей формализации данных процедур, они, как правило, осуществляются с широким использованием моделей и методов экспертного оценивания и разработкой готовых схем ограничения для возможных вариантов деструктивных изменений в ИПС АСУ СОТС.

Если в процессе функционирования АСУ СОТС реально складываются условия, при которых заранее подготовленные схемы ограничения не работают, то может быть предложен следующий подход. Пусть все пользователи АСУ СОТС разделены на приоритеты по порядку и предпочтению предоставления информационных услуг средствами ИПС. Для примера рассмотрим вариант введенных в систему управления ИПС двух категорий пользователей АСУ. При этом поступающая на конкретный ε-й сервер $S_{IP}(\varepsilon)$ нагрузка требований на получение информационных услуг составит

$$\rho_{\varepsilon}^{Serv}=\rho_{\varepsilon 1}^{Serv}+\rho_{\varepsilon 2}^{Serv}, \quad (6)$$

где $\rho_{\varepsilon 1}^{Serv}$, $\rho_{\varepsilon 2}^{Serv}$ нагрузка требований, поступающая на ε-й сервер ИПС соответственно первого и второго приоритетов.

Нагрузка $\rho_{\varepsilon 1}^{Serv}$ обслуживается сервером $S_{IP}(\varepsilon)$ без ограничений, а нагрузка $\rho_{\varepsilon 2}^{Serv}$ обслуживается сервером $S_{IP}(\varepsilon)$ с включением процедур ограничений, в которых наиболее целесообразно использовать модель Гранжана [2], адаптированную для задачи управления ресурсами ИПС АСУ СОТС, в соответствии с которой вычисляют значения коэффициентов ограничений:

$$d_{IP}(\varepsilon)=\frac{(\rho_{\varepsilon 2}^{Serv})^{k-K}\,K!\sum\limits_{l=1}^{K}\frac{(\rho_{\varepsilon 2}^{Serv})^{l}}{l!}}{k!\sum\limits_{l=1}^{k}\frac{(\rho_{\varepsilon 2}^{Serv})^{l}}{l!}}, \quad (7)$$

где K и k – соответственно приведенная полная остаточная производительность ε-го сервера ИПС после обслуживания нагрузки $\rho_{\varepsilon 1}^{Serv}$ и остаточная доля производительности ε-го сервера ИПС после обслуживания нагрузки $\rho_{\varepsilon 2}^{Serv}$.

Тогда в рамках решения задачи 2 управления ресурсами (рис. 2) для каждого сервера, предоставляющего информационные услуги реализуется следующее правило ограничения нагрузки со вторым приоритетом: вычисляются значения коэффициентов ограничений (7) и проверяется условие $d_{IP}(\varepsilon)\le 1$. Если оно выполняется, то обслуживание нагрузки $\rho_{\varepsilon 2}^{Serv}$ осуществляется в обычном режиме, а если не выполняется – то последующие требования нагрузки $\rho_{\varepsilon 2}^{Serv}$ не обслуживаются и получают отказ.

После реализации процедур ограничения предоставляемых ИУ, для оставшихся в списке обслуживаемых пользователей решается задача, аналогичная рассмотренной ранее, выражения (3–5). Эти процессы также меняют и длительность цикла управления ресурсами информационных служб ИПС, поскольку изменение ситуации (как в одну, так и в другую сторону)

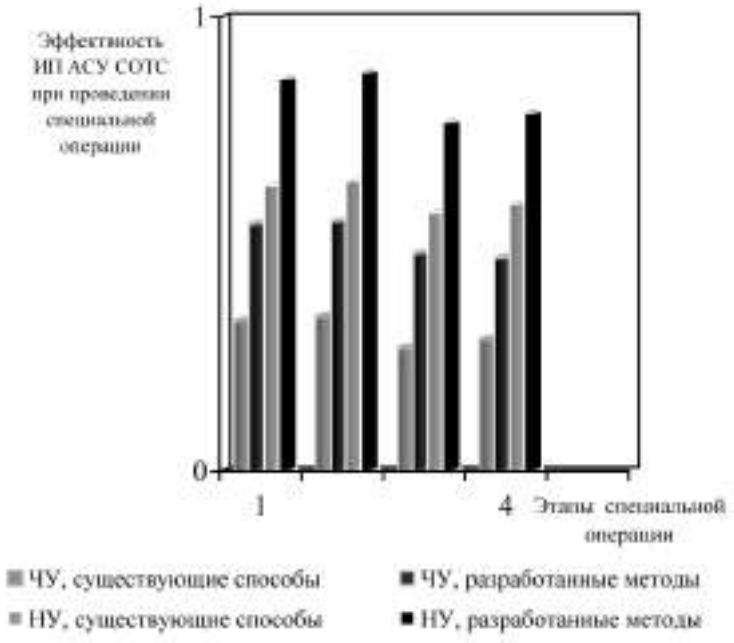

Рис. 3. Варианты управления ресурсами служб ИПС АСУ СОТС при выполнении специальной операции в нормальных условиях (НУ) и чрезвычайных условиях (ЧУ) эксплуатации СОТС

Рис. 4. Сравнение разработанных методов управления ресурсами информационных служб ИПС АСУ СОТС с существующими способами по среднему числу своевременно проведенных операций

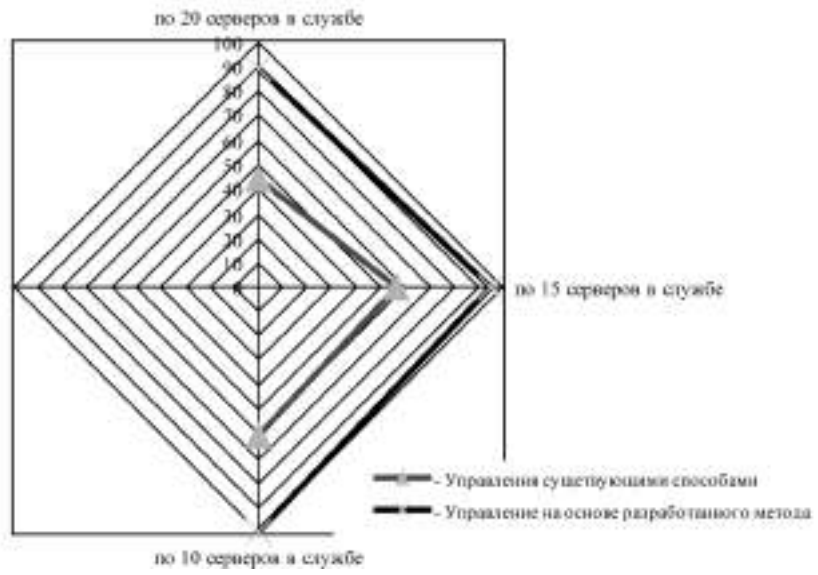

Рис. 5. Сравнение разработанных методов управления ресурсами служб ИПС АСУ СОТС с существующими способами по показателю качества обслуживания (относительное число своевременно проведенных операций, в %)

должно приводить к расчету нового плана распределения ресурсов, т.е. к инициированию нового цикла управления.

Предложенные методы управления ресурсами информационных служб ИПС АСУ СОТС позволяют существенно повысить эффективность ИПС АСУ СОТС при проведении специальных операций СОТС (показатель эффективности функционирования ИПС – вероятность своевременного предоставления комплекса ИУ), как в нормальных условиях (НУ), так и особенно в чрезвычайных условиях (ЧУ) эксплуатации системы (рис. 3).

Одновременно, разработанные методы управления ресурсами информационных служб позволяют существенно повысить эффективность функционирования ИПС АСУ СОТС за счет своевременно предоставляемой пользователям АСУ номенклатуры информационных услуг, а также показатели среднего числа своевременно проведенных специальных операций (рис. 4) и качества обслуживания – относительного числа своевременно проведенных операций (рис. 5).

Заключение

В большинстве развитых стран мира созданы и развиваются сложные организационно-технические системы (СОТС), которые призваны играть существенную роль в деле обеспечения безопасности этих стран, а также для поддержания в них правопорядка. Однако необходимость обеспечения гарантированного эффективного функционирования таких СОТС в различных условиях эксплуатации предполагает организацию непрерывного управление ими средствами автоматизированных систем управления, в составе которых, для обеспечения требуемого уровня качества процессов управления, создаются информационные подсистемы (ИПС АСУ СОТС), обеспечивающие как должностным лицам органов управления СОТС, так и комплексам средств автоматизации АСУ СОТС предоставление необходимых информационных услуг.

Вместе с тем, эффективное функционирование самой ИПС АСУ СОТС невозможно без организации постоянного управления ею, особенно в чрезвычайных условиях эксплуатации. Для этого выделяются комплексы программно-аппаратных средств, объединенных в обособленную распределенную систему управления этой подсистемой, выполняющую ряд важнейших задач управления, среди которых особую роль играет задача управления информационными ресурсами информационных служб ИПС.

Если СОТС функционирует в условиях допустимого уровня внешних воздействий, когда изменения в общем ресурсе информационных служб ИПС несущественны и есть возможность маневрировать существующими резервами (перераспределением ресурсов) ИПС, то задача управления ресурсами сводится к управлению процессами выделения ресурсов информационных служб пользователям АСУ СОТС.

Если СОТС функционирует в чрезвычайных условиях (существенные изменения в ИПС АСУ СОТС, существенное снижение ресурсов служб), то необходимо применять другие процедуры [1, 2, 8, 9], направленные на управление процессами ограничения предоставления инфор-

мационных услуг до момента ввода резервных средств ИПС или восстановления ресурсов и перехода к процедурам 1, т.е. управление сводится к задаче 2.

Однако решение общей задачи организации управления ресурсами служб ИПС АСУ СОТС, сильно усложняется в силу чрезвычайной большой размерности (множество параметров задающих ресурсы ИПС) и существующей неопределенности.

Поэтому решение общей задачи целесообразно осуществлять отдельно для выбора процедур управления процессами выделения под операцию ресурсов информационных служб пользователям АСУ СОТС и отдельно для выбора процедур управления процессами ограничения предоставления информационных услуг до момента ввода резервных средств ИПС или восстановления ресурсов и перехода к процедурам 1.

Первая задача может быть сведена для каждого цикла управления к задаче формирования плана распределения ресурсов с применением методов линейного программирования, а вторая с использованием моделей и методов экспертного оценивания множества пользователей, которым будет временно ограничен доступ к услугам или на основе применения модели ограничений Гранжана, адаптированной к задаче управления ресурсами информационной подсистемой, с последующим применением методов линейного программирования для формирования планов распределения ресурсов привилегированным пользователям АСУ СОТС.

Разработанные методы показали достаточно высокий прирост значений показателя эффективности функционирования ИПС АСУ СОТС по сравнению с существующими способами.

Литература

1. Буренин, А. Н. Инфокоммуникационные системы и сети специального назначения. Основы построения и управления / А.Н. Буренин, К.Е. Легков. – М.: ИД Медиа Паблишер, 2015. – 348 с.

2. Буренин, А. Н. Теоретические основы управления современными телекоммуникационными сетями / А.Н. Буренин, В.И. Курносов ; под ред. д-ра техн. наук, проф. В.И. Курносова. – М.: Наука. 2011. – 464 с.

3. Вентцель, Е. С. Теория вероятностей / Е.С. Вентцель. – М.: Наука. 1974. – 542 с.

4. Тренер, Д. Вероятность, статистика и исследование операций / Д. Тренер. – М.: Статистика. 1976. – 387 с.

5. Ланне, А. А. Многокритериальная оптимизация / А.А. Ланне, Д.А. Улахович. – Л.: ВАС, 1984. – 87 с.

6. Ральфа, Г. Анализ решений. Введение в проблему выбора в условиях неопределенности / Г. Ральфа. – М.: Наука. 1977. – 408 с.

7. Bower, J. L. The role of conflict in economic decision-making groups, some empirical result / J.L. Bower // The Quarterly Journal of Economics. – 1965. – No. 2. – P. 424–444.

8. Аванесов, М. Ю. Оперативное управление потоками данных в мультисервисных сетях связи / М.Ю. Аванесов, С.П. Присяжнюк. – СПб.: Балт. гос. техн. ун-т., 2007. – 81 с.

9. Лазарев, В. Г. Сети связи, управление, коммутация / В.Г. Лазарев, Н.Г. Саввин. – М.: Связь, 1973. – 264 с.

Метод иерархической кластеризации массива текстовых материалов

Method of the hierarchical clustering of the array of text materials

Павленко / Pavlenko A.
Алексей Владимирович
(alxpavlenko@yandex.ru)
ФГКВОУ ВО «Череповецкое высшее военное инженерное училище радиоэлектроники» МО РФ,
младший научный сотрудник.
г. Череповец

Гатилов / Gatilov I.
Игорь Леонидович
(igor.gatilov@mail.ru)
доктор технических наук,
старший научный сотрудник.
ФГУП «18 Центральный научно-исследовательский институт» МО РФ,
главный научный сотрудник.
г. Москва

Ключевые слова: кластеризация текстов – clustering of texts; функционально-ролевая интерпретация – functional and role interpretation; нейросетевая классификация – neural network classification.

Предложен метод иерархической структуризации неупорядоченного массива текстовых материалов, основанный на определении степени тематической близости текстовых сообщений, составляющих данный массив.
Применение метода в перспективных комплексах обработки информации позволит снизить размерность задачи поиска текстовых сообщений за счет ее ограничения отдельными ветвями сформированной иерархии тематических кластеров. Кроме того, данный метод может быть использован в задачах формализации предметной области в целях подготовки данных при формировании онтологии.

The method of hierarchical structuration of the unregulated array of text materials based on determination of a level of subject closeness of the text messages making this array is offered.

Application of a method in perspective complexes of information processing will allow reducing dimensionality of the search of text messages due to its restriction with separate branches of the created hierarchy of subject clusters. Besides, this method can be used in tasks of data domain formalization for the purpose of data preparation when forming ontology.

В задачах информационно-аналитической обработки больших массивов текстовых сообщений нередко возникает потребность в их тематической структуризации, например в интересах поддержки деятельности аналитика по формализации предметной области. Целью разработки метода, описанного в данной статье, является снижение размерности задачи поиска текстового сообщения (ТС) по запросу аналитика в накопленных текстовых массивах комплексов информационной обработки. Снижение размерности задачи поиска ТС происходит за счет ограничения поисковых процедур отдельными ветвями иерархии тематических кластеров ТС. Структура метода представлена на рис. 1.

На первом этапе производится составление формального описания (ФО) случайно выбранного ТС на основе функционально-ролевой интерпретации [1]. Функционально-ролевая интерпретация предполагает описание ТС в виде множества функционально-ролевых структур (ФРС) – словарных конструкций в составе клаузы, описывающей некоторое событие. Клауза, как правило, представляет собой простое предложение, а ФРС является совокупностью трех основных элементов – действия, фигурирующего в описываемом событии, а также субъекта и объекта данного действия. На втором этапе для оценки попарной близости ТС применяется метод нейросетевой классификации, описанный в [2]. Результатом применения указанного метода является значение вероятности соответствия i-го формального описания ТС T_i j-му формальному описанию тематического класса $T_j^{эт}$ (рис. 2). В данном случае $T_j^{эт}$ будет являться формальным описанием ТС, выбранного на первом этапе.

Вышеуказанные значения вероятности определяются нейронной сетью прямого распространения с SOFTMAX-нормализацией выходов и при превышении какого-либо значения вероятности порогового коэффициента P текстовое сообщение считается принадлежащим соответствующему тематическому классу (в данном случае – кластеру). Первые три этапа повторяются до тех пор, пока каждое из ТС исходного массива не будет отнесено к какому-либо кластеру. Таким образом формируется первый (низший) уровень иерархии. Каждый кластер содержит информацию о включенных в него ТС и представляется одним формальным описанием, состоящим из наиболее характерных (частотных) для данного кластера элементов. По завершении формиро-

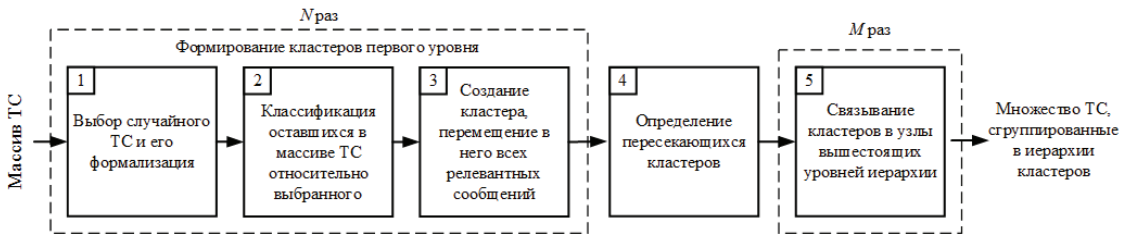

Рис. 1. Структура метода структуризации массива ТС

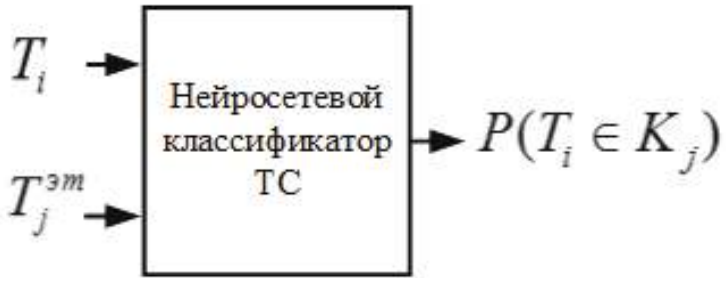

Рис. 2. Функциональная схема метода нейросетевой классификации

вания первого уровня кластеры проверяются на пересечение, в результате чего определяются ТС, соответствующие одновременно нескольким кластерам.

Формирование вышестоящих уровней иерархии осуществляется путем уменьшения на шаг ΔP порогового коэффициента P, на основании которого классификатором принимается решение о соответствии двух формальных описаний. С уменьшением P увеличивается количество кластеров, чьи формальные описания определяются как релевантные относительно друг друга. Коэффициент P уменьшается до тех пор, пока его значение не достигнет $P_{\min}$ (рис. 3), соответственно, количество уровней L сформированной иерархии выражением 1.

$$L = \frac{P_0 - P_{\min}}{\Delta P}, \qquad (1)$$

где:

P_0 – начальное значение порогового коэффициента;

$P_{\min}$ – минимальное значение порогового коэффициента;

ΔP – шаг уменьшения порогового коэффициента.

Формальное описание каждого кластера уровня 2 и выше представляется пересечением формальных описаний всех включенных в него кластеров более низкого уровня. Следует отметить, что иерархия нестрогая и не все кластеры могут быть связаны кластером высшего уровня, что отражается через формирование не одного, а нескольких деревьев и набора отдельных кластеров.

Временные затраты на структуризацию массива ТС определяются выражением 2.

$$t^{clust} = F * \sum_{i=0}^{N} W_i + R * M_0 * (\sum_{i=0}^{M_0} (N - 1 - \sum_{j=0}^{i} N_j^{clust}) + \\ + R * \sum_{i=0}^{M_0 - 1} \sum_{j=0}^{i} N_j^{clust} + R * \sum_{i=1}^{L} (M_i)^2 \oplus, \qquad (2)$$

где:

F – временные затраты на формализацию;

N – количество ТС;

W_i – количество слов в i-м ТС;

R – временные затраты на распознавание ФО;

M_i – количество кластеров на i-м уровне иерархии;

N_j^{clust} – количество ТС в j-м кластере.

Очевидно, что среднее значение временных затрат на проведение структуризации невозможно вычислить аналитически до её завершения, так как переменные M_i и N_j^{clust} априорно неизвестны. Кроме того, значительное количество переменных в выражении (2) не позволяет определить среднее значение требуемого времени на основании малого количества опытов. В связи с этим было осуществлено программное моделирование процедуры, при котором переменные M_i и N_j^{clust} генерировались случайным образом во время выполнения данной процедуры, что позволило имитировать формирование значительного разнообразия иерархических структур и рассчитывать временные затраты на формирование каждой из них. Проведение серии из 100 000 опытов при разном количестве ТС N в исходном массиве показало, что распределение временных затрат описывается нормальным законом (рис. 3). Это позволяет утверждать, что временные затраты на структуризацию

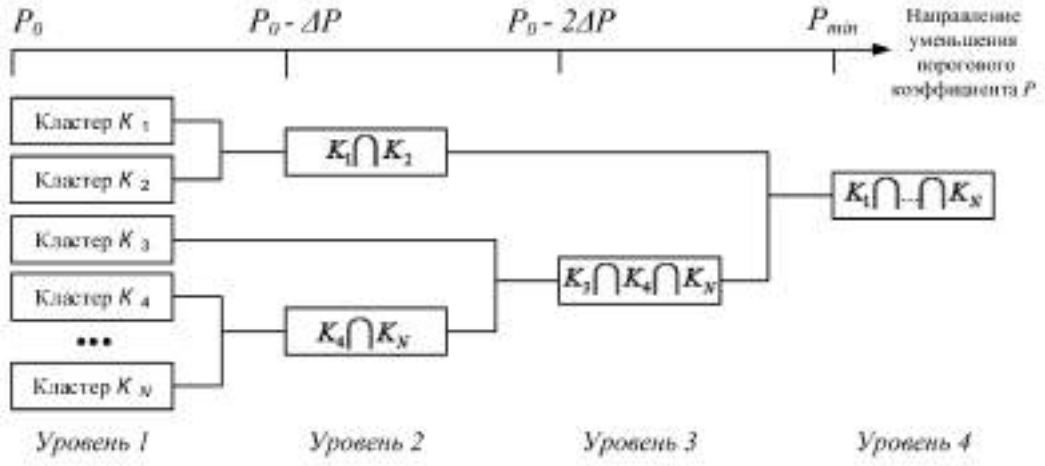

Рис. 3. Дерево кластеров ТС глубиной 4

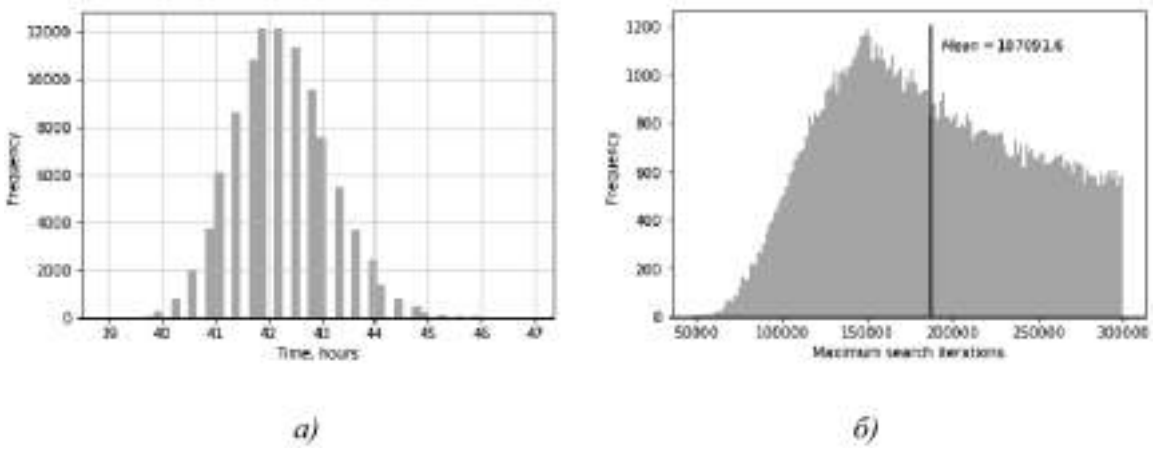

Рис. 4. Распределение временных затрат
(а) при структуризации массива объемом 300000 текстовых сообщений
и распределение количества поисковых переборов ТС;
(б) по сформированной иерархии

массива из 300 тысяч ТС при среднем объеме 3500 слов с вероятностью 0,997 не превысят 45 часов (для сравнения, Национальный корпус русского языка содержит 335 076 текстов). Указанные временные затраты будут единовременными, так как построение иерархии тематических кластеров строится один раз и в дальнейшем лишь поддерживается в актуальном состоянии путем настройки классификатора (или нескольких классификаторов) на формальное описание каждого кластера.

Количество переборных процедур, осуществляемых при поиске по иерархии проиндексированных кластеров, в среднем меньше на 37,5 % по сравнению с количеством переборов, осуществляемых при поиске по неструктурированному массиву текстовых сообщений. Это подтверждается полученными распределениями количества поисковых переборов ТС по иерархиям кластеров общим объемом от 300 тысяч до 1 одного миллиона ТС (рис. 4).

Разработанный метод структуризации обладает одновременно следующими важными свойствами, необходимыми для корректной структуризации текстового массива:

1. Иерархичность.
2. Пересекаемость кластеров.
3. Инкрементность (т.е. отсутствие необходимости повторять процедуру структуризации заново при появлении новых ТС).
4. Отсутствие ограничений по числу возможных кластеров.

Одновременное наличие вышеуказанных свойств позволяет не только осуществить интерпретируемую структуризацию исходного текстового массива, но и

поддерживать актуальность содержания каждого узла иерархии путем настройки множества классификаторов на формальные описания кластеров и отбора из входного потока релевантных для них ТС. Кроме того, индексация содержания каждого кластера позволяет ускорить существующий поиск по ключевым словам за счет ограничения его отдельными ветвями сформированной иерархии вместо перебора всего массива текстовых материалов.

Литература

1. Столяров, М. Г. Способ определения информационной ценности текстового документа при полнотекстовом поиске, учитывающий отношения между понятиями предметной области / М.Г. Столяров, А.Ю. Новиков // Наукоёмкие технологии. – 2012. – № 8. – С. 87–90.

2. Павленко, А. В. Подход к нейросетевой классификации текстовых документов с использованием семантических признаков / А.В. Павленко, А.Ю. Новиков // Наукоёмкие технологии. – 2015. – № 12. – С. 67–70.

Применение онтологических моделей данных в интересах поддержки принятия решений по управлению связью

Application of ontologic data models for the benefit of decision-making on communication management support

Грязев / Gryazev A.
Андрей Николаевич
(agryazev@zniis.ru)
кандидат технических наук.
ФГУП «Центральный научно-исследовательский институт связи»,
генеральный директор.
г. Санкт-Петербург

Саенко / Saenko I.
Игорь Борисович
(ibsaen@mail.ru)
доктор технических наук.
ФГКВОУ ВО «Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного» МО РФ, профессор.
г. Санкт-Петербург

Ясинский / Jasinski S.
Сергей Александрович
(yasinsky777@mail.ru)
доктор технических наук, доцент.
Филиал ФГУП «Ленинградское отделение центрального научно-исследовательского института связи», научный консультант.
г. Санкт-Петербург

Манаськин / Manaskin A.
Алексей Васильевич
(manaskinaw@mail.ru)
ВАС им. С. М. Буденного,
слушатель.
г. Санкт-Петербург

Ключевые слова: управление связью – communication management; поддержка принятия решений – decision-making; модель данных – data model; онтология – ontology; логический вывод – logical inference.

Рассматривается подход к применению онтологических моделей данных в интересах поддержки принятия решения по управлению связью. Приводится описание предметной области задач управления связью и методика построения онтологических моделей задач управления связью. Оценивается эффективность использования интеллектуальных систем поддержки принятия решений на онтологической основе для решения задач по управления связью.

An approach to application of ontological data models for the benefit of decision-making on communication management is considered. The description of data domain for communication management tasks and a technique of creation of ontological models for communication management tasks are provided. The efficiency of use of intellectual decision making systems on an ontological basis for solving communication management tasks is estimated.

Введение

Современные сети связи, обладающие сложной структурой и построенные на высокотехнологичном оборудовании, уже давно не могут эффективно управляться человеком без помощи автоматизированных систем. С использованием автоматизированных систем обеспечивается технологическое управление элементами сети, контроль технического состояния, мониторинг загруженности каналов передачи данных и многие другие задачи, решение которых в той или иной степени призвано обеспечить поддержку принятия решений управления связью. Несмотря на то что сети связи обладают значительной автономностью, участие человека в процессе управления связью остается достаточно существенным. Существующее программное обеспечение пунктов управления сетями связи способно выполнять многие задачи без участия операторов дежурной смены, но с возрастанием числа неизвестных факторов проблемной ситуации эффективность его использования начинает снижаться. Внедрение и использование интеллектуальных систем поддержки принятия решений (ИСППР) по управлению связью позволяет повысить обоснованность принимаемых решений слабо структурированных задач по отношению к обычным

системам поддержки принятия решений (СППР). В качестве основы построения ИСППР могут выступать онтологические модели.

Целью настоящей статьи является рассмотрение варианта описания предметной области (ПрО) задач управления связью, варианта методики формирования онтологических моделей данных о системах связи и способов оценки эффективности их применения.

Проблема описания предметной области задач управления связью.

Задача описания ПрО является фундаментальной для построения онтологий. Для эффективного решения данной задачи необходимо создание группы специалистов, включающей не менее трех человек. Руководство создаваемой группой, как правило, возлагается на инженера по знаниям [1].

Концептуализация описания ПрО не менее важна для построения онтологии. Т. Р. Грубер (Gruber) определил онтологию как формальную спецификацию согласованной концептуализации, где под согласованной концептуализацией подразумевается, что данная концептуализация не есть частное мнение, а есть общая для некоторой группы людей [2]. Описывая ПрО задач управления связью, необходимо придерживаться общепринятых концептов с добавлением множества понятий, специфических для данной ПрО. Это обеспечит построение онтологий задач управления связью (ЗУС) на базе уже существующих общих онтологий.

Выделение в ПрО стратегических и оперативных знаний позволяет онтологии получать логические выводы, основанные на изменении данных о состоянии системы связи. Стратегические знания представляют собой накопленные ранее теоретические знания в данной ПрО, а также могут представлять собой совокупность различных баз данных, сопряженных с онтологической моделью. Прецедентные знания – знания о возникавших ранее проблемных ситуациях и способах их решения. Используя прецедентные знания, онтологическая модель сможет делать логические выводы о прогнозировании развития проблемной ситуации в последующий момент времени. Таким образом, все множество концептов, отношений, функций и аксиом ПрО ЗУС можно представить в виде структуры на рис. 1.

Заштрихованная область $\{S_i\}$ на этом рисунке обозначает область соприкосновения онтологии знаний ПрО задач управления связью с общей онтологией (онтологией верхнего уровня), включающую в себя общие концепты ПрО онтологий.

Полнота множества $\{S_i\}$ определяет гибкость сопряжения онтологии ЗУС с другими онтологиями. Однако эта область не должна включать концепты и аксиомы, имеющие важное значение для функционирования всей онтологической модели. При нарушении взаимодействия онтологий может быть нарушено функционирование всей онтологии задач управления связью. Приведенная структура ПрО задач управления связью не является функционально законченной и может содержать другие группы концептов.

Методика формирования онтологических моделей данных о системах связи.

Существует множество методик формирования онтологических моделей ПрО. Предлагаемая в настоящей статье методика представляет собой обобщенный вариант формирования «легкой» онтологической модели в программном средстве «Protégé» 5.0 и реализуется путем выполнения четырех этапов, представленных на рис. 2.

На первом этапе при определении основных терминов ПрО необходимо получить множество терминов $\{X_i\}$, а затем определить среди них множество концептов

Рис. 1. Структура предметной области задач управления связью

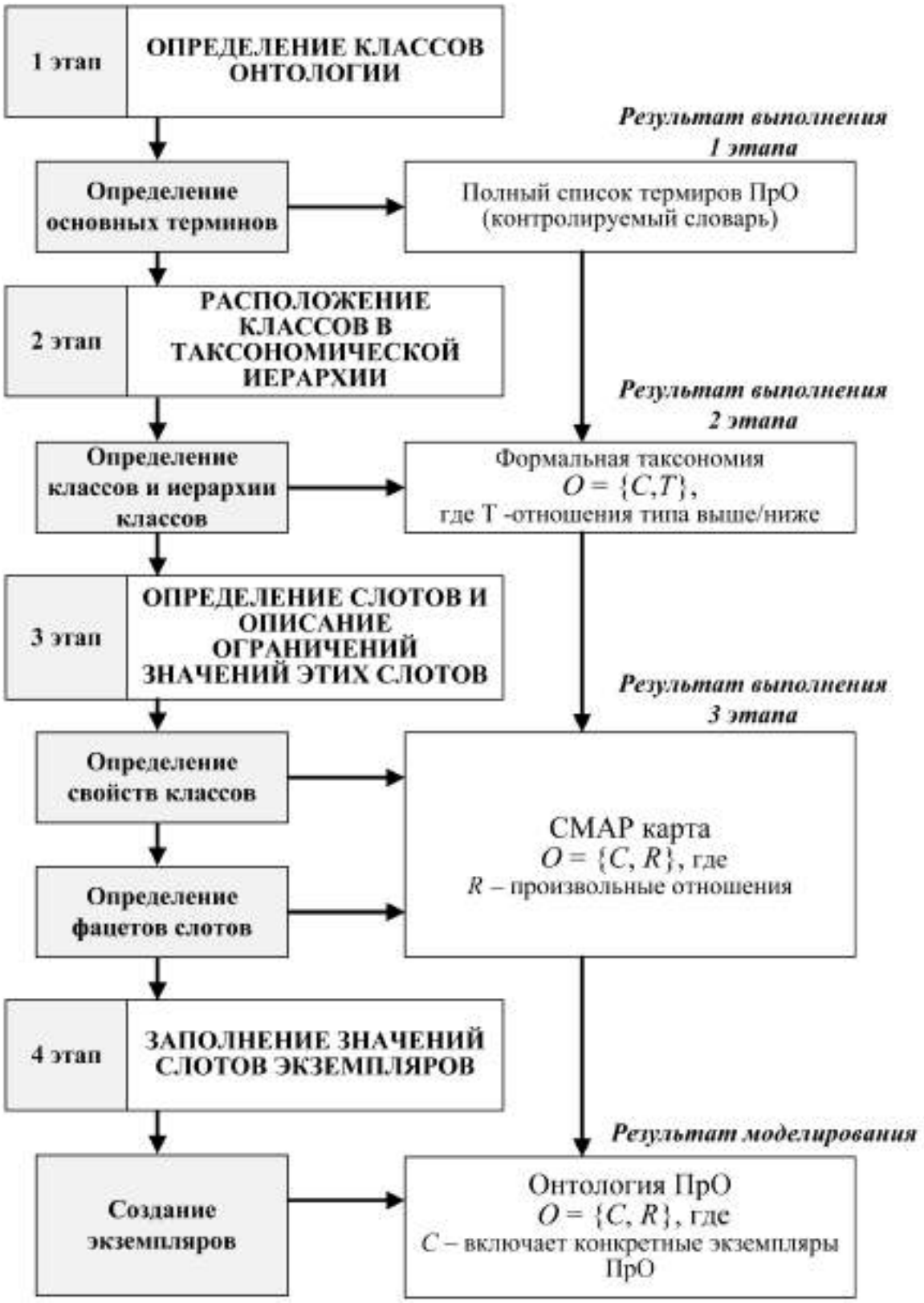

Рис. 2. Методика создания прикладной онтологии

$\{C_j\}$ и множество предикатов $\{R_k\}$.

В качестве основы построения онтологий на этапе формирования этих множеств целесообразно использовать методологию «концептуальных карт» (Conceptual MAP – CMAP) [3], относящихся к легким онтологиям.

В ходе второго этапа необходимо выполнить расположение множества концептов $\{C_j\}$ в таксономической иерархии, в которой отношения между концептами являются отношениями вида «класс» – «подкласс».

Полученная формальная таксономия будет иметь следующий формализованный вид:

$$O = \{C, T\}; O = \bigcup_{i=1}^{n} C_i \supset \{c_{il}\},$$

где $\{C_i\}$ – множество классов; $\{c_{il}\} \subset C_i$ – множество подклассов класса $\{C_i\}$; T – множество таксономических отношений между классами.

Особенностью формальной таксономии является транзитивность иерархических отношений, которую можно выразить следующим выражением:

$$\forall C_x, C_y, C_z \subset C, (C_x t C_y) \wedge (C_y t C_z) \Rightarrow (C_x t C_z).$$

Иными словами, в случайно взятых классах одной таксономии $C_x, C_y, C_z \subset C$ при условии t, свидетельствующем, что C_y является суперклассом для класса C_x, а C_z – суперкласс для C_y, является справедливым утверждение, что C_z является суперклассом для класса C_x.

Формальная таксономия не должна иметь циклов, когда в иерархии $C_x, C_y, C_z \subset C$ у некоторого класса C_y, являющегося подклассом для класса, есть подкласс C_x, который указан как суперкласс для класса C_z. Формально данное условие можно задать следующим выражением:

$$\forall C_x, C_y, C_z \subset C, (C_x \subseteq C_y) \wedge (C_y \subseteq C_z) \Rightarrow (C_z \not\subset C_x).$$

Таксономия должна иметь сбалансированную структуру, избегающую минимального или излишнего количества подклассов в классе. Так, если существует класс C_y, который имеет только один прямой подкласс C_x, то возможно наличие ошибки, если указаны не все возможные значения концептов. Наличие у класса C_y более 10 подклассов может свидетельствовать о необходимости введения дополнительных промежуточных классов.

Выделение подклассов необходимо при наличии у концептов свойств или ограничений, отсутствующих у суперкласса.

На третьем этапе из множества $\{R_k\}$, представляющего собой отношения вида «классы – слоты (подклассы)», формируются таксономии свойств. Производится определение слотов и описание ограничений, налагаемых на значения этих слотов. Для каждого свойства из множества $\{R_k\}$ определяется тип отношения к каждому из классов $\{C_i\}$.

В зависимости от типа описания отношения слоты могут быть следующих типов:

1) «внутренние» свойства – связываются со значением типа данных;

2) «внешние» свойства – связываются с другим классом;

3) свойства, описывающие абстрактное или физическое отношение вида «целое» – «часть»;

4) свойства, описывающие отношения с другими концептами.

В завершении третьего этапа для каждого из слотов необходимо произвести определение фацетов, которые описывают типы значения слотов и их мощности. Мощность слота определяет список конкретных разрешенных значений слота.

На четвертом, завершающем этапе происходит создание экземпляров слотов. Для определения отдельного экземпляра класса требуется выбрать класс, создать отдельный экземпляр этого класса и ввести значения слотов. С заполнением слотов экземплярами завершается моделирование, а онтология конкретизируется под описание необходимой ПрО.

Возможным этапом, не внесенным в настоящую методику, но являющимся важным в случаях использования нескольких онтологических моделей (ОМ), является когнитивная проверка онтологии.

Учитывая, что ОМ субъективна, процесс когнитивной оценки достаточно сложен. Во многих случаях принятие окончательного решения остается на усмотрение эксперта [4]. Существуют методики оценки структуры ОМ. Одна из них предлагается В. А. Моховым и Н. Н. Сильнягиным [5]. Предлагаемая в настоящей статье методика основана на алгоритме расчета метрик [6], позволяющем оценить когнитивные качества онтологии посредством анализа ее графа.

Для оценки качества готовых онтологических моделей разработан ряд методов: Natural Language Application metrics; OntoMetric; FIGO; EvaLexon; Declarative Methods; OntoClean [7]. Данные методы позволяют производить оценку онтологий по следующим критериям: точность и полнота словаря предметной области, адекватность, восприимчивость, производительность, структура с точки зрения таксономии и отношений [8].

Субъективные метрики оценки качества онтологий включают: метрики циклов, метрики Ингве-Миллера, метрики глубины, метрики разнообразия количества связей и метрики запутанности (tangledness) графа [9].

Особенности использования онтологических моделей данных о системах связи для поддержки принятия решений по связи

Онтологические модели данных о системах связи, используемые для построения ИСППР, обладают особенностями, присущими всем онтологиям, и специфическими особенностями, присущими только им. К общим особенностям возможно отнести:

· возможность получения логического вывода с помощью онтологии;

· возможность формирования запросов пользователей на естественном или близком к нему языке;

· возможность семантического поиска информации.

Данные особенности позволяют онтологической модели оценивать вероятности возникновения ложных («нереальных») событий и тем самым уменьшить вероятность выработки необоснованных выводов вследствие искажения входных данных, а также самостоятельно получать релевантную информацию из доступных информационных источников.

К специфическим особенностям онтологических моделей данных о системе связи относятся:

· необходимость построения в виде многослойной структуры с использованием прикладных (фактографических) онтологий низшего уровня, используемых для ввода фактографических данных;

· распределенность онтологической модели по технической структуре системы управления связью;

· использование экземпляров классов, имеющих значительное количество внутренних свойств;

· необходимость сопряжения онтологической модели с базами данных систем управления связью;

· необходимость разработки интерфейса взаимодействия модели в едином пакете программного обеспечения пункта управления связью;

· выполнение повышенных требований по надежности и безопасности информации.

Исходя из указанных выше особенностей онтологии, наиболее приемлемым вариантом технического построения ИСППР на онтологической основе может быть использование «клиент – серверной» технологии [10].

Техническая реализация предлагаемого варианта построения ИСППР позволяет решить вопрос разграничения доступа к информации, циркулирующей в разных уровнях управления, обеспечить возможность их автономного редактирования и повышения скорости аннотирования информационных ресурсов в подразделениях связи.

В программной среде Protege 5.0 для апробации приведенной выше методики была создана прикладная онтологическая модель данных о составе узла связи. Разработанная онтология позволяет пользователю через интерфейс программы Protege получать данные посредством DL-запросов или SPARQL-запросов.

Посредством DL-запросов возможно получить следующие данные:

· о задачах подразделений связи по развертыванию элементов системы связи;

· о планируемом и фактическом составе узлов связи;

· о техническом состоянии и характеристиках аппаратных связи.

Выигрыш от использования онтологической модели при решении задач управления связью в сравнении с традиционными базами данных демонстрируется на примере DL-запроса, представленного на рис. 3.

На этом рисунке показан DL-запрос к онтологической модели данных о составе системы связи, по которому выведен перечень экземпляров данного класса, являющихся техникой связи запрашиваемого подразделения. Следует отметить, что выводимая информация может быть шире и отражать сведения по подчиненным

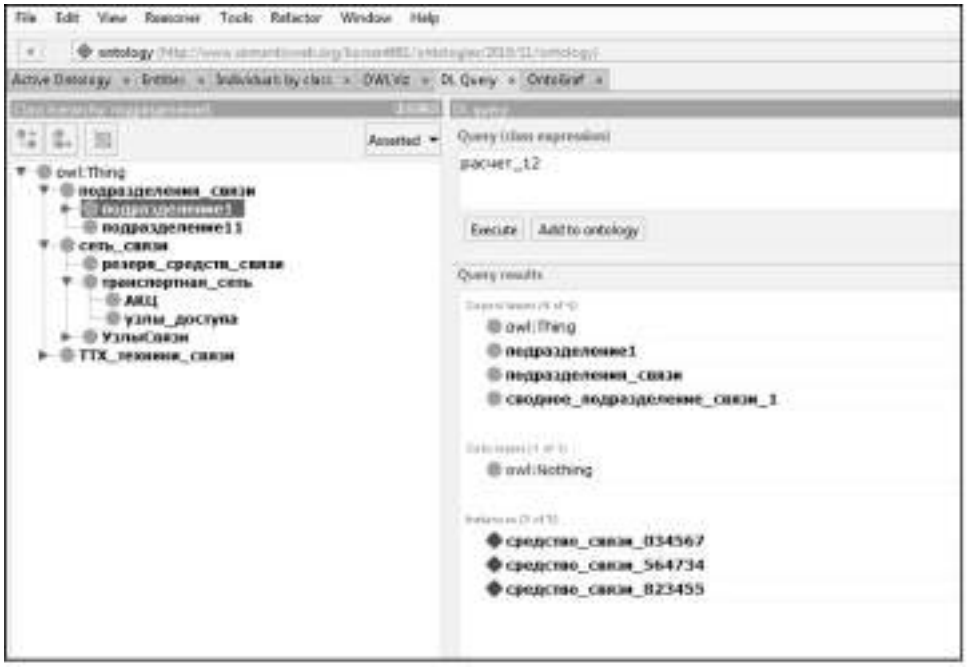

Рис. 3. Пример DL-запроса к онтологической модели данных о составе системы связи

классам и вышестоящим классам. Как показано на рис. 3, в ответе на запрос отображена информация о принадлежности данного подразделения к подразделениям связи, а также его подчиненность вышестоящим подразделениям («подразделение 1» и «сводное подразделение связи 1»).

За счет работы пользователя с моделью на естественном языке, а также с меньшим числом знаков запроса к онтологической модели по сравнению с подобным запросом к традиционной базе данных возрастает оперативность получения пользователями информации, необходимой для решения задач управления связью. Дополнительно следует отметить, что онтологическая модель способна к семантической обработке запросов и обеспечивает предоставление информации по «подобным» запросам или запросам, заданным на естественном языке пользователя с грамматическими ошибками, как это реализовано в известных поисковых Интернет-системах.

Кроме того, при работе с онтологией, с использованием машины логического вывода, обеспечивается поддержка пользователя дополнительной информацией по сравнению запросами в традиционных базах данных, что демонстрируется на рис. 4.

На этом рисунке показано окно программы для работы с экземплярами классов. Исходные данные, заданные для экземпляра «средство связи 456239», выделены в модели жирным черным шрифтом. С учетом введенного подобия этого экземпляра типовому экземпляру «средство связи вариант 1» машина логического вывода предоставляет пользователю дополнительную информацию о подобных экземплярах, существующих в онтологической модели. Посредством анализа заданных значений внутренних свойств этого экземпляра машина логического вывода делает заключение о принадлежности экземпляра к еще трем классам онтологической модели, например к классу «автомобильная техника связи», через значение внутреннего свойства, заданного переменной «КАМАЗ». Из приведенного примера видно, что пользователь, работая с экземплярами классов онтологии, способен получать информацию о схожих экземплярах без дополнительных запросов, что существенно повышает оперативность принятия решения. Таким образом, виден существенный выигрыш при работе с онтологической моделью в сравнении с традиционными базами данных за счет представления дополнительной информации, полученной путем логического вывода.

Оценка эффективности использования онтологических моделей данных о системах связи для поддержки принятия решений

Для оценки эффективности использования онтологических моделей необходимо, прежде всего, определиться с показателями эффективности. Среди этих показателей следует в первую очередь выделить группу показателей качества управления связью, характеризующих способность органов управления связи обеспечивать качественное управление подчиненным объектом (системой связи).

К группе показателей качества процесса управления связью предлагается отнести показатели своевременности (оперативности), адекватности (обоснованности и результативности), безопасности и ресурсопотребления.

Остановимся на рассмотрении наиболее важных двух показателях: своевременности и адекватности.

Рис. 4. Данные логического вывода при работе с онтологией

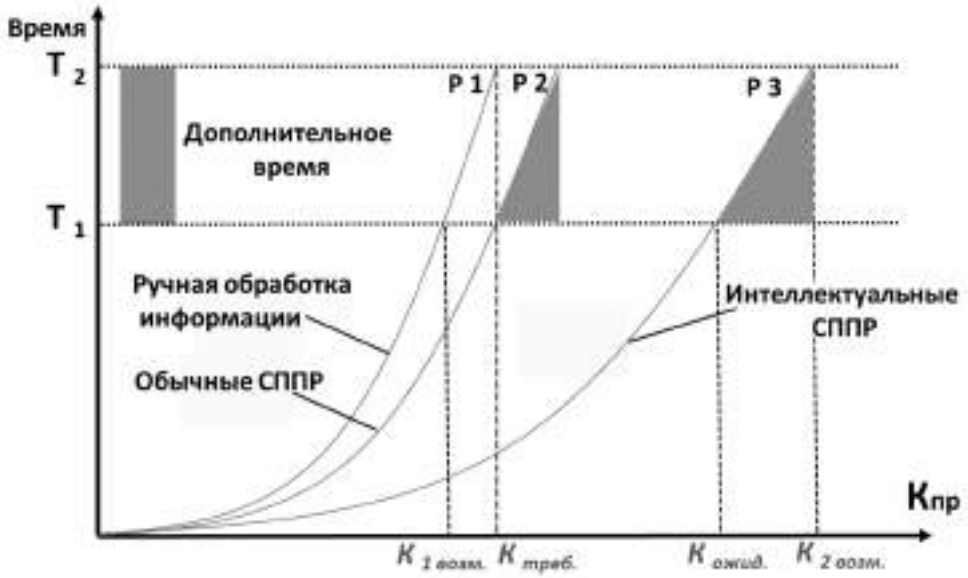

Рис. 5. График зависимости коэффициента подготовленности решения от времени

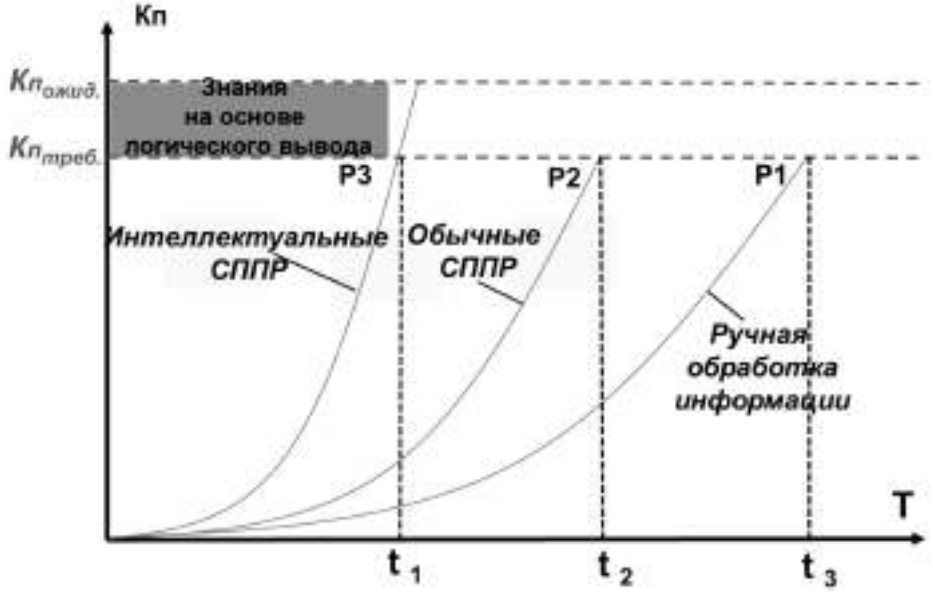

Рис. 6. График зависимости коэффициента полноты информации от затраченного времени

Своевременность можно оценить количественно как:

- средняя продолжительность цикла управления;
- вероятность того, что продолжительность цикла управления при выполнении задачи не превысит установленного времени.

Адекватность характеризует способность вырабатывать обоснованное решение. Для количественной оценки обоснованности может быть использован коэффициент подготовленности решения $\mathbf{K_{пр}}$. График зависимости между временем принятия решения и коэффициентом подготовленности принимаемого решения приведен на рис. 5.

В качестве меры подготовленности решения относительно выбранного временного показателя используется показатель полноты информации $\mathbf{K_п}$, рассчитываемый как отношение полученной информации к информации, необходимой для принятия обоснованного решения.

Ограниченность времени на принятие решения часто является одним из основных факторов, непосредственно влияющим на его качество. На рис.6 приведен график зависимости коэффициента полноты информации $\mathbf{K_п}$ от затраченного времени в случаях ручной обработки информации, использования обычных СППР и ИСППР на онтологической основе [11].

Анализ графических зависимостей на рис. 6 позволяет сделать вывод, что для достижения требуемой полноты информации ($K_{п,треб.}$) в случае использования ИСППР требуется меньшее время (t_1) по сравнению с обычными СППР (t_2) и ручной обработкой информации (t_3). Данный выигрыш достигается за счет возможности реализации семантического поиска и получения знаний на основе логического вывода.

Следует отметить, что эффективность онтологических моделей и ИСПРР на их основе существенно зависит также от полноты и качества входных данных. Возможность онтологических моделей в получении логических выводов позволяет получать более обоснованное решение для слабо структурированных или неструктурированных задач по отношению с обычными СППР.

Заключение

Предлагаемый онтологический подход к построению интеллектуальных систем поддержки принятия решений по управлению связью обеспечивает повышение эффективности разработки решений, принимаемых должностными лицами по связи. Онтологические модели предметной области управления связью позволят снизить зависимость принимаемых решений от ошибок данных, вызванных технологическим сбоем оборудования, повысить надежность управления системами связи, а также переложить часть умственной нагрузки с операторов дежурных смен на интеллектуальную систему.

Дальнейшие исследования предполагается проводить в области распространения ИСППР на управление информационными трактами технологической информации систем управления связью, а также каналами передачи управления связью, используемыми персоналом пунктов управления связью.

Литература

1. Гаврилова, Т. А. Базы знаний интеллектуальных систем / Т.А. Гаврилова, В.Ф. Хорошевский. – СПб.: Издательский дом "Питер", 2001. – 384 с.
2. Боргест, Н. М. Онтология проектирования. Теоретические основы. Часть 1. Понятия и принципы / Н.М. Боргест. – Самара: Самарский государственный аэрокосмический университет, 2010. – 91 с.
3. Ивлев, А. А. Онтология военных технологий [Электронный ресурс] / А.А. Ивлев, В.Б. Артеменко. – Режим доступа: http://www.milresource.ru/Ontol.html, свободный. – Загл. с экрана.
4. Мохов, В. А. Анализ перспектив программной оценки когнитивных свойств онтологий / В.А. Мохов, Н.Н. Сильнягин // Моделирование. Теория, методы и средства: материалы XI Международной научно-практической конференции. – Новочеркасск: ЮРГТУ, 2011. – С. 158–163.
5. Мохов, В. А. Интегрированный алгоритм когнитивной оценки и выбора оптимального варианта онтологической модели [Электронный ресурс] / В.А. Мохов, Н.Н. Сильнягин // Электронный журнал «Инженерный вестник Дона». – 2011. – № 11. – Режим доступа: http://ivdon.ru/magazine/archive/n4y2011/600, свободный. – Загл. с экрана.
6. Субъективные метрики оценки онтологий [Электронный ресурс] / Т.А. Гаврилова [и др.] // Знания-Онтологии-Теории (ЗОНТ-09). – Режим доступа: math.nsc.ru/conference/zont09/reports/39Gavrilova-Gorovoi-Bolotnikov-Gorelov.pdf, свободный. – Загл. с экрана.
7. Hartmann, J. Methods for ontology evaluation / J. Hartmann // Knowledge Web Deliverable. – 2005. – P. 11–29.
8. Горовой, В. А. Модель классификации методов оценки онтологий / В.А. Горовой// Материалы 2-й международной молодежной конференции «Искусственный интеллект: философия, методология, инновации». – 2007.– С. 307–310.
9. Андрич, О. Ф. Исследование методов оценки качества готовых онтологических моделей [Электронный ресурс] / О.Ф. Андрич, Л.А. Макушкина // Современные научные исследования и инновации. – 2014. – № 3. – Режим доступа: http://web.snauka.ru/issues/2014/03/31194, свободный. – Загл. с экрана.
10. Манаськин, А. В. Онтологический подход к созданию систем поддержки принятия решений по управлению специальной связью / А.В. Манаськин, И.Б. Саенко // Материалы международной научно-практической конференции (ССБИ-2016). – Краснодар: Краснодарский ЦНТИ, 2016 – С. 10–14.
11. Организация информационного взаимодействия разнородных автоматизированных систем: онтологический подход / И.Б. Саенко [и др.] // Информация и Космос. – 2016. – № 2. – С. 60–64.

Оценка цифровых оптико-электронных систем дистанционного наблюдения и зондирования Земли с использованием методов теории информации

Assessment of digital optical-electronic systems of remote observation and sounding with use of the theory of information methods

Молчанов / Molchanov A.
Андрей Сергеевич
(9171900070@rambler.ru)
кандидат технических наук,
профессор Академии военных наук.
Государственный летно-испытательный центр
им. В. П. Чкалова,
заместитель начальника отдела.
Астраханская область, г. Ахтубинск.

Ключевые слова: цифровая оптико-электронная система – digital optical-electronic system; информационный критерий – information criterion; критерий информационной емкости – criterion of information capacity; информация – information.

В статье рассматривается возможность применения способа оценки цифровых оптико-электронных систем дистанционного зондирования Земли на основе критерия информационной емкости. Описаны способы определения количества информации, которое получает оператор при считывании координат объекта с экрана монитора пропускной способности системы, которая определяется числом объектов, направляемых в систему отображения для обработки.

The possibility of application of remote sounding systems digital optical-electronic assessment way based on criterion of information capacity is considered in article. Ways of determination of information amount, which is received by the operator when reading coordinates of an object from the screen of the monitor of system flow capacity, which is defined by number of the objects sent to the system of display for processing are described.

К цифровым оптико-электронным системам (ЦОЭС) будем относить аэрофотографические системы, телевизионные системы, системы дистанционного наблюдения и зондирования Земли, использующие в своем составе приемники оптического излучения на основе фоточувствительных приборов с переносом заряда и приборов с зарядовой связью.

ЦОЭС предназначены для передачи и запоминания изображений (двумерной информации), поэтому при создании критериев оценки таких систем необходимо использовать методы теории информации, особенность которых заключается в рассмотрении не единичного сообщения, а множества (совокупности) сообщений данного типа, например, множества изображений, полученных ЦОЭС. Под таким множеством понимается множество изображений различных аэроландшафтов или множество изображений различных объектов. При этом предполагается, что данное сообщение, подлежащее передаче или запоминанию, есть результат случайного выбора из данного множества сообщений. Последние вместе с вероятностями их выбора образуют источник сообщений. Передача или запоминание информации осуществляется совокупностью технических средств, называемых системой связи или каналом передачи информации [1].

Простейшая структурная схема канала передачи двумерной информации ОЭС изображена на рис. 1. Канал передачи информации характеризуется максимальным потенциально возможным количеством информации, которое может быть по нему передано в единицу времени. Это называется пропускной способностью или информационной емкостью канала.

Информационная емкость (если количество информации определяется в двоичных единицах информации) измеряется в битах на секунду – бит/с Информационная емкость системы запоминания двумерной информации определяется максимальным количеством информации, которую может запомнить система на единице своей площади. Информационная емкость подобной системы может измеряться в битах на метр квадратный – бит/м^2.

Задачи последовательного восприятия информации изображений, полученных ОЭС и задачи непосредственного запоминания признаков дешифрируемых объектов зависят как от числа признаков N, так и от числа градаций каждого признака n. Признаками объектов могут являться контуры, площади, изобра-

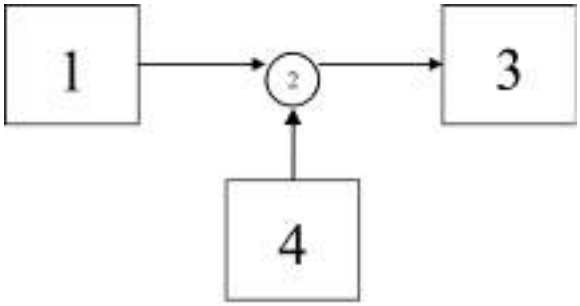

Рис. 1. Простейшая структурная схема канала передачи информации
1 – источник информации; 2 – передающая система;
3 – система приема информации; 4 – источник помех

жения отдельных деталей и т.п. Если число признаков и число градаций фиксировано, а появление их равновероятно, то сложность задач восприятия можно определить формулой [2, 3]:

$$R = \sum_{i=1}^{k} N_i \log_2 n_i \,, \tag{1}$$

где N_i – число признаков с числом градаций n_i каждого признака; k – число признаков с различным числом градаций.

Зная сложность задачи, которая возлагается на оператора, можно установить время t, необходимое для выполнения задачи сложностью R: $t = \dfrac{R}{v_i}$, где v_i – скорость выполнения задачи восприятия i-го типа. Параметры N_i, n измеряются в битах, а v – в битах на секунду.

Помимо восприятия и анализа признаков образа объекта дешифровщику необходимо анализировать координаты объекта x, y на изображении, чтобы определить местоположение на местности.

Координаты положения объекта поступают на систему отображения с ошибкой. Допустим, что ошибка имеет нормальное распределение с параметрами m_Δ и σ_Δ, причем ошибка Δ не зависит от x. Рассмотрим результат измерения одной пространственной декартовой координаты x. Случайная величина $z_x = x + \Delta$ – результат измерения. Определим, сколько информации о величине x содержит наблюдение z_x. Полная взаимная информация в x и z_x равна

$$I(x, z_x) = \mathrm{M}\left\{\log_2 \frac{f(x, z_x)}{f(x) f(z_x)}\right\}, \tag{2}$$

где $f(x, z_x)$ – совместная плотность распределения с.в. x и z_x. Определим ее как $f(x, z_x) = f(x) f(x/z_x)$. Тогда

$$I(x, z_x) = \mathrm{M}\left\{\log_2 \frac{f(z_x/x)}{f(z_x)}\right\}, \tag{3}$$

Случайные величины x и Δ независимы, поэтому:

$$f(z_x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_\Delta^2}} e^{-\frac{\left[z_x - (m_x + m_\Delta)\right]^2}{2(\sigma_x^2 + \sigma_\Delta^2)}} \,, \tag{4}$$

$$f(z_x/x) = \frac{1}{\sigma_\Delta \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(z_x - m_\Delta)^2}{2\sigma_\Delta}} \,. \tag{5}$$

Таким образом, взаимная информация:

$$I(x, z_x) = \mathrm{M}\left\{\log_2 \frac{\sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_\Delta^2}}{\sigma_\Delta} + \left[\frac{\left[z_x - (m_x + m_\Delta)\right]^2}{2(\sigma_x^2 + \sigma_\Delta^2)} - \right.\right.$$

$$\left.\left. - \frac{(\Delta - m_\Delta)^2}{2\sigma_\Delta^2}\right] \log_2 e\right\} = \log_2 \frac{\sigma_z}{\sigma_\Delta} + \left[\frac{\mathrm{M}\left[\left(\overset{0}{z}\right)_x^2\right]}{2\sigma_z^2} + \frac{\mathrm{M}\left[\left(\overset{0}{\Delta}\right)^2\right]}{2\sigma_\Delta^2}\right] \log_2 e \,, \tag{6}$$

где $\sigma_z = \sigma_x + \sigma_\Delta$ – среднеквадратическое отклонение наблюдения z_x; $M\left[\left(\overset{0}{z}\right)_x^2\right]$, $M\left[\left(\overset{0}{\Delta}\right)^2\right]$ – дисперсии; $\overset{0}{z}_z = z_x - (m_x + m_\Delta)$, $\overset{0}{\Delta} = \Delta - m_\Delta$ – централизованные случайные величины.

Учитывая, что $M\left[\left(\overset{0}{z}\right)_x^2\right] = \sigma_z^2$, $\mathrm{M}\left[\left(\overset{0}{\Delta}\right)^2\right] = \sigma_\Delta^2$, получаем

$$I(x, z_x) = \log_2\left(1 + \frac{\sigma_x}{\sigma_\Delta}\right) = \log_2 \frac{\sigma_z}{\sigma_\Delta} \,. \tag{7}$$

Это означает, что количество информации (о координатах объектов, поступающих на систему отображения с ошибкой, распределенной по нормальному закону), которая содержится в результате измерения (опре-

деления) оператором координат объекта с ошибкой восприятия, распределенной по нормальному закону, не зависит от математического ожидания. Количество информации зависит лишь от среднеквадратического отклонения.

Количество информации, которое получает оператор, определяя координаты объекта, можно найти другим способом. Количество информации, содержащейся в изображении, определяется следующим образом:

$$I = \log_2 \frac{P_1}{P_2}, \tag{8}$$

где P_1 – вероятность появления данного события после приема сообщения, P_2 – вероятность появления данного события до приема сообщения.

Так как до начала прихода информации оператору неизвестно, где расположен объект, т.е. любое из N его возможных положений равновероятно, в данном случае $P_2 = \frac{1}{N}$. Вероятность P_1 можно определить как

$$P_1 = \lim_{n \to \infty} \frac{m}{n}, \tag{9}$$

где n – число проведенных экспериментов по определению положения объекта на экране, m – число безошибочных ответов. При достаточно большом n можно считать, что эта вероятность равна $\frac{m}{n}$, тогда

$$I = \log_2 \frac{mN}{n}. \tag{10}$$

Перечисленными выше способами можно определить количество информации, которое получает оператор при считывании координат объекта с экрана монитора. Отсюда, зная пропускную способность оператора, всегда можно определить число объектов, которое следует направлять в систему отображения для обработки.

В простейшем случае информационная емкость I определяется максимальным количеством возможных дискретных состояний систем [4];

$$I = \log_2 A, \tag{11}$$

$$A = b^a, \tag{12}$$

где A – максимальное число возможных состояний системы, обеспечивающей a независимых отчетов при b устойчивых состояниях в каждом отсчете.

Учитывая соотношение (12), получаем

$$I = b \log_2 a. \tag{13}$$

Информационная емкость отражает в логарифмическом масштабе максимальное число различных состояний, которое может зафиксировать данная ОЭС. Для оценки качества фотографического изображения b – предельно разрешаемое число элементов на единице площади изображения, a – количество передаваемых градаций яркости (полутонов) в изображении.

Для количественной оценки числа элементов, разрешаемых на площади кадра (b), используются специальные двухмерные миры абсолютного контраста (рис.

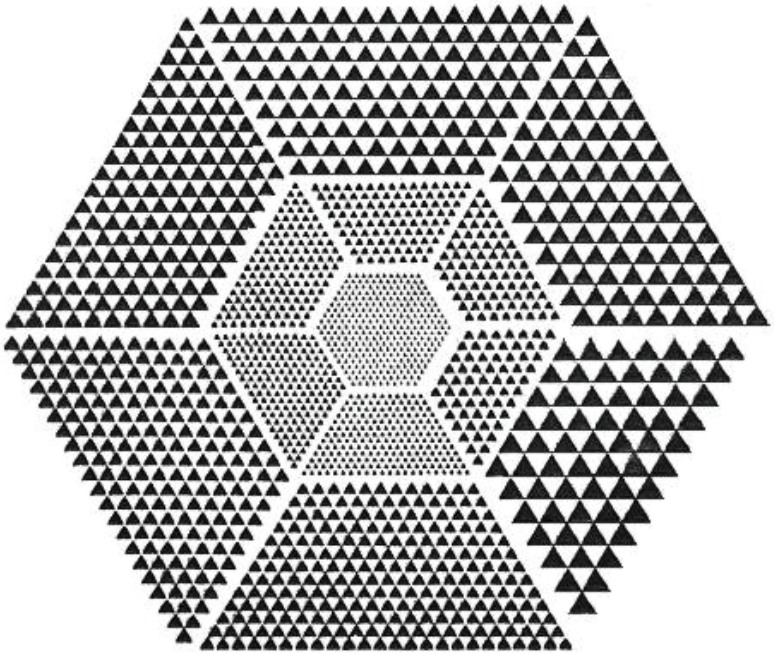

Рис. 2. Двухмерная треугольная мира И. Чёрного

2), такие как разработанная в 1969 году И. Н. Чёрным треугольная мира, элементы которой имеют форму равносторонних треугольников с периодом в две высоты треугольников.

Выбор треугольных элементов обусловлен тем, что лишь они в предельных случаях сохраняют пространственную решётку, в то время как иные миры (шахматная, шестиугольная и т.д.) в пределе приводятся к одномерным штриховым мирам. Кроме того, двухмерная мира, элементы которой имеют форму равностороннего треугольника, наиболее полно отражает реальные объекты фотографирования, характеризуемые в общем случае различными периодами изменений входного сигнала в меридиональном и сагиттальном направлениях.

При расчете информационной емкости по формуле (13) не учитываются семантические (смысловые) аспекты передаваемой информации, учитывается лишь тот факт, что передаваемое сообщение выбрано из некоторого множества возможных сообщений. Рассматриваемая ОЭС должна быть спроектирована так, чтобы ее можно было использовать для передачи любого сообщения из данного множества, а не только того, которое будет в действительности передано, поскольку результат выбора еще неизвестен в момент проектирования. Таким образом, теория информации не учитывает конкретного смыслового содержания передаваемой информации, а оперирует только количественными математическими представлениями, связанными с количеством возможных различных состояний системы. Чем больше различных состояний может обеспечивать система, тем больше её информационная емкость.

При расчетах по формулам (11–13) необходимо учитывать следующие допущения [4]:

1. Канал передачи информации включает в себя только линейные звенья.

2. Сигналы и шумы представлены эргодическими стационарными случайными процессами с нормальным распределением вероятностей.

3. Спектры сигналов и шумов равномерные.

4. Сигналы и шумы ограничены по средней мощности и не ограничены по пиковой мощности.

5. Шумы системы отвечают условно аддитивности, т.е статистически не зависят от сигналов.

6. Источник сообщений осуществляет оптимальное кодирование.

7. В качестве получателя информации используется идеальный приемник, который выполняет оптимальное декодирование сигналов и не обладает собственными шумами.

Таким образом, рассмотрены возможность применения способа оценки ЦОЭС на основе критерия информационной емкости. Описаны способы определения количество информации, которое получает оператор при считывании координат объекта с экрана монитора. Пропускная способность системы определяется числом объектов, которое направляется в систему отображения для обработки. Рассматриваемая ЦОЭС должна быть спроектирована так, чтобы ее можно было использовать для передачи любого сообщения из данного множества, а не только того, которое будет в действительности передано, поскольку результат выбора еще неизвестен в момент проектирования. Теория информации не учитывает конкретного смыслового содержания передаваемой информации, а оперирует только количественными математическими представлениями, связанными с количеством возможных различных состояний системы. Чем больше различных состояний может обеспечивать система, тем больше её информационная емкость.

Литература

1. Молчанов, А. С. Оценка оптико-электронных систем воздушной разведки на основе критерия информационной емкости / А.С. Молчанов, И.В. Шорсткий, Ю.Г. Веселов // Материалы XI Всероссийской научно-технической конференции «Научные чтения по авиации, посвященные памяти проф. Н.Е. Жуковского»: Сборник докладов. – М.: Издательский дом Академия имени проф. Н. Е. Жуковского, 2015. – С. 510–513.

2. Калинин, А. Б. Исследование передающих трубок с полупроводниковыми накопителями в режиме импульсного экспонирования / А.Б. Калинин, В.С. Гузеев, Г.Н. Грязин // Техника средств связи. Сер. Техника телевидения. – 1979. – Вып. 2. – С. 79–84.

3. Труфанов, И. В. Определение количества информации, воспринимаемой оператором / И.В. Труфанов // Научные труды Иркутского ВАИИ. – 2002. – Вып. 4. – С. 56–60.

4. Шеннон, К. Работы по теории информации и кибернетике / К. Шеннон. – М.: ИИЛ, 1963. – 422 с.

Военные сетевые цифровые технологии ВС РФ нового облика и эпоха цифровой экономики России

Часть 1. Актуальность и основные задачи военных сетевых цифровых технологий

Military network digital technologies of Russian Armed Forces of the new appearance and era of digital economy of Russia.

Part 1. Relevance and main tasks of military network digital technologies

Чаднов / Chadnov A.
Александр Павлович
(chadap@yandex.ru)
ФГКВОУ ВО «Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного» МО РФ (ВАС им. С. М. Буденого),
старший научный сотрудник.
г. Санкт-Петербург

Гель / Gel V.
Валентин Эдуардович
(gel@rambler.ru)
кандидат военных наук, доцент.
ВАС им. С. М. Буденного,
начальник НИЦ.
г. Санкт-Петербург

Гудков / Gudkov M.
Михаил Александрович
(michailgudkov82@mail.ru)
кандидат технических наук.
ВАС им. С. М. Буденного,
начальник отдела НИЦ.
г. Санкт-Петербург

Лидерство в военных сетевых цифровых технологиях ВС РФ – основа гарантии национальной безопасности, обороны и технологического суверенитета России.

Ключевые слова: военные сетевые цифровые технологии ВС РФ – military network digital technologies of Russian Armed Forces; высокотехнологические системы и комплексы ВВСТ нового поколения – high-tech systems and AWT complexes of new generation; сетевые войны – network wars; цифровая экономика – digital economy; единое информационное пространство АСУ ВС РФ – common information space of ACS of Russian Armed Forces.

Представлена первая часть материалов по военным сетевым цифровым технологиям ВС РФ нового облика эпохи цифровой экономики России и сетевых войнах "будущего". В статье определены принципиальные особенности эпохи цифровой экономики России, выявлена актуальность перехода ВС РФ на военные сетевые цифровые технологии. В последующих статьях планируется осветить роль данных технологий в строительстве и развитии ВС РФ и инновационные подходы к их разработке.

The first part of materials on military network digital technologies of Russian Armed Forces of a new appearance of an era of digital economy of Russia and network wars of 'future' is provided. Basic features of an era of digital economy of Russia are defined, the relevance of transition of Russian Armed Forces to military network digital technologies is revealed in article. In the subsequent articles, it is going to cover a role of these technologies in construction and development of Russian Armed Forces and the innovation approaches to their development.

Принципиальная особенность эпохи цифровой экономики как нового технологического уклада развития России

Технологически развитые державы, развивая и продвигая качественно новые сетевые цифровые технологии, крайне заинтересованы в достижении «преимуществ и преференций» в различных сферах и видах деятельности (особенно, в военной сфере). А ведущие фирмы этих стран стремятся закрепиться в уходящем пятом «технологическом укладе» и завоевать в жёсткой конкурентной борьбе лидирующие позиции в следующем шестом «технологическом укладе» [1] (в России «эпоха цифровой экономики», в некоторых американских источниках «информационная эпоха») [2,3].

Как ожидается, при сохранении нынешних темпов технико-экономического развития в наиболее технологически развитых странах этап цифровой экономики будет сформирован в 2016–2025 годах, а в фазу зрелости вступит в 2040 годы.

Эволюционный переход к эпохе цифровой экономики России, как любая смена технологических укладов, характеризуется некоторыми особенностями и отличительными чертами.

В частности, к таким особенностям следует отнести применение новой формулы "наука, сетевые цифровые технологии и системы нового поколения" философии эпохи цифровой экономики. Данная формула в обобщённой форме выражает сущность (фундаментальные идеи и тенденции) итеративного процесса инновационного создания (разработки и производства) систем (комплексов) нового поколения на основе данных технологий и принципиально отличается от формулы "наука и техника" [4] философии предшествующего уклада.

Раскрывая некоторые составляющие новой формулы философии эпохи цифровой экономики можно пояснить следующее.

1) исходя из цели по обеспечению безусловного лидерства России в наступающем технологическом укладе, поставленной Президентом РФ В. В. Путиным на встрече с академиками РАН [5], к основным задачам российской науки эпохи цифровой экономики следует отнести:

– выработка научно-обоснованных идей, формирование передовых научных знаний и систематизации их в теории познания;

– применение научных знаний в инновационных сетевых цифровых технологиях с созданием перспективных научно-технологических продуктов данных технологий;

– подготовка научно-технологических заделов на основе научно-технологических продуктов данных технологий;

– методическое руководство внедрением инновационных сетевых технологий в промышленность и авторский контроль реализации и производства промышленных изделий на базе этих научно-технологических продуктов;

– обучение передовым знаниям и перспективным сетевым цифровым технологиям, реализуемых в промышленных изделиях систем и комплексов нового поколения.

Эффективность и основные показатели российской науки эпохи цифровой экономики должны определяться не количеством научных и образовательных организаций, не численностью в них учёных и не количеством выполненных ими научных трудов (диссертаций), а результатами выполнения задач и достижением поставленной цели.

2) основываясь на задачах перехода к цифровой экономике, намеченных в программе «Цифровая экономика Российской Федерации» [6], отметим некоторые особенности сетевых цифровых технологий данного технологического уклада:

– главным активом сетевых цифровых технологий являются информационные ресурсы, которые формируются, подвергаются обработке и хранению, подлежат обмену для получения своевременной, достоверной и защищённой информации на основе цифровых данных и новых методов цифровой обработки комплексных сигналов;

– создание совокупности сетевых цифровых технологий (аддитивных, природоподобных, технологий на новых физических принципах, военных технологий, сквозных технологий, охватывающих различные сферы общества и др.) путем применения инновационных подходов и конвергенции науки, образования и промышленности;

– применение и функционирования сетевых цифровых технологий на основе общей инфотелекоммуникационной инфраструктуры с формированием в перспективе единого информационного пространства (ЕИП) [7] страны.

Применение качественно новых сетевых цифровых технологий эпохи цифровой экономики позволит создать базис принципиально иной организации государственного управления и решать в совокупности военные и социальные вопросы. Отставание перехода в этот технологический уклад является одной из причин прямого негативного воздействия на обеспечение национальной безопасности и обороны РФ [8].

Основные направления и особенности технологизации ВС США в рамках концепций «сетецентрических» войн

Одним из ведущих подходов в строительстве современных ВС США и стран НАТО является интенсивное развитие и широкое применение новых военных сетевых технологий для разработки систем и комплексов вооружений нового поколения с поддержкой «сетецентри-

Примечание: Под термином технологический уклад на современном этапе развития цивили-зации понимается совокупность передовых научных направлений и апробированных сетевых системно-технологических решений, обеспечивающих переход человечества на качественно новый уровень развития.

ческих» войн (network-centric warfare) [2, 3] "будущего" на их основе.

В соответствии с концепциями ведения «сетецентрических» войн, принятых в этих странах, и с внедрением соответствующих технологий происходит всесторонняя технологизация процессов всех сфер военных и боевых действий и видов деятельности органов военного управления ВС США. Специфика таких подходов – всесторонняя корреляция военных сетевых технологий и концепций «сетецентрических» войн "будущего". В ряде английских источниках [3, 9] используются равнозначные термины сетевые или сетеориентированные технологии (networking, networked-enabled, or networked-focused technologies).

Особенность взаимосвязи данных технологий и вышеуказанных концепций – создание глобальной военной информационной инфраструктуры с формированием всеобщего цифрового информационного пространства (киберпространства, «cyberspace») ВС США.

На основании данной концепции для поддержки сетецентрических возможностей (net-centric capabilities) в США происходит коррекция и перевыпуск ряда боевых уставов ВС, например, издание в редакции 2014 года боевого устава «Обеспечение связью в операциях» [9].

Актуальность перехода ВС РФ на военные сетевые цифровые технологии

Актуальность перехода ВС РФ на военные сетевые цифровые технологии эпохи цифровой экономики и сетевых войнах "будущего" обусловлено следующими факторами:

– действиями вероятного противника по реализации концепций «сетецентрических» войн и целесообразностью применения альтернативных инновационных подходов, асимметричным данным концепциям [10];

– задачами, поставленными в военной доктрине РФ, по оснащению ВС РФ перспективными высокотехнологическими образцами ВВСТ и формированию комплекса приоритетных базовых и критических военных технологий, обеспечивающих не только создание, но и боевое применение высокотехнологических промышленных изделий систем и комплексов ВВСТ;

– тенденциями развития качественно новых военных сетевых цифровых технологий ВС РФ и целесообразностью технологизации на их основе процессов военных и боевых действий, различных видов деятельности центральных органов управления военного (ОВУ), органов видов и родов ВС РФ;

– необходимостью гармонизации высокотехнологичных систем и комплексов оружия, разведки, управления, связи, навигации, РЭБ и видов обеспечения видов и родов ВС РФ в рамках ЕИП АСУ ВС РФ и его боевых информационных полей;

– целесообразностью формирования и обеспечения функционирования ЕИП АСУ ВС РФ на основе функционально общей для всех видов, родов и различных воинских формирований ВС страны гибкой инфотелекоммуникационной инфраструктуры сетей нового поколения перспективной системы связи ВС РФ;

– переходом на использование услуг "присоединения" перспективной интегрированной сети связи (ИСС) РФ, оперативно организуемой (выделяемой) для нужд обороны страны, безопасности государства и обеспечения правопорядка без использования иностранных аппаратно-программных средств и сетей иностранных государств [11].

– необходимостью целенаправленной организации НИОКР с концентрацией потенциальных ресурсов страны (научных, образовательных, промышленных и других) на обеспечение импортозамещения и инновационного развития отечественных военных сетевых цифровых технологий. Цель такой организации НИОКР противодействие санкциям и проведение адекватных действий "технологическим и информационным войнам", развёрнутых США и странами ЕС против нашей страны.

Методологические аспекты современного понятия «технология»

Непротиворечивое, разделяемое всеми заинтересованными специалистами, взаимопонимание сущности, роли и места новых военных сетевых цифровых технологий приобретает существенное значение в процессе строительства и развития боеспособных и мобильных ВС нашей страны.

Технология – сложное и многозначное понятие. Само слово имеет греческие корни и в буквальном смысле означает «наука о мастерстве, искусстве». В большинстве определений данного термина, приведённых в различных советских энциклопедиях, помимо ориентации на определённые знания, связанные с производством, имеет более или менее ярко выраженный "производственный" уклон.

В современном значении в понятие "технология" вкладывается гораздо более широкий смысл. Технологии проникают в различные сферы человеческой деятельности, используются не только в промышленном производстве материальных объектов (например, аддитивные технологии), но и в видах деятельности, связанных с нематериальными объектами, например технологии образовательных услуг, технологии медицинских услуг, технологии организации и предоставления услуг связи и другие.

Многообразие видов систем и комплексов ВВСТ, специфика их типов и зависимость от них технологических аспектов не позволяет дать общее определение понятия "технология". С целью применения единого методологического подхода к определению технологий для конкретных типов систем и комплексов ВВСТ с общих позиций можно привести следующее определение данного понятия.

Технологию в современном аналитическом понимании можно представить, как совокупность средств

и методов их применения в определённой среде для воздействия на объекты и процессы в какой-либо сфере общества и виде деятельности с целью достижения необходимых результатов. Типы средств и соответствующие им методы, используемые в технологии, во многом зависят от типов объектов и процессов видов деятельности соответствующей сферы.

В пояснение терминов, используемых в вышеуказанном определении технологии, можно привести следующее:

– средства воздействия на объекты, например научные, информационные, программные, аппаратные или совмещённые: аппаратно-программные комплексы;

– методы применения средств воздействия и знания о них (метазнания), как правило, имеют ярко выраженный нематериальный характер;

– среда исполнения, например определённые сети связи, системы и комплексы оружия;

– сферы общества: социальная, экономическая, политическая, военная, духовная;

– виды деятельности, например научная деятельность, научно-техническая деятельность, конструкторская деятельность, деятельность по разработке программных продуктов, военные и боевые действия, опытное и промышленное производство;

– сферы действий, например военные и боевые действия, опытное и промышленное производство;

– материальные объекты, например сырье, материалы и полуфабрикаты промышленного производства, т.е. все, что составляет материально-вещественные ресурсы;

– нематериальные объекты, например информационные ресурсы и услуги, ресурсы и услуги связи, финансовые ресурсы и услуги;

– процессы, например процессы разработки, моделирования, проектирования, производства (изготовления) и обработки;

– результаты, например инновационные продукты научной (или научно-технической) деятельности, опытные образцы и версии программных продуктов как результаты соответствующих опытно-конструкторских работ, промышленные изделия как результаты производственной деятельности.

Базовые и критические военные технологии России

Технологии независимо от их применения (военные, гражданские или технологии двойного назначения) и используемых в этих технологиях передовых научных знаний в существующих нормативных документах [12] подразделяется на базовые и критические технологии.

Обеспечение "прорывных" решений принципиально новых задач, поддержка существенного возрастания возможностей систем и комплексов ВВСТ и снижения издержек на их боевое применение основное предназначение критических военных технологий.

В зависимости от целей и задач государства, состав и приоритетность создания и развития базовых и критических технологий непрерывно уточняется, а соответствующие государственные программы, при необходимости, корректируются.

Одобренные решением коллегии Военно-промышленной комиссии РФ от 25 мая 2016 года [13] "Перечень базовых и критических военных технологий на период до 2025 года" включает 9 базовых, 48 критических и 330 военных технологий, а "Перечень приоритетных направлений фундаментальных, прогнозных и поисковых исследований" включает 11 научных направлений, 56 поднаправлений и 718 направлений.

Типизация и основные задачи военных сетевых цифровых технологий

Военные сетевые цифровые технологии по времени их возможной практической реализации, срокам поставки и оснащения ими ВС, а также с учётом задач этапа цифровой экономики можно разделить на следующие типы:

– современные (действующие в настоящее время) военные технологии;

– военные сетевые цифровые технологии среднесрочной и долгосрочной перспективы, основанные на наукоёмких "прорывных" решениях и инновационных подходах.

В настоящее время на базе действующих военных технологий в соответствии с государственным оборонным заказом разрабатываются (или модернизируются), производятся и поставляются в ВС РФ промышленные изделия (образцы) ВВСТ. Основное предназначение данных технологий это поддержка выполнения задач по текущему переоснащению ВС РФ промышленными изделиями систем и комплексов ВВСТ.

К основным задачам военных сетевых цифровых технологий среднесрочной перспективы, исходя из сложившегося в стране положения в научно-технической видах деятельности и в промышленности, следует отнести:

– ликвидация в некоторых сферах технологического отставания от вероятного противника путём координации научного и образовательного потенциала страны и эволюционно-модернизационного развития технологической базы оборонно-промышленной комплекса;

– проведение работ по импортозамещению для высокотехнологичных систем и комплексов ВВСТ;

– закрепление на достигнутых передовых позициях уходящего пятого технологического уклада;

– уточнение (при необходимости) возможных "прорывных" решений в направлениях базовых и критических военных сетевых цифровых технологий;

– формирование фондов научно-технологических и промышленных заделов ВВСТ для наступающего этапа цифровой экономики.

На данном этапе развития страны к особенностям реализации военных сетевых цифровых технологий среднесрочной перспективы можно отнести:

– ориентация на создание высокотехнологических систем и комплексов ВВСТ нового поколения с тактико-техническими характеристиками, существенно превосходящими показатели не только предшествующих поколений, но и показатели аналогичных систем и комплексов вероятного противника;

– применение методов "прототипирования" с целью ускоренной ликвидации (имеющего или возможного) технологического отставания.

Применение методов "прототипирования" позволит не только освоить передовые достижения прогрессивных сетевых цифровых технологий (военных и гражданских) аналогичного "прототипа", доработать и апробировать их в соответствии с военными требованиями, но и на базе усовершенствованной таким образом военной сетевой цифровой технологии производить конкурентоспособные высокотехнологические промышленные изделия ВВСТ и стать в этом лидером.

Основные направления военных сетевых цифровых технологий долгосрочной перспективы – определяются открытиями и синтезом достижений по следующим ключевым позициям [14]:

– природоподобные технологии;

– биотехнологии, нанотехнологии и новые физические принципы и материалы;

– новые инфотелекоммуникационные технологии с применением квантовых, когнитивных и адаптивных технологических решений, методов виртуальной и дополненной реальности;

– фотоника, микромеханика и робототехника;

– генная инженерия, термоядерная энергетика.

Завоевание лидирующих позиций в наступающем глобальном этапе цифровой экономики по ключевым направлениям создания высокотехнологических систем и комплексов ВВСТ нового поколения должно стать основной задачей военных сетевых цифровых технологий долгосрочной перспективы.

Литература

1. Послание Президента РФ Федеральному Собранию 1 декабря 2016 г. [Электронный ресурс] // Сайт Администрации Президента Российской Федерации, 2016. – Режим доступа: http://kremlin.ru/events/president/news/53379, свободный. – Загл. с экрана.

2. The Implementation of Network-Centric Warfare. Force Transformation, Office of the Secretary of Defense,1000 Defense Pentagon, Washington, DC,20301-1000. 05 JAN 2005. – 76 p.

3. Field Manual No. 3-0 (FM 3-0). OPERATIONS. Headquarters Department of the Army Washington, DC, 27 February 2008. – 220 p.

4. Розов, М. А. Философия науки и техники / М.А. Розов, В.Г. Горохов, В.С. Степин. – Гардарики, 1996. – 758 с..

5. Встреча с академиками Российской академии наук 22 июня 2017 года [Электронный ресурс] // Сайт Администрации Президента Российской Федерации, 2017. – Режим доступа: http://kremlin.ru/events/president/news/54854, свободный. – Загл. с экрана.

6. Заседание Совета по стратегическому развитию и приоритетным проектам. 05 июля 2017 года [Электронный ресурс] // Сайт Администрации Президента Российской Федерации, 2017. – Режим доступа: http://kremlin.ru/events/president/news/54983, свободный. – Загл. с экрана.

7. Концепция формирования и развития единого информационного пространства России и соответствующих государственных информационных ресурсов. Одобрена решением Президента Российской Федерации от 23 ноября 1995г. N Пр-1694. – 19 с.

8. Стратегия национальной безопасности Российской Федерации. Утверждена Указом Президента Российской Федерации от 31 декабря 2015 г. N 683. – 18 с.

9. Field Manual No. 6-02 (FM 6-02). SIGNAL SUPPORT TO OPERATIONS. Headquarters Department of the Army Washington, DC, 22 January 2014. – 68 p.

Общие проблемы обеспечения информационной безопасности государства в современном социуме

Common problems of ensuring information security of the state in modern society

Грачев / Grachev A.
Александр Сергеевич
(gralse@mail.ru)
ФГБОУ ВО «Московский технологический университет» (Институт комплексной безопасности и специального приборостроения),
старший преподаватель.
г. Москва

Лазунин / Lasunin K.
Константин Александрович
(07121917@mail.ru)
ФГБОУ ВО «Московский технологический университет» (Институт комплексной безопасности и специального приборостроения),
аспирант.
г. Москва

Кортнев / Kortnev A.
Андрей Александрович
(kortnev.udp@gmail.com)
АО «Федеральный центр науки и высоких технологий «СНПО «Элерон»,
руководитель.
г. Москва

Ключевые слова: национальная безопасность – national security; защита информации – protection of information; информационная безопасность – information security.

В данной статье рассмотрены проблемы обеспечения информационной безопасности в современном социуме. Проведен анализ доктрины информационной безопасности и стратегии развития информационного общества Российской Федерации, с учетом положений Конституции Российской Федерации. Приведены примеры навязывания и необходимости участникам информационной системы Российской Федерации использования зарубежных программно-аппаратных технологий, ввиду отсутствия отечественных аналогов. Необходимость совершенствования профессионального кадрового потенциала в области информационной безопасности и общей компьютерной грамотности граждан Российской Федерации. Рассмотрена проблематика доверенных средств защиты информации и средств криптографической защиты информации в условиях импортозамещения. Выявлена и обоснована потребность в развитии нормативно-правовой базы по регулированию и противодействию новым вызовам и угрозам национальной безопасности.

In this article, problems of the ensuring information security (EIS) in modern society are considered. The analysis of the doctrine of information security and the development strategy of information society of the Russian Federation, taking into account provisions of the Constitution of the Russian Federation is carried out. Examples of imposing to participants of an information system of the Russian Federation of use of foreign hardware-software technologies, in a type of lack of domestic analogs are given. Need of improvement of professional personnel potential in the field of information security and the general computer literacy of citizens of the Russian Federation. The perspective of the entrusted means of information protection and means of cryptographic information security, in the conditions of import substitution is considered. The need for development of normative and legal base on regulation and counteraction to new calls and threats of national security is revealed and proved.

Состояние развития информационной безопасности [1] государства в современном социуме подразумевает защищенность ее национальных интересов в информационной сфере, определяющихся совокупностью сбалансированных интересов личности, общества и государства [4]. Информационно-техническая составляющая информационной сферы [1] подразумевает использование сети глобального международного обмена интернет.

Расширение областей использования информационных технологий, являясь позитивным фактором для развития экономики и совершенствования функционирования общественных и государственных институтов, одновременно порождает новые вызовы и угрозы

национальной безопасности. Это обусловлено усиливающейся тенденцией к использованию возможностей трансграничного оборота информации в информационном пространстве для достижения геополитических, военно-политических и иных целей в ущерб международной безопасности и стратегической стабильности, а также использованием информационных технологий в террористических, криминальных и иных противоправных целях [4]. В качестве примера можно привести средства криптографической защиты информации на устройствах с недоверенными операционными системами (ОС) на недоверенной аппаратной платформе для использования гражданами Российской Федерации, являющимися участниками информационного общества, в качестве личного конфиденциального информационного обмена.

Ярким примером является внедрением агентства национальной безопасности (АНБ) закладки в генератор псевдослучайных чисел, для совершения преступлений, в том числе связанных с неправомерным доступом к компьютерной информации, с созданием, использованием и распространением вредоносных компьютерных программ. В подтверждении данного факта, данный генератор "от АНБ" был так же сертифицирован в национальном институте стандартов и технологий (НИСТ) США [8].

Следует отметить, что в задачи АНБ должны входить эффективная организация и управление разведывательной деятельностью Соединенных Штатов в области телекоммуникаций, проводимой против иностранных правительств, с целью обеспечения целостной и действительной политики и соответствующих мер для перехвата телекоммуникаций, кроме зарубежной прессы и радиовещания, и получения информации, предназначенной для приема другим получателем, но не исключает цензуру, а также подготовку и распространение полученной информации.

Особый характер деятельности электронной разведки АНБ требует, чтобы она во всех отношениях велась отдельно от другой или общей разведывательной деятельности. Приказы, директивы, указания или рекомендации любого органа исполнительной власти, касающегося сбора, получения, защиты, обработки, распространения или использования разведывательной информации, неприменимы в отношении действий электронной разведки, если это не оговорено особо, и документы не должны издаваться без разрешения представительства агентства, входящего в правительство. Другие директивы Национального совета безопасности директору центрального разведывательного управления (ЦРУ) и связанные директивы, изданные директором ЦРУ, не должны применяться к действиям электронной разведки, если это не будет специальная директива Национального совета безопасности, касающегося электронной разведки [3].

По имеющимся данным средств массовой информации (СМИ) от 5 июня 2015 года, есть статья о том, как США позволяли АНБ без судебного решения следить за всеми международными интернет-коммуникациями американцев. Об этом пишет газета "Нью-Йорк таймс" со ссылкой на документы, переданные бывшим сотрудником спецслужбы Эдвардом Сноуденом. В материалах говориться, что в слежке за интернет-трафиком АНБ существенно превышало свои полномочия. Минюст США выдал разрешение только на мониторинг ресурсов, которые пытались взломать из-за рубежа. Агентство же выбирало цели по своему усмотрению и собирало огромные объемы данных американцев, начиная с личных писем до информации по коммерческим сделкам.

Мы можем сделать вывод о том, что общественные отношения, возникающие внутри социума в информационной сфере, определяют применения аппаратной и программной составляющей технических средств, в которой предполагается присутствие компонентов представляющих угрозу.

1. Средства защиты информации (СЗИ) и средства криптографической защиты информации (СКЗИ), как неотъемлемая часть развития информационного общества Российской Федерации.

Современные реалии говорят нам о том, что многие объекты не смогут должным образом функционировать без информационного взаимодействия с внешней средой. Крупное предприятие проблематично контролировать и обслуживать, поэтому многие административные и обслуживающие операции приходится осуществлять по удаленному доступу, что порождает массу проблем, связанных с обеспечением информационной безопасности (ОИБ).

Существует множество разработок СЗИ и СКЗИ для обеспечения безопасности информации в коммерческих целях, что в свою очередь может привести к подрыву как коммерческого сектора, так и позволит повлиять на безопасность государства. Одним из основных негативных факторов, влияющих на состояние информационной безопасности Российской Федерации, является наращивание ведущими зарубежными странами возможностей по информационно-техническому воздействию на информационную инфраструктуру для достижения своих военных целях [4].

Стоит обратить особое внимание на формирование нового подхода по рассмотрению данной проблематики, который предполагает использование недоверенной технической составляющей в информационной системе, а именно: аппаратную платформу, ПО, ОС, автоматизированную систему без подключения к глобальной международной сети интернет, однако за счет потери решения одной из основных задач о необходимости по взаимодействию между субъектами информационного поля государства. Текущее развитие инфраструктуры информационных технологий в Российской Федерации и в мире говорит о наращивании "облачных" технологий, которые в свою очередь приводят к невозможности использования в том числе и технологий межсетевого экранирования, а также систем виртуализации при

простых настройках. В таких условиях работы виртуализации невозможно осуществить категорирование систем. Это приводит к сложности работы информационной системы.

Возникает потребность объектов взаимодействия в обеспечении конфиденциальности информации. Существуют требования законодательной базы Российской Федерации о применении СКЗИ после прохождения соответствующих сертификационных испытаний в соответствии с законодательством. Одним из основных законодателей СКЗИ и работы криптографических алгоритмов является ФСБ России. Стоит поднять вопрос о внедрении отечественной доверенной аппаратной и программной среды разработок в коммерческий сектор и критически важных объектов.

2. Нехватка квалифицированного кадрового состава.

Вопросами ОИБ должен заниматься специалист по защите информации. Одной из проблем в ОИБ является человеческий фактор, стоит обратить на это внимание. Используя автоматизированные системы, подразумевающие участие человека, который, в свою очередь, является звеном, на которое может быть оказано потенциальное воздействие с целью добычи необходимой информации, а именно неправомерное получение данной информации от участника информационного обмена. В качестве примера человеческого фактора можно привести, например, системного администратора базы данных, который будет склонен к продаже доверенной информации, либо воздействие на членов семьи участников информационного взаимодействия может повлечь за собой также утечку конфиденциальной информации.

Стоит отметить, что современные подходы к информационным технологиям подразумевают ОИБ при том, что руководители организаций доверяют не своим сотрудникам, прошедшим все этапы отбора вопросов собственной безопасности, а сотрудникам другой фирмы. Примером этому может являться навязывание одной из крупнейших компаний, использовавшую технологию немецкой компании системного анализа и разработки программ SAP, который в свою очередь используется совместно с крупнейшим производителем американской компании программного обеспечения системами управления баз данных Oracle.

При возникновении технических проблем данные компании привлекают для решения этих задач иностранных граждан, а именно свой персонал, что в свою очередь будет противоречить вопросов конфиденциальности. Мы не можем гарантировать того, что допущенный сотрудник иностранного государства, имея доступ к конфиденциальной информации, не создаст утечку конфиденциальной информации. Данная проблематика требует особого внимания по совершенствованию ОИБ, которая является неотъемлемой частью в вопросе обеспечения национальной безопасности государства.

3. Курс на импортозамещение.

Отсутствие доверенных средств защиты информации и средств криптографической защиты информации в условиях отсутствия импортозамещения:

– использование иностранного программного обеспечения (ПО) может повлечь за собой отсутствие исходного кода и возложенных на него функций;

– этап сопровождения отечественной продукции менее зависим от внешнеполитической обстановки;

– наличие недекларированных возможностей в аппаратных разработках иностранной продукции;

– существует вероятность аппаратно-программных закладок реализованных под конкретную сферу деятельности. Это говорит о необходимости конфиденциальной поставке продуктов субъектам информационной сферы.

На текущий момент на предприятиях используется недоверенные аппаратные и программные технические средства, которые представляют собой серьезную угрозу для безопасности Российской Федерации.

4. Совершенствование нормативно-правового поля в сфере информационных технологий.

Тема обеспечения безопасности информации граждан влечет за собой ряд вопросов по совершенствованию нормативно-правого обеспечения, отталкиваясь от конституции по защите прав граждан. Человек, его права и свободы являются высшей ценностью. Признание, соблюдение и защита прав и свобод человека и гражданина – обязанность государства [5]. Стоит обратить внимание на формирование политики информационной безопасности каждого субъекта информационной сферы, независимо коммерческого или государственного сектора. Для совершенствования безопасности необходимо пересмотреть ряд Федеральных Законов, таких как Федеральный Закон № 152 "О персональных данных", который стоит рассмотрения и доработки. Разработать Федеральный Закон "О служебной тайне". Актуальность совершенствования правового регулирования в сфере противодействия новым вызовам и угрозам национальной безопасности, их особенности, а также важная задача составляющая в обеспечении безопасности в современном мире и проблемы в вопросах борьбы с кибертерроризмом, отмечены бывшим директором ФСБ России, председателем национального антитеррористического комитета, секретарем Совета Безопасности Российской Федерации Н. П. Патрушевым [2].

Все государственные органы работают с документооборотом и в свою очередь защищены крайне плохо. На выездном совещании секретарь Совета безопасности Н. П. Патрушев отметил, что серьезную опасность представляет использование сотрудниками органами государственной власти регионов и местного самоуправления для решения служебных вопросов информационно-телекоммуникационных ресурсов, расположенных за пределами Российской Федерации. Например, сотрудниками государственной власти Хабаровского края использовались возможности целого ряда зарубежных информационно-телекоммуникационных сервисов таких как: google, yahoo, whatsapp и иных. Это является системным вопросом для всей России. В

информационных системах органов государственной власти обнаружены программные средства технических разведок [7].

Для решении данной проблемы необходим компромисс, который позволит поднять гражданский документооборот. Стоит пересмотреть нормативно-правовую базу, учитывая проблематику в государстве для обеспечения и совершенствования безопасности.

5. Недооценка угроз информационной безопасности государства.

К сожалению, многие специалисты ОИБ считают свои объекты достаточно защищенными от злонамеренных действий и не собираются выделять дополнительные затраты на ОИБ. Стоит снимать ответственность с организаций, занимающихся обеспечением защиты информации, в пользу государства, а именно формирование нестандартного подхода по обеспечению информационной безопасности. Ни для кого не секрет, что цель и задача любой коммерческой организации в повышении своего капитала и вопросы по совершенствованию и развитию сектора безопасности оказывается на втором плане. Только государство должно и может обеспечить защиту информации граждан Российской Федерации. Каждый гражданин Российской Федерации должен быть важен в целом. Не стоит забывать, что защита от вмешательства в частную жизнь, является задачей государства. Влияние на Российскую Федерацию через граждан иностранными спецслужбами по средствам внедрения технических средств влечет за собой угрозу Российской Федерации. В стратегию развития информационного общества в Российской Федерации входит обеспечение национальной безопасности в информационной сфере [6].

Применение своей доверенной программной реализации на недоверенной аппаратной платформе с использованием аппаратно реализуемых методов шифрования по ГОСТ позволит подойти к решению выше указанных проблем и стать одним из направлений по развитию целой области в вопросах защиты в условиях всего недоверенного. Стоит подойти к созданию доверенного ПО, а именно полной замене программного кода в случае использования недоверенного, на низком уровне восприятия команд процессора аппаратного устройства. При этом речь идет о создании ОС на низком уровне программирования и наращивании отраслевого потенциала государства, за счет отказа отсистемы автоматизированной разработки ПО всеми известными языками программирования.

Применение метода по формированию подхода обеспечения информационной безопасности с использованием доверенной отечественной аппаратной и программной среды является актуальным решением проблемы защиты информации в обеспечении национальной безопасности.

Литература

1. Масановец, В. В. Методы комплексного контроля безопасности информации на объектах телекоммуникационных систем органов государственного управления: Монография / В.В. Масановец, А.П. Фесун, О.Г. Никифоров ; под общей редакцией В.В. Масановца. – М.: Управление делами Президента Российской Федерации, 2009. – 368 с.

2. Патрушев, Н. П. Особенности современных вызовов и угроз национальной безопасности России / Н.П. Патрушев // Журнал российского права. – 2007. – № 7 (127). – С. 3–12.

3. Truman, H. Memorandum for: The Secretary of State, The Secretary of Defense / H. Truman. A 207075/4/54/OSO, NSA TS CONTL. NO 73-00405, 24 Oct 1952.

4. Указ Президента Российской Федерации от 05.12.2016 г. № 646 [Электронный ресурс] // Сайт Администрации Президента Российской Федерации, 2016. – Режим доступа: http://kremlin.ru/acts/bank/41460 , свободный. – Загл. с экрана.

5. Конституция Российской Федерации [Электронный ресурс] // Сайт Администрации Президента Российской Федерации, 1993. – Режим доступа: http://constitution.kremlin.ru, свободный. – Загл. с экрана.

6. Указ Президента Российской Федерации от 09.05.2017 г. № 203 [Электронный ресурс] // Сайт Администрации Президента Российской Федерации, 2017. – Режим доступа: http://kremlin.ru/acts/bank/41919, свободный. – Загл. с экрана.

7. Доклад секретаря Совета безопасности Патрушева Н. П. [Электронный ресурс] // Сайт ТАСС информационного агентства Российской Федерации, 2015. – Режим доступа: http://tass.ru/politika/2211260, свободный. – Загл. с экрана.

8. Специальная публикация о сертификации генератора случайных чисел (Special Publication 800-90A) [Электронный ресурс] // Сайт государственного национального института стандартов и технологий США, 2012. – Режим доступа: http://csrc.nist.gov/publications/nistpubs/800-90A/SP800-90A.pdf, свободный. – Загл. с экрана.

Определение степени достоверности отождествления одноименных точек стереопары снимков

Definition of degree of identification reliability of the points of the stereo shots homologue

Хрущ / Khrusch R.
Роман Михайлович
(Chrusch@rambler.ru)
кандидат технических наук, доцент.
ФГКВОУ ВО «Военно-космическая академия имени А. Ф. Можайского» (ВКА им. А. Ф. Можайского) МО РФ, профессор кафедры фототопографии и фотограмметрии.
г. Санкт-Петербург

Гринь / Grin A.
Александр Николаевич
(al-grin1@yandex.ru)
кандидат физико-математических наук, доцент.
ВКА им. А. Ф. Можайского,
профессор кафедры математики.
г. Санкт-Петербург

Соловьев / Soloviev A.
Алексей Владимирович
(solov19882008@mail.ru)
кандидат технических наук.
ВКА им. А. Ф. Можайского,
младший научный сотрудник 45 отдела военного института (научно-исследовательского) .
г. Санкт-Петербург

Ключевые слова: стереопара – stereo; одноименные точки – homologue; идентификация– identification, фильтрация – filtering; степень достоверности – reliability degree.

В статье изложен подход к повышению степени достоверности отождествления (идентификации) одноименных точек стереопары совершенствованием процедуры фильтрации (отбраковки) ошибочно отождествленных точек при их автоматической идентификации в целях фотограмметрической обработки.

In article approach to increase in degree of reliability of identification (identification) of the points of the stereo shots, homologue by improvement of the procedure of filtering (rejection) of mistakenly identified points at their automatic identification for photogrammetric processing is stated.

Фотограмметрические методы играют все большую роль в создании различных видов геопространственной информации, которая используется во многих областях человеческой деятельности. Это обусловлено тем, что за последние несколько десятков лет существенно расширились способы и средства получения первичной информации: на смену классической аэрофотосъемке пришла цифровая аэрофотосъемка, при съемке из космоса широко применяется оптико-электронная мультиспектральная (многозональная) съемка, внедряется гиперспектральная съемка, совершенствуется радиолокационная съемка, расширяется область использования лазерного сканирования – воздушное и наземное лазерное сканирование пополнилось мобильным лазерным сканированием. В последние годы активно используется съемка неметрическими цифровыми камерами с беспилотных летательных аппаратов. Однако самым важным, пожалуй, является то, что первичная информация поступает, как правило, в цифровой форме и фиксируется на магнитных носителях или поступает из космоса по радиоканалам. Все это создало предпосылки для повышения оперативности создания конечной продукции, что во многих случаях играет решающую роль при принятии решений на основе создаваемой геопространственной информации (чрезвычайные ситуации, природные и антропогенные катаклизмы, военное дело и т.п.).

Однако есть еще один весьма важный фактор, влияющий на оперативность создания конечной продукции – ускорение технологических процессов фотограмметрической обработки первичной информации. Это возможно только при самой высокой степени ее автоматизации, другими словами, это достижимо при автоматической обработке, которая предполагает исключение участия оператора из технологических процессов. Поэтому автоматизации фотограмметрической обработки

всегда придавалось и придается большое значение. При этом решающую роль при разработке автоматических технологий создания геопространственной информации играет учет ключевых факторов, влияющих на автоматизацию технологических процессов.

Автоматическая стереофотограмметрическая обработка, например, во многом зависит от качества идентификации (отождествления) одноименных точек снимков стереопары. Многочисленные способы идентификации одноименных точек не являются универсальными, и, пожалуй, самой важной задачей здесь является отбраковка (фильтрация) ошибочно отождествленных точек. Для этого общепризнанным является применение робастных методов, например метода RANSAC. Этот метод используется в различных модификациях, в том числе с использованием фундаментальной матрицы F при выполнении условия идеальной стереопары:

$$u^T F v = 0,$$

где через u и v обозначены пары координат одноименных точек на левом и правом снимках стереопары соответственно [3].

При фильтрации точек задается допуск γ:

$$u^T F v < \gamma,$$

зависящий от ошибок исходных данных (координат точек снимков).

Матрицу F определяют, как правило, используя 8-точечный алгоритм [4]. Для повышения достоверности фильтрации отождествленных точек с использованием метода RANSAC по выборке $\{u^{(j)}, v^{(j)}\}$ вычисляют совокупность фундаментальных матриц $\{F_i\}_{(i)}$. Из этой совокупности с учетом определенного критерия выбирают матрицу F', которая дает лучшие результаты. Однако при выборе критерия не учитывается степень достоверности отбраковки точек с использованием матрицы F', не учитывается влияние совокупности $\{u^{(j)}, v^{(j)}\}$ на ее вычисление и на выбор допуска γ. Решению данной задачи и посвящена настоящая работа.

Так как совокупности $\{u^{(j)}, v^{(j)}\}$ и $\{F_i\}_{(i)}$ имеют случайный характер, то оценка степени достоверности отбраковки одноименных точек будет носить вероятностный характер.

В качестве таких оценок для матрицы $F \in \{F_i\}_{(i)}$ будем рассматривать две величины:

1. Вероятность того, что фильтр пропускает пару (u, v) при условии, что есть $P\left(\left|u^T F v\right| < \gamma / \left|u^T F_0 v\right| > \gamma\right)$.

2. Вероятность того, что фильтр отбраковывает пару (u, v) при условии, что она содержит одноименные точки, то есть $P\left(\left|u^T F v\right| > \gamma / \left|u^T F_0 v\right| < \gamma\right)$.

Здесь F_0 – истинное значение фундаментальной матрицы стереопары.

Пусть P_1, P_2 – стереопара снимков

$$u^{(i)} = \begin{bmatrix} u_1^{(j)} \\ u_2^{(j)} \\ 1 \end{bmatrix} \in P_1, \qquad v^{(i)} = \begin{bmatrix} v_1^{(j)} \\ v_2^{(j)} \\ 1 \end{bmatrix} \in P_2.$$

Допустим, что $\sum = \{(u^{(j)}, v^{(j)})\}_{(j)}$ – множество идентифицированных одноименных точек, причем ошибки их отождествления сведены к ошибкам

$$\Delta v^{(i)} = \begin{bmatrix} \Delta v_1^{(j)} \\ \Delta v_2^{(j)} \\ 1 \end{bmatrix}$$

точки $v^{(j)}$ относительно $u^{(j)}$.

Рассмотрим приближенное значение F фундаментальной матрицы F_0 стереопары (P_1, P_2), определённое по случайной выборке $\sum_0 \subset \sum$, состоящей из 8 элементов. Ошибка матрицы F, вызванная ошибками $\Delta v^{(i)}$ элементов выборки $\sum$, есть величина $\Delta F = F - F_0$. Для оценки величины ΔF проанализируем процесс определения матрицы F. Если $\sum_0 = \{(u^{(j)}, v^{(j)})\}_{j=1}^{8}$ то составление эпиполярных уравнений для каждого элемента выборки $\sum_0$ приводит к системе линейных уравнений,

$$\begin{cases} \left[u^{(1)}\right]^T F v^{(1)} = 0; \\ \left[u^{(2)}\right]^T F v^{(2)} = 0; \\ \dots\dots\dots\dots\dots\dots \\ \left[u^{(8)}\right]^T F v^{(8)} = 0. \end{cases} \tag{1}$$

определяющей матрицу F в предположении, что $F_{33} = 1$. Если ввести вектор $\widetilde{F} = [F_{11}, F_{12}, F_{13}, \dots, F_{32}, 1]^T$, то система (1) может быть представлена в виде $A\widetilde{F} = B$, где

$$A = \begin{bmatrix} u_1^{(1)} \cdot v_1^{(1)} & u_1^{(1)} \cdot v_2^{(1)} & u_1^{(1)} & u_2^{(1)} \cdot v_1^{(1)} & u_2^{(1)} \cdot v_2^{(1)} & u_2^{(1)} & v_1^{(1)} & v_2^{(1)} \\ u_1^{(2)} \cdot v_1^{(2)} & u_1^{(2)} \cdot v_2^{(2)} & u_1^{(2)} & u_2^{(2)} \cdot v_1^{(2)} & u_2^{(2)} \cdot v_2^{(2)} & u_2^{(2)} & v_1^{(2)} & v_2^{(2)} \\ \dots\dots & \dots\dots & \dots\dots & \dots\dots & \dots\dots & \dots\dots & \dots\dots & \dots\dots \\ u_1^{(8)} \cdot v_1^{(8)} & u_1^{(8)} \cdot v_2^{(8)} & u_1^{(8)} & u_2^{(8)} \cdot v_1^{(8)} & u_2^{(8)} \cdot v_2^{(8)} & u_2^{(8)} & v_1^{(8)} & v_2^{(8)} \end{bmatrix},$$

$$B = [-1 \quad -1 \quad \cdots \quad -1]^T.$$

$$\delta_F \le \frac{C_A \cdot \delta_A}{1 - C_A \cdot \delta_A}, \quad (C_A \cdot \delta_A < 1), \tag{2}$$

Если нормы F и $\widetilde{F}$ согласованы, то, согласно [1]:
где C_A – число обусловленности матрицы A;

$\delta_A = \dfrac{\|\Delta A\|}{\|A\|}$ – относительная погрешность матрицы A;

$\delta_F = \dfrac{\|\Delta F\|}{\|F\|}$ – относительная погрешность матрицы F.

Если в выборке $\sum_0$ содержится $r \le 8$ неверно отождествленных пар, то есть пар, для которых $\left|u^T F_0 v\right| > \gamma$, то в 2-норме:

$$\|\Delta A\| = \sqrt{\sum_{j-1}^{r}\left(u_1^{(j)}\cdot v_1^{(j)}\right)^2 + \left(u_1^{(j)}\cdot v_2^{(j)}\right)^2 + \left(u_2^{(j)}\cdot v_1^{(j)}\right)^2 + \left(v_1^{(j)}\right)^2 + \left(v_2^{(j)}\right)^2} =$$

$$= \sqrt{\sum_{j-1}^{r}\left(\left[u_1^{(j)}\right]^2 + \left[u_2^{(j)}\right]^2 + 1\right)\cdot\left(\left[v_1^{(j)}\right]^2 + \left[v_2^{(j)}\right]^2\right)} \le$$

$$\le \sum_{j-1}^{r}\sqrt{\left(\left[u_1^{(j)}\right]^2 + \left[u_2^{(j)}\right]^2 + 1\right)}\cdot\sqrt{\left[v_1^{(j)}\right]^2 + \left[v_2^{(j)}\right]^2} = \sum_{j-1}^{r}\|u^{(j)}\|\cdot\|\Delta v^{(j)}\|.$$

Поскольку элементы, определяющие $\|\Delta A\|$, были отождествлены неверно, то $\left|\left[u^{(j)}\right]^T F_0 v^{(j)}\right| > \gamma$, следовательно $\left|\left[u^{(j)}\right]^T F_0 \Delta v^{(j)}\right| > \gamma$, а потому, используя оценку $\left|\left[u^{(j)}\right]^T F_0 \Delta v^{(j)}\right| \le \left\|\left[u^{(j)}\right]^T\right\|\cdot\|F_0\|\cdot\|\Delta v^{(j)}\|$ получим

$$\|\Delta v^{(j)}\| > \frac{\gamma}{\left\|\left[u^{(j)}\right]^T\right\|\cdot\|F_0\|}.$$

Тогда

$$\|\Delta A\| \le \sum_{v-1}^{r}\|u^{(j)}\|\cdot\frac{\gamma}{\left\|\left[u^{(j)}\right]^T\right\|\cdot\|F_0\|},$$

то есть

$$\|\Delta A\| \le \frac{r\gamma}{\|F_0\|}. \qquad (3)$$

Проводя аналогичные вычисления для

$$\|A\| \text{ и } \|A\| \le 8K_1\cdot K_2$$

получим:

$$K_1 = \max_{(j)}\left\{\|u^{(j)}\|\right\}, \quad K_2 = \max_{(j)}\left\{\|v^{(j)}\|\right\}.$$

Следовательно, из (2) получим

$$\|\Delta F\| = \delta_F\cdot\|F\| \le \frac{C_A r\gamma\|F\|}{8K_1K_2\left(1-\frac{C_A r\gamma}{\|F\|8K_1K_2}\right)\|F_0\|}$$

или

$$\|\Delta F\| \le \frac{C_A\cdot r\gamma\cdot\|F\|}{8K_1\cdot K_2\cdot\|F_0\| - C_A\cdot r\gamma}. \qquad (4)$$

Полученную оценку используем для нахождения

$$P\left(\left|u^T F v\right| < \gamma / \left|u^T F_0 v\right| > \gamma\right)$$
$$P\left(\left|u^T F v\right| > \gamma / \left|u^T F_0 v\right| < \gamma\right).$$

Пусть $\left|u^T F_0 v\right| > \gamma$. С учетом того, что $\left|u^T F_0 \Delta v_0\right| = 0$, поскольку (u_0, v_0) – одноименные точки, имеем $\left|u^T F_0 \Delta v\right| > \gamma$ и, учитывая, что $\left|u^T F_0 \Delta v\right| \le \|u^T\|\cdot\|F_0\|\cdot\|\Delta v\|$, получим

$$\|\Delta v\| > \frac{\gamma}{\|u\|\cdot\|F\|}. \qquad (5)$$

Рассмотрим

$$\left|u^T F v\right| = \left|u^T\left(F_0 + \Delta F\right)\cdot\left(v_0 + \Delta v\right)\right| =$$
$$= \left|u^T F_0 v_0 + u^T F_0 \Delta v + u^T \Delta F v\right| =$$
$$= \left|u^T F_0 \Delta v + u^T \Delta F v\right|.$$

Если $\left|u^T F v\right| < \gamma$, то

$$\left|u^T F_0 \Delta v + u^T \Delta F v\right| < \gamma. \qquad (6)$$

Неравенство (6) выполняется, если

$$\left(u^T \Delta F v\right)\cdot\left(u^T F_0 \Delta v\right) < 0$$

и

$$-\gamma < \left|u^T \Delta F v\right| - \left|u^T F_0 \Delta v\right| < \gamma, \qquad (7)$$

или

$$\begin{cases}\left|u^T \Delta F v\right| > \left|u^T F_0 \Delta v\right| - \gamma;\\ \left|u^T \Delta F v\right| < \left|u^T F_0 \Delta v\right| + \gamma.\end{cases} \qquad (8)$$

Из (8), с учетом оценки (4) величины $\|\Delta F\|$ следует оценка:

$$\|\Delta v\| < \frac{C_A\cdot r\gamma\cdot\|F\|\cdot\|v\|}{\|F_0\|\left(8K_1K_2\|F_0\| - C_A\cdot r\gamma\right)} + \frac{\gamma}{\|u\|\cdot\|F_0\|},$$

откуда относительная погрешность $\delta(v)$ величины v определится как:

$$\delta(v) < \frac{C_A\cdot r\gamma\cdot\|F\|\cdot\|v\|}{\|F_0\|\left(8K_1K_2\|F_0\| - C_A\cdot r\gamma\right)} + \frac{\gamma}{\|u\|\cdot\|v\|\cdot\|F_0\|}$$

и при этом в силу (5)

$$\delta(v) < \frac{\gamma}{\|u\|\cdot\|v\|\cdot\|F_0\|}. \qquad (9)$$

Тогда, если обозначить:

$$\delta_m = \max\delta(v)$$

и

$$Q = \frac{C_A\cdot r\gamma\cdot\|F\|}{\|F_0\|\left(8K_1K_2\|F_0\| - C_A\cdot r\gamma\right)},$$

то мера множества возможных значений $\delta(v)$ при условии, что

$$\delta(v) > \frac{\gamma}{\|u\| \cdot \|v\| \cdot \|F_0\|}$$

есть

$$\mu(r) = \begin{cases} Q, \text{ если } 0 < Q + \dfrac{\gamma}{\|u\| \cdot \|v\| \cdot \|F_0\|} < \delta_m; \\ 0, \text{если } Q < 0; \\ \delta_m, \text{если } Q + \dfrac{\gamma}{\|u\| \cdot \|v\| \cdot \|F_0\|} > \delta_m. \end{cases}$$

Если же $\frac{\gamma}{\|u\| \cdot \|v\| \cdot \|F_0\|} > \delta_m$, то $\mu(r) = 0$.

Мера множества значений δ_m, удовлетворяющих условию (9) есть:

$$\mu_{\delta_m} = \begin{cases} \delta_m - \dfrac{\gamma}{\|u\| \cdot \|v\| \cdot \|F_0\|}, \text{ если } \dfrac{\gamma}{\|u\| \cdot \|v\| \cdot \|F_0\|} < \delta_m; \\ 0, \text{ если } \dfrac{\gamma}{\|u\| \cdot \|v\| \cdot \|F_0\|} > \delta_m. \end{cases}$$

Следовательно, если предполагать равномерное распределение ошибок, то при условии, что количество неверно отождествленных пар в $\sum_0$ равно r, с учетом условия (7) получим:

$$P\left(\left|u^T F v\right| < \gamma / \left|u^T F_0 v\right| > \gamma\right) = \frac{\mu(r)}{2\mu_{\delta_m}}.$$

Поскольку величина r при получении F неизвестна, выдвинем гипотезы: H_r – количество неверно отождествленных пар (u, v) в $\sum_0$ равно $r (r = 0...8)$. Тогда по формуле полной вероятности [2]:

$$P\left(\left|u^T F v\right| < \gamma / \left|u^T F_0 v\right| > \gamma\right) =$$
$$= \sum_{r=0}^{8} P(H_r) \cdot P\left(\left(\left|u^T F v\right| < \gamma / \left|u^T F_0 v\right| > \gamma\right) / H_r\right).$$

Если предположить, что вероятность неверно отождествленной пары в $\sum$ есть q, то по формуле Бернулли [2]:

$$P(H_r) = C_8^r q^r (1-q)^{8-r}$$

и

$$P\left(\left|u^T F v\right| < \gamma / \left|u^T F_0 v\right| > \gamma\right) = \sum_{r=0}^{8} C_8^r q^r (1-q)^{8-r} \cdot \frac{\mu(r)}{2\mu_{\delta_m}}. \quad (10)$$

Произведя вычисления, аналогичные указанным при нахождении $P\left(\left|u^T F v\right| < \gamma / \left|u^T F_0 v\right| > \gamma\right)$, определим $P\left(\left|u^T F v\right| > \gamma / \left|u^T F_0 v\right| < \gamma\right)$, то есть вероятность отбраковки фильтром пары одноименных точек.

Пусть

$$Q = \frac{C_A \cdot r\gamma \cdot \|F\|}{\|F_0\|\left(8K_1K_2\|F_0\| - C_A \cdot r\gamma\right)}.$$

Рассмотрим

$$\mu_1 = \min\left\{\frac{Q}{2}, \frac{\gamma}{K_1K_2 \cdot \|F_0\|}, \delta_m\right\},$$

$$\mu_2 = \min\left\{\frac{\gamma}{K_1K_2 \cdot \|F_0\|}, \delta_m\right\},$$

$$\mu_3 = \begin{cases} Q, \text{ если } \gamma_1 - Q > 0 \text{ и } Q < \delta_m; \\ \delta_m - (\gamma_1 - Q), \ \gamma_1 > \delta_m \text{ и } \gamma_1 - Q < \delta_m; \\ 0, \text{если } \gamma_1 - Q < \delta_m; \end{cases}$$

здесь

$$\gamma_1 = \frac{\gamma}{K_1K_2 \cdot \|F_0\|}.$$

Тогда, используя, как и в предыдущих вычислениях, формулу полной вероятности и формулу Бернулли, получим:

$$P\left(\left|u^T F v\right| > \gamma / \left|u^T F_0 v\right| < \gamma\right) = \frac{1}{2}\sum_{r=0}^{8} C_8^r q^r (1-q)^{8-r} \cdot \frac{\mu_1 + \mu_3}{\mu_2}.$$

Полученные результаты были апробированы на конкретной выборке одноименных точек стереопары. Искажая случайным образом фиксированное количество ошибок в выборке точек и определяя приближенное значение фундаментальной матрицы 8-точечным алгоритмом, с помощью этой матрицы были получены оценки вероятностей, рассмотренных в работе. Результаты представлены в таблицах 1 и 2.

В указанных выше таблицах используются следующие исходные данные: значения допуска γ (первая строка таблиц) и процент точек (первый столбец таблиц), которые не являются одноименными (отождествлены не верно) в исходном множестве предварительно отождествленных точек.

Анализ данных первой таблицы позволяет сделать вывод, что вероятность пропуска фильтром ошибочно отождествленных точек практически одинаково зависит, как от допуска γ, так и от количества таких точек (см. значения вероятностей по строкам и столбцам). Следовательно, совместное влияние обоих факторов приводит к повышению вероятности практически в N раз ($N = n \times m$, где n – увеличение допуска γ, m – увеличение количества ошибочных точек в выборке), что подтверждается значением вероятностей пропуска фильтром неверно отождествленных.

Из данных табл. 2 следует, что увеличение допуска γ ведет к незначительному уменьшению вероятности отбраковки правильно отождествленных точек. Однако изменение количества ошибочно отождествленных точек

Таблица 1

Вероятности пропуска фильтром не верно отождествленных пар при данных значениях γ и *q*

γ / *q*,%	0,015	0,030	0,045	0,060	0,075	0,090
6	0,012	0,024	0,037	0,050	0,063	0,077
12	0,024	0,049	0,074	0,101	0,129	0,159
18	0,036	0,074	0,113	0,155	0,199	0,246
24	0,048	0,099	0,153	0,211	0,272	0,338
30	0,060	0,125	0,194	0,269	0,349	0,436
36	0,073	0,151	0,236	0,329	0,430	0,541

Таблица 2

Вероятности исключения фильтром верно отождествленных пар точек при данных значениях γ и *q*

γ / *q*,%	0,015	0,030	0,045	0,060	0,075	0,090
6	0,220	0,208	0,204	0,202	0,201	0,200
12	0,361	0,342	0,335	0,332	0,330	0,328
18	0,449	0,425	0,417	0,413	0,401	0,409
24	0,502	0,475	0,466	0,461	0,459	0,457
30	0,533	0,504	0,495	0,490	0,487	0,485
36	0,551	0,521	0,511	0,506	0,503	0,502

ведет к существенному увеличению вероятности отбраковки правильно отождествленных точек (см. изменение значения вероятности по столбцам).

Таким образом, для правильной и эффективной работы фильтра RANSAC необходимо не только внимательно относиться к определению значения допуска γ, но и обращать внимание на возможное количество ошибочно отождествленных точек в общем количестве предварительно отождествленных точек.

Литература

1. Лоусон, Ч. Численное решение задач метода наименьших квадратов / Ч. Лоусон, Р. Хенсон. – М.: Наука, 1986. – 239 с.

2. Вентцель, Е. С. Теория вероятностей / Е.С. Вентцель. – М.: Высшая школа, 2007. – 327 с.

3. Конушин, А. С. Обзор робастных схем оценки параметров моделей на основе случайных выборок / А.С. Конушин, К.С. Мариничев, В.П. Вежневе // Труды 14-й Международной конференции по компьютерной графике и зрению ГрафиКон, 2004. – С. 86–89.

4. Hartley, R. I. Theory and Practice of Projective Rectification / R. I. Hartley // International Journal of Computer Vision. – 1999. – Vol. 35. – P. 115–127.

Исследование синхронизации аппаратуры приемника межспутниковой радиолинии системой слежения за частотой

Synchronization of the receiver equipment of satellite radio frequency tracking system

Гончаров / Goncharov O.
Олег Александрович
(oleggonch12@gmail.com)
АО «Российские Космические Системы»,
инженер-исследователь 2 категории.
г. Москва

Астахов / Astahov D.
Дмитрий Анатольевич
(atismail@mail.ru)
АО «Российские Космические Системы»,
начальник отделения 74.
г. Москва

Ключевые слова: следящая система за частотой – frequency tracking system; флуктационная ошибка слежения – fluctuation-tracking error; динамическая ошибка слежения –dynamic-tracking error; частотный дискриминатор со сдвинутыми квадратурными компонентами – frequency discriminator with moved quadrature components, оптимальная калмановская фильтрация – Kalman optimal filtering, полоса следящей системы – bandwidth of tracking system, ошибка слежения – error of tracking, время переходного процесса – time of transitive process, среднеквадратическая ошибка слежения за частотой – mean square error of frequency.

В данной статье рассматриваются варианты синхронизации аппаратуры потребителей межспутниковой радиолинии. Подобная задача была поставлена с целью оптимизации аппаратуры приемников, находящихся в составе бортовых комплексов системы ГЛОНАСС. Предложенные методы поиска позволят уменьшить время переходного процесса и увеличат точность формируемых оценок отслеживаемых параметров на окончании интервала синхронизации, задаваемого циклограммой функционирования системы межспутниковой радиолинии.

The equipment synchronization variations of the intersatellite link are looked through in this article. Definite problem was set with the aim at optimization of receiver's equipments are in onboard units of GLONASS system. Proposed searching methods will help to decrease the transition time and increase formed evaluations precision of monitored parameters in the end of synchronization interval, given by function cyclorama of the intersatellite link system.

Введение

Ранее в одном из подразделений АО "Российские космические системы" были применены алгоритмы синхронизации аппаратуры локальных генераторов без детального обоснования и проведенного моделирования следящих систем, входящих в состав аппаратуры межспутниковой радиолинии (МРЛ). В предыдущей публикации (Модернизация алгоритма поиска сигнала межспутниковой радиолинии ГЛОНАСС / О.А. Гончаров, Д.А. Астахов // Информация и Космос. – 2016. – № 4. – С. 61–70) был рассмотрен вопрос поиска сигнала по задержке, где по 52 ячейкам на основании максимума функции правдоподобия (максимума корреляционного интеграла в области поиска, устанавливаемого техническим заданием на МРЛ) выдавалась оценка параметра задержки радионавигационного сигнала при распространении в данном типе радиолинии. Исходя из требований ТЗ было определено, что алгоритм поиска по частоте для сигналов типа МРЛ не нужен, поскольку будет занимать одну ячейку, но на этапе синхронизации определяемого циклограммой МРЛ необходимо было уточнить параметр частоты, поэтому в работе было введено рассмотрение именно следящей системы за частотой в аппаратуре приемника сигнала типа МРЛ. Проведенное моделирование определило длительность переходного процесса при заданной начальной расстройке по частоте. Особенностью проведенного моделирования явился подбор параметров следящей системы, при котором длительность переходного процесса укладывается в фиксированный интервал времени, выделенный циклограммой функционирования системой МРЛ. Также результатами моделирования было определена оптимальная полоса следящей системы, обеспечивающая минимизацию суммы флуктуационных и динамических шумов (вызванный неинерционностью рассматриваемой модели). Следующим этапом, освещаемым в данной статье, является подбор оптимального времени поступления отсчетов на вход следящей системы.

Проведение моделирования

Критерием данной задачи явилось минимизация длительности переходного процесса следящей системы.

Схема обобщенной радиотехнической следящей системы за параметром сигнала (согласно источнику

Рис. 1. Обобщенная схема дискретной следящей системы

[3]) приведена на рис. 1, которая включает: дискриминатор, фильтр и генератор опорного сигнала (ГОС).

На вход радиотехнической следящей системы поступает реализация $u(t)$, представляющая аддитивную смесь сигнала $s(t, \lambda)$, где λ – параметр, за которым ведется слежение (информативный процесс), и внутреннего шума приемника $n(t)$:

$$U(t) = s(t, \lambda) + n(t) \qquad (1)$$

Векторный шум приемника $n(t)$ достаточно хорошо аппроксимируется белым шумом со спектральной плотностью мощности $S_n(0)$.

Дискриминатор – устройство, выходной процесс которого несет информацию о рассогласовании $\Delta\lambda = \lambda - \overline{\lambda}$ между истинным и оценочным значениями параметра λ, за которым ведется слежение. На входы дискриминатора поступают входная реализация $u(t)$, включающая радиосигнал $s(t, \lambda)$, несущий информацию об истинном значении λ, и опорный сигнал $S_{on}\left(t, \overline{\lambda}\right)$, несущий информацию об оценочном значении $\overline{\lambda}$, которое вырабатывается в контуре следящей системы. Полагается, что дискриминатор является безынерционным устройством относительно параметра, за которым ведется слежение, и инерционным устройством относительно шума $n(t)$.

Фильтр в контуре следящей системы – низкочастотный фильтр, операторный коэффициент передачи $K_ф(p)$ которого выбирается таким образом, что бы обеспечивать требуемые динамические свойства следящей системы при слежении за изменяющимся параметром $\lambda(t)$ и баланс между динамической и флуктуационной ошибками слежения.

Генератор опорного сигнала – устройство, формирующее сигнал $S_{on}\left(t, \overline{\lambda}\right)$, зависящий от оценки $\overline{\lambda}$ параметра, за которым ведется слежение. Во многих системах радиоавтоматики генератор опорного сигнала формирует копию радиосигнала, у которого вместо истинного значения параметра λ используется его оценочное значение $\overline{\lambda}$. В ряде следящих систем для работы дискриминатора необходима не одна, а несколько копий радиосигнала с различными оценочными значениями $\overline{\lambda}_i$, $i = \overline{1, m}$. В этом случае генератор опорного сигнала должен формировать несколько копий $S_{on}\left(t, \overline{\lambda}_i\right)$, $i = \overline{1, m}$, а связь между генератором опорного сигнала и дискриминатора будет иметь векторный характер.

Вследствие движения спутников по орбите закон распределения фазы сигнала будет равномерным на интервале [-π; π]. Поэтому при построении модели слежения следует рассмотреть некогерентный режим работы, также на выбор данного режима повлияло слежение за изменением доплеровской частоты в процессе движения спутников. В качестве модели частотного дискриминатора взяли модель дискриминатора некогерентного приемника с временным сдвигом квадратурных компонент.

Также в литературе [1] определена методика слежения за частотой в дискретном времени. Отчеты на вход дискриминатора поступают с интервалом 9.45 мс. Последующее моделирование с выбором оптимального времени поступления отсчетов будет проведено позже.

Квадратурные компоненты I_k и Q_k (где $k = 1 \ldots n$) некогерентного приемника, формируемые в моменты времени t_k, зависят от фазы $\varphi_{k-1,1}$ принимаемого сигнала. Аналогичные компоненты I_{k+1} и Q_{k+1}, соответствующие в моменту времени t_{k+1}, зависят от соответствующего значения фазы $\varphi_{k,1}$. Так как приращение фазы $\Delta\varphi = \varphi_{k,1} - \varphi_{k-1,1}$ за заданный интервал времени определяет доплеровскую частоту, обрабатывая квадратурные компоненты для двух соседних моментов времени, можно

получить информацию о доплеровском сдвиге частоты принимаемого сигнала.

Математическое ожидание статистической модели дискриминатора можно представить в виде (2).

$$U_{\partial\omega}\left(t_{\kappa}\right) = I_{k+1}Q_k - I_k Q_{k+1}, \qquad (2)$$

где квадратурные компоненты будут определяться выражением:

$$I_{k+1} = 2q_{c/n0}Th_{hc}\rho\left(\varepsilon_{\tau,k}\right)\cos\left(\varphi_{k,1} + \varepsilon_{\omega,k}T/2\right)\sin c\left(\varepsilon_{\omega,k}T/2\right)$$

$$Q_{k+1} = -2q_{c/n0}Th_{hc}\rho\left(\varepsilon_{\tau,k}\right)\sin\left(\varphi_{k,1} + \varepsilon_{\omega,k}T/2\right)\sin c\left(\varepsilon_{\omega,k}T/2\right)$$

$$I_k = 2q_{c/n0}Th_{hc}\rho\left(\varepsilon_{\tau,k-1}\right)\cos\left(\varphi_{k-1,1} + \varepsilon_{\omega,k-1}T/2\right)\sin c\left(\varepsilon_{\omega,k-1}T/2\right)$$

$$Q_k = -2q_{c/n0}Th_{hc}\rho\left(\varepsilon_{\tau,k-1}\right)\sin\left(\varphi_{k-1,1} + \varepsilon_{\omega,k-1}T/2\right)\sin c\left(\varepsilon_{\omega,k-1}T/2\right).$$

Тогда для статистического эквивалента дискриминационной характеристики получаем выражение:

$$U\left(\varepsilon_{\omega,k}\right) = 4q_{c/n0}{}^2T^2\rho\left(\varepsilon_{\tau,k}\right)\rho\left(\varepsilon_{\tau,k-1}\right)\sin c\left(\varepsilon_{\omega,k}T/2\right)$$
$$\sin c\left(\varepsilon_{\omega,k-1}T/2\right)*(-\cos\left(\varphi_{k,1} + \varepsilon_{\omega,k}T/2\right)*$$
$$*\sin\left(\varphi_{k-1,1} + \varepsilon_{\omega,k-1}T/2\right) + \cos\left(\varphi_{k-1,1} + \varepsilon_{\omega,k-1}T/2\right)$$
$$\sin\left(\left(\varphi_{k,1} + \varepsilon_{\omega,k}T/2\right)\right) \quad .$$

Положим, что $\varepsilon_{\omega,k} = \varepsilon_{\omega,k-1}$, тогда получаем:

$$U\left(\varepsilon_{\omega,k}\right) = 4q_{c/n0}{}^2T^2\rho\left(\varepsilon_{\tau,k}\right)\rho\left(\varepsilon_{\tau,k-1}\right)\sin c\left(\varepsilon_{\omega,k-1}T/2\right)^2\sin\left(\varepsilon_{\omega,k-1}T\right).$$

При построении модели возьмем значение автокорреляционной функции дальномерного кода равной единице $\rho\left(\varepsilon_{\tau,k}\right) = 1$.

Тогда получаем, что сигнал с выхода частотного дискриминатора примет вид (3).

$$U\left(\varepsilon_{\omega,k}\right) = 4q_{c/n0}{}^2T^2\sin c\left(\varepsilon_{\omega,k-1}T/2\right)^2\sin\left(\varepsilon_{\omega,k-1}T\right) \qquad (3)$$

Из энергетического расчета межспутниковой радиолинии известно, что значение $q_{c/n0}$ = 35 дБ/Гц. Также из технического задания на межспутниковую радиолинию известно, что период дальномерного кода формируемой последовательности на ПСП – В равен 3.15 мс.

Согласно источнику [3], при построении модели рассматривалось изменение частоты по закону:

$$\omega_k = \omega_{k-1} + T\upsilon_{k-1}$$
$$\upsilon_k = \upsilon_{k-1} + T\xi_{k-1}, \qquad (4)$$

где ξ_{k-1} – формирующий белый гауссовский шум, ω_k – частота сигнала в момент времени t_k, T – дискрет времени, равный 9.45 мс.

Исследуемый процесс может быть подвергнут оптимальной калмановской фильтрации.

В векторном виде приведенные выше выражения имеют вид:

$$x_k = Fx_{k-1} + G\xi_k, \qquad (5)$$

где

$$x_k = \begin{vmatrix}\omega_k\\ \upsilon_k\end{vmatrix} \quad F = \begin{vmatrix}1 & T\\ 0 & 1\end{vmatrix} \quad G = \begin{vmatrix}0 & 0\\ 0 & T\end{vmatrix} \quad \xi_k = \begin{vmatrix}0\\ \xi_k\end{vmatrix}$$

x_k – вектор состояния процесса

Дисперсия шума наблюдений определяется выражением:

$$D_{\eta} = 16q_{c/n0}{}^3T^3\left(1 + \frac{1}{2q_{c/n0}T}\right). \qquad (6)$$

Откуда дисперсия шума эквивалентных наблюдений получаем в виде (7)

$$D_{\bar{\eta}} = D_{\eta}/Sd^2. \qquad (7)$$

Спектральная плотность шума эквивалентных наблюдений: $S_{\bar{\eta}} = D_{\bar{\eta}}T$ Спектральная плотность формирующего шума: $S_{\xi_{\phi}} = 2\left(33\sigma_{\alpha}\right)^2\alpha$.

Где σ_{α} – среднеквадратическое значение ускорения, для МРЛ равно 1 м/с². $\alpha = 0.1$ с$^{-1}$

Следующим элементом, участвующим в слежении за частотой сигнала, будет сглаживающий фильтр, формирующий оценки сигнала.

Коэффициенты фильтра дискретной следящей системы второго порядка K_1 и K_2, будут иметь вид:

$$K_1 = 2T\left(S_{\xi_{\phi}}/S_{\bar{\eta}}\right)^{1/6} \qquad (8)$$

$$K_2 = 2T\left(S_{\xi_{\varphi}}/S_{\bar{\eta}}\right)^{1/3} \qquad (9)$$

Полосу следящей системы будем варьировать, до тех пор, пока время переходного процесса следящей системы не станет равно времени или будет меньше выделенного на синхронизацию циклограммой функционирования межспутниковой радиолинии (0.378с, рис.2).

Согласно источнику [3]: рассмотрим типовую линейную следящую систему (рис. 3) и предположим, что параметр λ, за которым ведется слежение, является центрированным случайным процессом.

В такой системе ошибка слежения *x(t)* содержит две составляющие, каждая из которых является случайным процессом. Одна из составляющих вызвана искажением параметра $\lambda(t)$ при прохождении через следящую систему, обусловленным инерционностью системы. Данную составляющую ошибки слежения называют динамической ошибкой. Вторая составляющая ошибки

Рис. 2. Структура пакета БАМИ

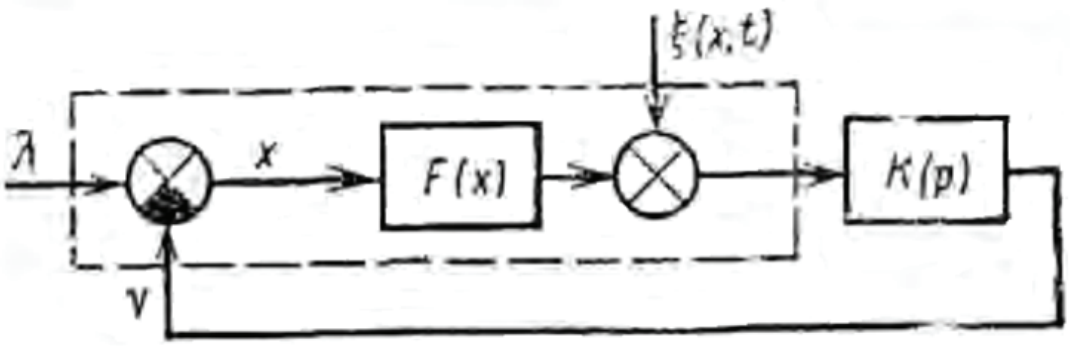

Рис. 3. Структурная схема типовой линейной следящей системы

Рис. 4. Отклик системы слежения за частотой полосе следящей системы в 10 Гц

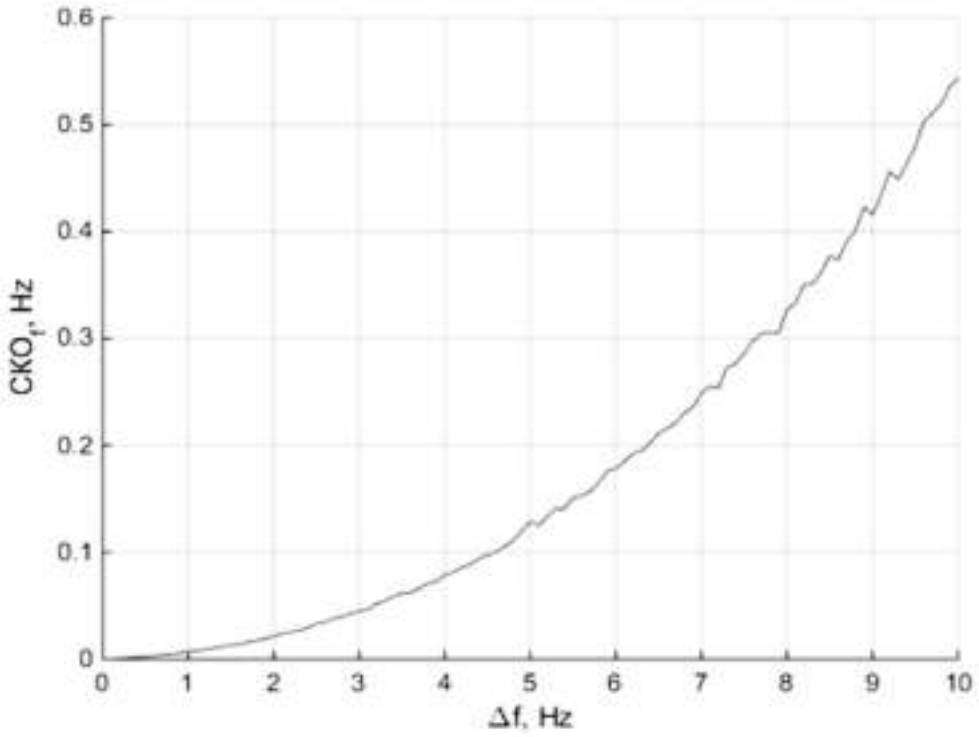

Рис. 5. Зависимость СКО частоты от полосы следящей системы при воздействии флуктуационной составляющей

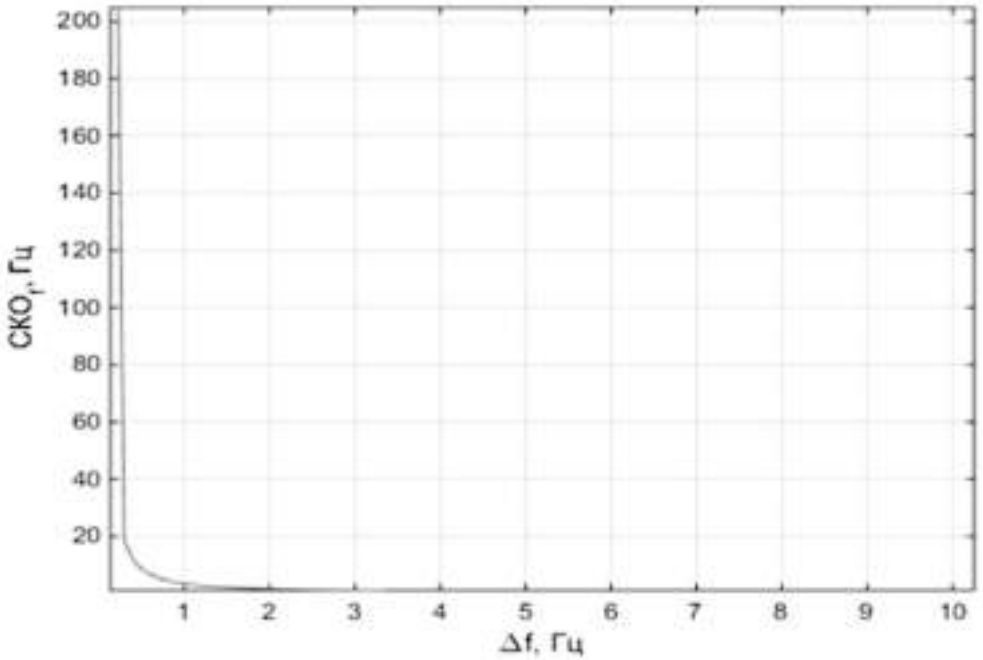

Рис. 6. Зависимость СКО частоты от полосы следящей системы при рассмотрении динамической ошибки

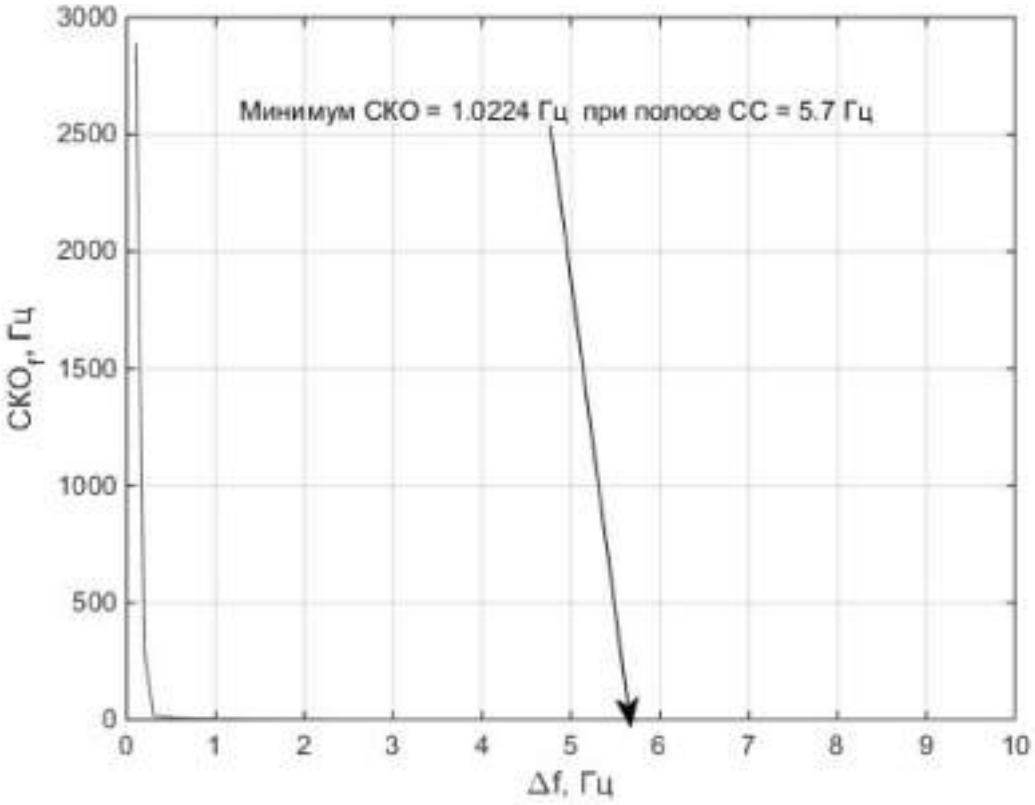

Рис. 7. Зависимость СКО частоты от полосы следящей системы при рассмотрении суммарной ошибки (динамической и флуктуационной)

```
Command Window
Время переходного процесса = 2.520000e-01 с с временем поступления отсчетов 3.150000e-03
Время переходного процесса = 2.803500e-01 с с временем поступления отсчетов 3.150000e-03
Время переходного процесса = 2.677500e-01 с с временем поступления отсчетов 3.150000e-03
Время переходного процесса = 1.260000e-01 с с временем поступления отсчетов 6.300000e-03
Время переходного процесса = 1.386000e-01 с с временем поступления отсчетов 6.300000e-03
Время переходного процесса = 1.323000e-01 с с временем поступления отсчетов 6.300000e-03
Время переходного процесса = 9.135000e-02 с с временем поступления отсчетов 9.450000e-03
Время переходного процесса = 8.820000e-02 с с временем поступления отсчетов 9.450000e-03
Время переходного процесса = 7.875000e-02 с с временем поступления отсчетов 9.450000e-03
Время переходного процесса = 5.040000e-02 с с временем поступления отсчетов 1.260000e-02
Время переходного процесса = 6.930000e-02 с с временем поступления отсчетов 1.260000e-02
Время переходного процесса = 2.759085e+01 с с временем поступления отсчетов 1.260000e-02
Время переходного процесса = 7.374150e+00 с с временем поступления отсчетов 1.575000e-02
Время переходного процесса = 5.417685e+01 с с временем поступления отсчетов 1.575000e-02
Время переходного процесса = 6.019020e+01 с с временем поступления отсчетов 1.575000e-02
```

Рис. 8. Время переходного процесса в зависимости модели следящей системы и от тактов поступления отсчетов

слежения обусловлена воздействием шума $\xi(t)$(шума на выходе дискриминатора радиотехнической следящей системы), которую называют флуктуационной ошибкой.

Начальное рассогласование установим в 10 Гц, построив модель переходного процесса (рис. 4).

На представленном рисунке отображены реализации рассогласования по частоте в присутствии флуктуационных, динамических шумов и их суммы. Установлено что время переходного процесса для системы слежения с учетом двух составляющих шума равно 0.292 с. Оставшееся время на интервале синхронизации будет отведено на дополнительную подстройку опорного генератора для уточнения оценок частоты (рис. 5– 7). Следующим шагом построим зависимость СКО частоты от полосы следящей системы при увеличении времени моделирования.

Представленный результат показывает, что оптимальным значением полосы следящей системы будет ширина 5.7 Гц.

Также стоит определиться с наилучшим временем поступления отсчетов. Критерием на выбор наилучшего времени будет минимизация суммарной флуктуационной и динамических составляющих шума при наименьшем времени переходного процесса. Такты могут поступать со временем кратному периоду ПСП–В. Для этого возьмем диапазон от одного до пяти тактов периодов ПСП–В. Результаты моделирования показаны на рис. 8. Моделирование проведено в среде Matlab.

По рис. 8 наилучшим временем поступления отсчетов, при заданном тестовом воздействии в виде начального рассогласования частоты на ограниченном интервале времени, будет 9.45 мс. Наилучшим будет время с увеличением тактов поступления отсчетов. Но при времени большем 9.45 мс время переходного процесса не будет укладываться в интервал времени ПСП–В, выделенный на синхронизацию. Откуда оптимальным временем поступления отсчетов будет время 9.45 мс. Рассматриваемые результаты учитывали воздействие динамических и флуктуационных шумов. На рис. 8 первым значением, выводимым как длительность переходного процесса, будет его время при воздействии динамической составляющей шума. Второе значение учитывает только флуктационную составляющую шума, и третий результат учитывает суммарное воздействие двух видов шума, действующих на линейную динамическую следящую систему.

Литература

1. ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования / под ред. А.И. Перова, В.Н. Харисова. – Изд. 4-е перераб. и доп. – М. Радиотехника, 2010. – 800 с.

2. Борисов, Ю. П. Математическое моделирование радиотехнических систем и устройств / Ю.П. Борисов, В.В. Цветнов. – М.: Радио и связь, 1985 – 176 с.

3. Перов, А. И. Радиоавтоматика / А.И. Перов, В.Н. Замолодчиков, В.М. Чиликин. – М.: Радиотехника, 2014. – 320 с.

ГЕО ГЕОИНФОРМАТИКА

(25.00.35*)

информатика

- Теоретические и экспериментальные исследования в области развития научных и методических основ геоинформатики.
- Технические средства сбора, регистрации, хранения, передачи и обработки геоинформации с использованием вычислительной техники.
- ГИС разного назначения, типа, пространственного охвата и тематического содержания.
- Базы и банки цифровой информации и системы управления базами данных.
- Базы знаний по разным предметным областям.
- Математические методы, математическое, информационное, лингвистическое и программное обеспечение для ГИС.
- Геомоделирование, системный анализ многоуровневой и разнородной геоинформации.
- Компьютерные геоизображения новых видов и типов, анимационные, мультимедийные, виртуальные и другие электронные продукты.
- Геоинформационные инфраструктуры, методы и технологии хранения и использования геоинформации на основе распределенных баз данных и знаний.
- Телекоммуникационные системы сбора, анализа, обработки и распространения пространственно-временной геоинформации.
- Взаимодействие геоинформатики, картографии и аэрокосмического зондирования.

раздел

ГЕО информатика

* В соответствии с Номенклатурой специальностей научных работников, утвержденной приказом Минобрнауки России от 25.02.2009 № 59 (в ред. Приказов Минобрнауки РФ от 11.08.2009 N 294, от 10.01.2012 N 5)

Бассейново-ландшафтный подход к территориальному планированию

Basin and landscape approach to territorial planning

Осипов/ Osipov G.
Георгий Константинович
(Osipov-G-K-2005@yandex.ru)
доктор географических наук, профессор.
ФГБВОУ ВО «Военно-космическая академия имени А. Ф. Можайского» МО РФ,
профессор кафедры картографии.
г. Санкт-Петербург

Дмитриев/ Dmitriev V.
Василий Васильевич
(vasiliy-dmitriev@rambler.ru)
доктор географических наук профессор, профессор.
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет». Институт наук о Земле,
профессор кафедры гидрологии суши.
г. Санкт-Петербург

Ключевые слова: геосистемная концепция – geo system concept; ландшафтный подход – landscape approach; бассейновый подход – basin approach; бассейново-ландшафтный подход – basin and landscape approach; геоэкологическая ситуация – geo ecological situation; социально-экономическая система – social and economic system; устойчивое развитие – sustainable development.

Изложена сущность ландшафтной, бассейновой и бассейново-ландшафтной дифференциации территории. Рассмотрены особенности управления социально-экономическими системами на бассейново-ландшафтной основе. Приведен алгоритм реализации бассейново-ландшафтного подхода в территориальном планировании. Разработанный подход обеспечивает устойчивое выполнение природной средой задаваемых социально-экономических функций без нарушения функций жизнеобеспечения (средо- и ресурсовоспроизводства).

The essence of landscape, basin and basin and landscape differentiation of the territory is stated. Features of management of social and economic systems on a basin and landscape basis are considered. The algorithm of implementation of basin and landscape approach is given in territorial planning. The developed approach provides steady performance by the environment of the set social and economic functions without violation of functions of life support (environment and resource production).

Введение

Минимизация ущерба от антропогенного воздействия на природную среду и максимизация при этом совокупного полезного экономического и социального эффекта невозможны без изменения стратегии жизненного поведения человека при освоении природной среды, т.е. разработки принципов увязки между собой социально-экономических и экологических интересов общества. Эта проблема должна решаться в рамках территориального планирования, ориентированного на создание благоприятных условий жизнедеятельности человека и развития экономики. Однако слабый учет экологической составляющей при разработке схем территориального планирования приводит к существенному обострению экологических проблем во многих регионах нашей страны.

Одной из причин этого обстоятельства является то, что задачи территориального планирования решаются в жестких рамках административных границ субъекта управления без учета геосистемного строения территории. Это противоречит географическим основам природопользования и устойчивого развития социально-экономических систем. Решение задач территориального планирования должно выполняться на основе оценки возможностей природно-территориальных систем и комплексов устойчиво выполнять задаваемые им социально-экономические функции с учетом прогноза развития экологической ситуации в их пределах.

Недооценка особенностей геосистемного строения территории при подготовке документов территориального планирования обуславливает не только многочисленные отрицательные последствия в природопользовании, но и глубокие долгосрочные диспропорции между экономическим, социальным и экологическим развитием социально-экономических систем различного иерархического уровня. Это обстоятельство обусловило целевую направленность данной статьи и ее актуальность.

Сущность ландшафтной, бассейновой и бассейново-ландшафтной дифференциации территории при управлении природопользованием.

В основу управления природопользованием должна закладываться геосистемная концепция, суть которой сводится к тому, что изучаемая территория рассматривается как совокупность взаимосвязанных и взаи-

мообусловленных геосистем различных иерархических уровней, являющихся объектами управления. При этом под геосистемой понимается часть географической оболочки Земли, компоненты которой тесно взаимосвязаны и образуют определенную целостность, единство [14].

В геосистеме, в отличие от экосистемы, биотические и абиотические компоненты равноправны между собой, а при исследовании геосистем основное внимание уделяется их пространственным закономерностям.

Анализ работ, посвященных применению геосистемного подхода для формирования различных видов территориальных образований [4, 8, 10, 11, 13], позволяет сформулировать его основные положения:

1) в геосистемах между их элементами протекают непрерывные процессы переноса вещества и энергии, это обуславливает прямые и обратные внутрисистемные связи. Элементы, коренным образом влияющие на направление формирования системы, называются системообразующими. Именно они обеспечивают целостность геосистем любого иерархического уровня;

2) системные связи наиболее ярко проявляются в ядре геосистемы – ее пространственно-ограниченной части, характеризующейся повышенной активностью системообразующих элементов. Следовательно, в любой геосистеме можно выделить ядро системы и переходные области, где системные связи ослабляются из-за влияния соседних геосистем;

3) состояние геосистемы определяется через синтез показателей, характеризующих ее отдельные компоненты в конкретном пространстве и времени. При этом геосистема рассматривается как пространственно-временная однородность, свойственная определенной территории.

В географических исследованиях при выделении геосистем по природным признакам широко применяются два основных подхода: ландшафтный и бассейновый.

При ландшафтном подходе выделение геосистем осуществляется по генетико-морфологическим критериям. Здесь различают четыре основных иерархических уровня: локальный – фации и урочища; региональный – ландшафты; мезорегиональный – ландшафтные подпровинции и провинции; макрорегиональный – «отрезки» ландшафтных подзон и зон в рамках отдельных физико-географических стран [7].

Критерием для выделения ландшафта как основной таксономической единицы ландшафтной дифференциации территории является его географическая индивидуальность, что объясняется двумя основными факторами:

1) ландшафт, будучи генетически однородной территорией, в пределах которой наблюдается закономерное сочетание взаимосвязанных и взаимообусловленных природных компонентов, является последней ступенью природно-географической дифференциации земной поверхности, сохраняющей основные черты природных особенностей более крупных территорий, т. е. дающей обобщенное представление об их индивидуальности;

2) ландшафт, обладая генетической однородностью, представляет собой тесно взаимосвязанный комплекс присущих только ему более мелких природно-географических единиц, ни одна из которых в отдельности не может дать полного представления об общих природных особенностях территории.

Разработанные в отечественном ландшафтоведении походы к организации рационального природопользования на ландшафтной основе, несмотря на некоторые недостатки, дают определенную методическую базу для управления социально-экономическим развитием территории.

Генеральной целью ландшафтных исследований является создание единого универсального учения об иерархическом структурно-функциональном устройстве природных геосистем. Только на этой основе возможно осуществлять природопользование таким образом, чтобы оно было «встроено» в природную организацию территории и в целом это была бы единая устойчиво функционирующая социально-экономическая система.

При бассейновом подходе выделение геосистем осуществляется по геоморфологическим критериям, которые базируются на структуре естественной гидрологической сети, являющейся экологическим каркасом прилегающих к ней территорий. При таком выделении геосистем системообразующими элементами являются потоки вещества, энергии и информации. Данный способ выделения геосистем обеспечивает учет динамических процессов протекающих в них.

Речные бассейны, как и ландшафтные геосистемы, обладают набором структур и функций, иерархичностью строения, целостностью, устойчивостью, способностью к саморазвитию [8, 9, 15].

К главным структурам речного бассейна относятся склоновое строение и гидрографическая сеть, которые тесно взаимосвязаны, т.к. на склонах происходит трансформация осадков в элементы водного баланса, а гидрографическая сеть перераспределяет сток во времени и пространстве. К функциям, кроме трансформации осадков, следует отнести дренаж, транзит вод, формирование их химического состава и рельефообразующую деятельность. При этом необходимо подчеркнуть, что главной функцией речного бассейна, как геосистемы, является генерация односторонне направленных потоков вещества и энергии в сток.

Однотипность структур и функций и подобие строения рельефа, присущие речным бассейнам, позволяют создавать типовые подходы к оценке геоэкологических ситуаций, сложившихся в их пределах, а также с учетом физико-географических особенностей регионов производить пространственную интерполяцию и экстраполяцию результатов исследований для различных бассейнов [9, 13, 15].

Речные бассейны, как и ландшафтные геосистемы, имеют четырехуровенную дифференциацию: локальный уровень – бассейны крупных ручьев; региональный – бассейны малых рек; мезорегиональный – бассейны средних рек; макрорегиональный – бассейны крупных рек. При этом под крупными ручьями понимаются водотоки с резко колеблющимся стоком протяженностью до 10 км; под малыми реками – водотоки с колеблющимся стоком протяженностью от 10 до 100 км; под средними реками – водотоки с относительно устойчивым стоком, протекающие в пределах одной географической зоны; под крупными реками – водотоки с устойчивым стоком, протекающие в пределах нескольких географических зон [9, 15].

Ввиду того, что речные бассейны являются разомкнутыми геосистемами, в основе их целостности лежит направленный горизонтальный поток вещества, энергии и информации. При этом вещественным критерием целостности является отношение расхода потока в элементарном бассейне первого порядка к расходу потока в замыкающем створе геосистемы. Данный критерий целостности дополняется энергетической составляющей, которая характеризует отношение выноса органического вещества со стоком к валовой биологической продуктивности геосистемы, т.е. отношение энергии связи к валовому количеству энергии за год [9,15].

Сохранение геосистемы «речной бассейн» связано с процессами саморегуляции, сущность которой состоит в том, что система трансформирует и в определенной мере «гасит» направленные на нее возмущающие воздействия, в первую очередь за счет перераспределения вещества и энергии, и тем самым поддерживает как состояние внутреннего динамического равновесия, так и равновесия с окружающей ее средой. Нарушение равновесия приводит к изменению не только экологических и морфологических особенностей речных долин, но и к активной перестройке ландшафтов, расположенных в пределах водосбора, в соответствии с новыми условиями функционирования геосистемы. Саморегуляция осуществляется благодаря тому, что связи между компонентами геосистемы обладают определенной пластичностью, механизмы саморегуляции особенно ярко проявляются в гидрологических процессах, например изменение динамики стока и испарения зависит от количества влаги поступающей на водосбор. При этом необходимо учитывать, что реакция речных бассейнов на внешние воздействия прямо пропорциональна силе воздействия и обратно пропорциональна размеру бассейна, т.е. степень устойчивости данных геосистем зависит от их иерархического уровня [9, 15].

Важнейшей особенностью речных бассейнов является их динамическая активность, определяющая

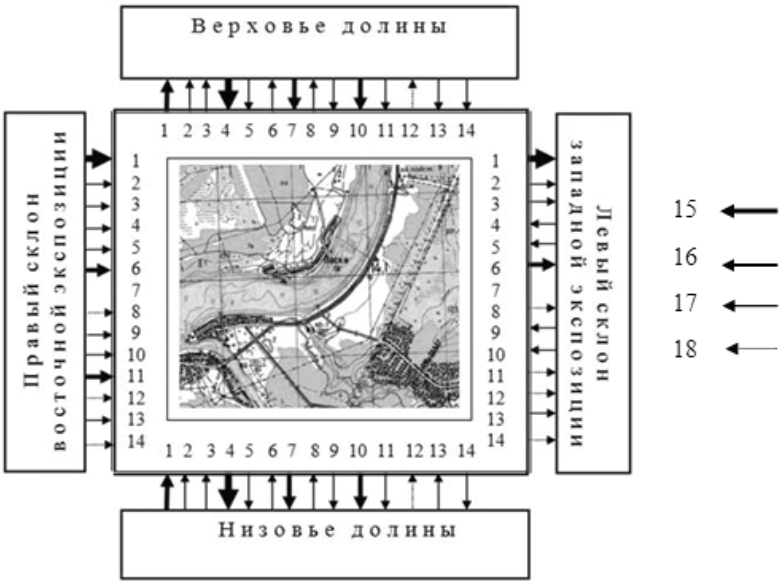

Рис. 1. Графическая модель переноса вещества в средней части речной долины (1 – ветер; 2 – перенос пара по воздуху; 3 – перенос облаков; 4 – поверхностный сток; 5 – грунтовый сток; 6 – перенос снега; 7 – перенос льда реками; 8 – перенос пыли по воздуху; 9 – твердый сток; 10 – автономная миграция животных по суше и водоемам; 11 – принудительная миграция животных по суше и водоемам; 12 – перенос пыльцы и спор по воздуху; 13 – перенос семян ветром и животными; 14 – перенос микробов водой, ветром и животными. Направление и интенсивностьмиграционных потоков: 15 – очень сильная; 16 – сильная; 17 – средняя; 18 – слабая)

изменение геоэкологических ситуаций. Она зависит от интенсивности обмена веществом и энергией между входящими в них смежными ландшафтными комплексами. При этом перенос вещества и энергии в речных бассейнах осуществляется сверху вниз: от коренных склонов к руслу реки, от истока к устью. Из данного обстоятельства вытекает важный для оценки геоэкологических ситуаций методический вывод, что режим реки, пойменный аллювий и характеристики стока в замыкающих створах водотоков являются индикаторами экологического состояния бассейна в целом [6, 13]. Следовательно, система «речной бассейн» обладает связями типа управления, имеющими каналы передачи информации, носителями и одновременно коллекторами, которой в пределах водосборов являются потоки влаги.

Целостность системы «речной бассейн» обеспечивается потоками вещества, энергии и информации, рис. 1 [3]. Любые изменения потоков в ее пределах отражаются на функционировании системы в целом.

При оценке геоэкологических ситуаций в пределах речных бассейнов вполне оправдано применение метода макроподхода «черного ящика», когда необходимые сведения о состоянии водосбора определяются по показателям, полученным на выходе геосистемы, в замыкающем створе водотока.

С середины 80-х годов XX века активную позицию в организации хозяйственного освоения территории и оптимизации природопользования получил бассейново-ландшафтный подход [2, 4, 5, 12]. Этот подход достаточно эффективен при управлении природно-ресурсным потенциалом территории и формировании социально-экономических систем.

В основе данного подхода лежат следующие концептуальные положения:

· географическая оболочка обладает бассейново-ландшафтной иерархией;

· бассейновые геосистемы характеризуются ландшафтной организованностью;

· в пределах бассейново-ландшафтных геосистем тесно взаимосвязаны природные условия и хозяйственная деятельность;

· бассейново-ландшафтные геосистемы – оптимальные территориальные единицы для контроля состояния природной среды;

· сопряженное использование картографического и имитационного моделирования бассейново-ландшафтных геосистем в среде ГИС – основа оптимизации природопользования.

Особенности управления социально-экономическими системами на бассейново-ландшафтной основе

При управлении развитием территории на основе бассейново-ландшафтного подхода речные бассейны рассматриваются в виде социально-экономических систем, состоящих из совокупности расположенных в их пределах природных и природно-антропогенных подсистем (природоохранных, природно-рекреационных, природно-промышленных, природно-аграрных, природно-селитебных и т.д.), рис. 2 [3].

Комплекс территориальных связей между элементами природы, хозяйства, населения и управления, осуществляющихся внутри речного бассейна определяет структуру социально-экономической системы (СЭС). Как и в любой сложной системе в СЭС, возникает иерархия, в которой каждый иерархический уровень имеет свои специфические связи. Следствием такой организации является несовпадение и противоречивость целей развития как подсистем, так и СЭС в целом. В результате этого возникает конкуренция за преобладание целей развития той или иной подсистемы. При этом в виду того, что природная подси-

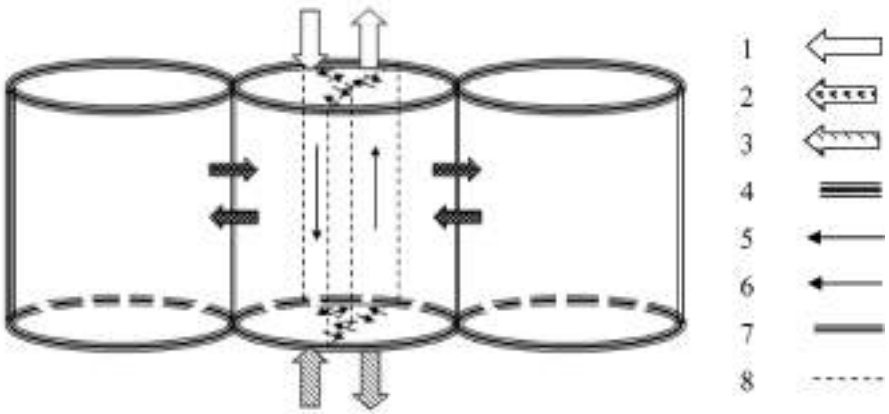

Рис. 2. Структура социально-экономической системы «речной бассейн» (потоки вещества и энергии: 5 – компонентные, 6 – структурно-морфологические; связи: 1 – с атмосферой, 2 – между подсистемами, 3 – с литосферой. Границы: 4 – природно-хозяйственной системы «речной бассейн»; 7 – природно-хозяйственных подсистем; 8 – структурных частей природно-хозяйственных подсистем)

стема СЭС не в состоянии осознано формулировать и отстаивать свои интересы, возникают проблемы в области природопользования.

Устойчивое функционирование СЭС может быть достигнуто только при условии ее правильного формирования, ориентированного на возможности природной среды выполнять задаваемые ей социально-экономические функции без нарушения функций жизнеобеспечения и отлаженного механизма контроля за протекающими в ней процессами [1, 2, 11].

Следует отметить, что формирование СЭС на основе бассейново-ландшафтного подхода сопряжено с рядом трудностей, связанных как с природной, так и социально-экономической составляющими системы. Крупные равнинные реки пересекают в своем течении, как правило, несколько географических зон. Управлять системой природопользования в таких бассейнах довольно трудно. Необходима дифференциация бассейна на сравнительно однородные части, а также обязательный учет современного хозяйственного освоения территории, степени её нарушенности и возможности эффективного управления системой. По мнению одних исследователей оптимальной территориальной единицей для планирования хозяйственной деятельности являются водосборные бассейны площадью порядка 60–100 тыс. га., а по мнению других – бассейны, имеющие площадь на порядок меньше. Однако во втором случае появляются межбассейновые пространства, которые невозможно однозначно отнести к одному из водосборных бассейнов, следовательно исчезает одно из практических преимуществ бассейнового подхода – определенность границ. На наш взгляд на первом этапе планирования хозяйственной деятельности в пределах речных бассейнов следует выделять их зональные отрезки со своей речной сетью, относящейся к системе крупной реки, а на втором этапе – водосборы малых рек.

При создании СЭС на бассейново-ландшафтной основе насыщение природной среды речного бассейна хозяйственными объектами изменяет сложившуюся структуру связей и нарушает «цепочки» ее самоорганизации. Это приводит к возникновению новой системы более высокого порядка сложности, чем природная среда. Возникновение такой системы логически требует создания адекватной по уровню ее сложности системы управления. В противном случае наступает так называемый «эффект фон Неймана», т.е. деградация и разрушение созданной СЭС.

Следовательно, СЭС, как управляемая система, должна включать в себя управленческий блок, однако организация природопользования на основе бассейново-ландшафтного подхода не имеет структур, обеспечивающих реализацию механизмов управления. Управление целиком привязано к административным единицам, границы и иерархия которых не совпадают с границами и иерархией бассейново-ландшафтных систем. Поэтому любые проекты организации рационального природопользования, составляющиеся в границах бассейново-ландшафтных систем, неизбежно будут иметь преимущественно теоретический характер.

Эту проблему невозможно решить формальным актом изменения административных границ с их приближением к природным границам. Несовпадение неизбежно в силу разных оснований, на которых базируется развитие природных и социально-экономических систем.

Подсистемы территориальной социально-экономической структуры имеют комплексный характер. Они охватывают все составные части общественного воспроизводства и формируются на разной элементной основе и разных территориальных связях в зависимости от иерархического уровня. При этом на каждом уровне иерархии может и должна замыкаться определенная часть воспроизводственной системы, что достаточно жестко определяет количество уровней иерархии в территориальной организации общества. Следовательно, при рациональной организации административного устройства нельзя произвольно менять количество уровней управления, чтобы приблизить его к иерархии природных геосистем.

Отсюда следует, что главная задача формирования СЭС на основе бассейново-ландшафтного подхода заключается в согласовании противоречивых требований разных подсистем, входящих в ее состав. Идеальным выходом было бы гармоничное сочетание всех имеющихся подходов к организации природопользования, однако довольно трудно внедрить экологические приоритеты в массовое сознание населения и органов управления, которые его обслуживают. Цели экономического (в лучшем случае социального) характера будут, вероятно, долгое время оставаться ведущими, а задачи рационального природопользования – подчиненными, хотя и важными.

Таким образом, приходиться выстраивать пирамиду целей, в соответствии с которой формировать СЭС. Важнейшей задачей при этом является организация управления в такой системе.

Административное деление и управление природопользованием может строиться на основе территориальных социально-экономических систем. Тогда в рамках одного административного образования может оказаться несколько бассейново-ландшафтных систем. В этом случае задача управления оказывается сравнительно простой. Власти местной администрации будет достаточно, чтобы учесть в своей политике задачи рационального природопользования. Возникает и второй случай, когда бассейново-ландшафтные системы оказываются разделенными между смежными административными единицами, который потребует включения иных процедур. Одним из направлений решения данной проблемы могут стать переговоры между всеми заинтересованными сторонами. Их результатом должен стать компромисс, предусматривающий те или иные компенсации потерь соответствующей стороне.

Формирование СЭС на бассейново-ландшафтной основе должно осуществляться в рамках реализации

следующей концепции. На каждом из уровней иерархии должно проводиться зонирование территории по преобладающим видам природопользования. При этом социально-экономический и бассейново-ландшафтный принципы организации структуры СЭС фактически не исключают, а дополняют друг друга. На уровне административной единицы с учетом рекомендаций вышестоящего органа или результатов консультаций с соседним регионом, определяются цели и основные направления социально-экономического и экологического развития территории в целом и ее отдельных зон. В пределах водосбора планируются объемы хозяйственной деятельности, а на уровне ландшафтов – характер проводимых мероприятий [2, 11]. В теоретическом плане эта концепция применительно к проблемам оптимизации природопользования пока детально не разработана. При этом следует учесть, что бассейново-ландшафтный подход к управлению СЭС недостаточно адаптирован к условиям освоенных территорий и особенностям функционирования управленческих структур.

Реализацию бассейново-ландшафтного подхода при разработке схем территориального планирования предлагается осуществлять в следующей последовательности:

1. Сбор и формирование базы данных для проведения исследований. Сбор исходных данных включает в себя изучение фондовых, литературно-справочных, статистических, аэрокосмических и картографических материалов, характеризующих физико-географические, геоэкологические условия как исследуемого региона в целом, так и изучаемых административных образований, входящих в регион. На данном этапе уясняется, какой собранный материал будет использоваться в качестве основного, а какой в качестве дополнительного и на этой основе окончательно определяются технологических особенностей выполнения работ.

В качестве базовой картографической основы целесообразно использовать топографические карты. Для проведения работ на региональном уровне наиболее оптимальными являются масштабы 1:200000–1:500000. В этом случае картографируемыми ландшафтными единицами являются типы ландшафтов. Для проведения работ на уровне бассейнов малых рек наиболее оптимальными являются масштабы 1:50000–1:100000. В этом случае картографируемыми ландшафтными единицами являются виды и подвиды ландшафтов. Главным диагностическим признаком вида является сходство доминирующих в ландшафте урочищ. Однако часто одновидовые ландшафты, при общности господствующих урочищ, различаются по их составу или занимаемой площади, что позволяет выделять внутри вида ландшафтов его морфологические варианты – подвиды. Для создания ландшафтных карт используются общепринятые методики.

Построение границ водосборов речных бассейнов, входящих в пределы изучаемого региона, осуществляется автоматизировано по цифровой модели рельефа базовой картографической основы с помощью программного обеспечения ГИС.

2. Геосистемный анализ территории. Он включает в себя: описание пространственно-временных характеристик ландшафтов, расположенных в пределах водосбора; анализ природных и антропогенных воздействий на ландшафты; интегральную оценку природно-ресурсных потенциалов ландшафтов с учетом их устойчивости к антропогенным нагрузкам; выделение экосистем, особо чувствительных к воздействиям; разработку критериев оценки и их показателей, совокупность которых составляет экологические стандарты качества экосистем разного уровня и видов природопользования, гарантирующих надежное функционирование проектируемой СЭС.

3. Интегральная оценка и зонирование территории по хозяйственному назначению и категориям защищенности. Она включает в себя: формирование природно-экологического каркаса территории состоящего из региональных ООПТ, защитных зон вдоль водотоков, путей миграции и мест обитания редких и исчезающих видов птиц и животных, памятников культурно-исторического значения и т.д.; проектирование хозяйственных и селитебных зон; выделение зон интенсивного и экстенсивного земледелия и животноводства; выделение зон рекреации и туризма.

4. Оценка экологической устойчивости проектируемых СЭС по критерию выноса биогенных веществ через замыкающие створы основных водотоков. Она включает в себя: создание схем биогенной нагрузки, формирующейся на водосборах; определение выноса биогенных веществ через замыкающий створ основного водотока; выбор экологически оптимальной стратегия землепользования на водосборе.

5. Разработка альтернативных вариантов развития СЭС и их долгосрочный социо-эколого-экономический анализ.

Выводы

На наш взгляд внедрение бассейново-ландшафтного подхода в территориальное планирование, особенно в пределах малоосвоенных территорий и зон опережающего развития, позволит создать реально действующий механизм устойчивого развития природно-антропогенных систем. Использование данного механизма даст возможность устранить многие противоречия возникающие как в экологической, так и в социально-экономической сферах деятельности территориальных образований. При этом в проводимых исследованиях должны широко использоваться результаты моделирования геоэкологических ситуаций, являющихся гибкими и подвижными механизмами управления социально-экономическими системами.

Исследования выполнялись при поддержке РФФИ (проект 16-05-00715-а).

Литература

1. Оценка геоэкологического потенциала геосистемы «речной бассейн» с использованием ГИС-технологий / Н.В. Арефьев [и др.] // Межвузовский сборник научных трудов по гидротехническому строительству. Московский государственный строительный университет. Санкт-Петербургский государственный технический университет. – М.: МГСУ, 2002. – С. 153–161.

2. Арефьев, Н. В. Оптимизация пространственной структуры природно-аграрных систем на бассейново-ландшафтной основе / Н.В. Арефьев, Г.К. Осипов, В.В. Гарманов // Сборник трудов симпозиума «Межрегиональные проблемы экологической безопасности» 17–20 сентября 2003 г., Сумы. – С. 390–398.

4. Арефьев, Н. В. Основы формирования природно-аграрных систем. Теория и практика / Н.В. Арефьев, В.П. Бреусов, Г.К. Осипов. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011. – 533 с.

4. Дмитриев, В. В. Эколого-географическая оценка земель при создании природно-аграрных систем с использованием бассейново-ландшафтного подхода / В.В. Дмитриев, А.Г. Осипов / Сборник трудов симпозиума «Межрегиональные проблемы экологической безопасности» 17–20 сентября 2003 г., Сумы. – С. 399–410.

5. Зотов, С. И. Бассейново-ландшафтная концепция природопользования / С.И. Зотов // Изв. РАН, Сер.геогр. – 1992. – № 6. – С. 55–56.

6. Зотов, С. И. Оценка гидроэкологической ситуации в Калининградской области / С.И. Зотов // Экологические проблемы Калининградской области и Балтийского региона: Сборник научных трудов. – Калининград, 2001. – С. 8–10.

7. Исаченко, А. Г. Уровни эколого-географического анализа и критерии оценки состояния природной среды / А.Г. Исаченко // Проблемы эколого-географической оценки состояния природной среды. – СПб.: Изд. РГО, 1994. – С. 41–56.

8. Корытный, Л. М. Бассейновая концепция в природопользовании: монография / Л.М. Корытный. – Иркутск: Изд-во Института географии СО РАН, 2001. – 163 с.

9. Корытный, Л. М. Бассейновый подход в географии / Л.М. Корытный // География и природные ресурсы. – 1991. – № 1. – С. 161–166.

10. Немыкин, А. Я. Методология изучения природопользования с использованием бассейнового подхода / А. Я. Немыкин // Вест. Воронеж, отд. Рус. географ. об. Воронеж. – 2004. – Т. 4. – С. 59–62.

11. Озелдинова, Ж. О. Применение геосистемно-бассейнового подхода при разработке оптимальной структуры природопользования / Ж.О. Озелдинова, Ж.Т. Мукаев // Науки о Земле: вчера, сегодня, завтра: материалы II междунар. науч. конф. (г. Москва, июнь 2016 г.). – М.: Буки-Веди, 2016. – С. 35–38.

12. Осипов, А. Г. Бассейново-ландшафтный подход к экологической паспортизации территории Ленинградской области / А.Г. Осипов, Г.К. Осипов // Региональная экология. – 2004. – № 3–4 (23). – С. 32–43.

13. Сергин, С. Я. Бассейновый принцип природопользования / С.Я. Сергин // Вопросы истории и теории физической географии. – Саратов, Изд. Саратов. университета, 1981. – С. 31–39.

14. Сочава, В. Б. Введение в учение о геосистемах / В.Б. Сочава. – Новосибирск: Наука, 1978. – 320 с.

15. Трифонова, Т. А. Речной водосборный бассейн как самоорганизующаяся природная геосистема / Т.А. Трифонова // Известия РАН. Серия географическая. – 2008. – № 1. – С. 28–36.

Оценка динамики природного каркаса урбанизированных территорий Воронежской области по материалам дистанционного зондирования земли

Assessment of natural framework dynamics of the urbanized territories of the Voronezh region according to the materials of sounding

Архипова / Arkhipova O.
Ольга Евгеньевна
(arkhipova@ssc-ras.ru)
кандидат технических наук, доцент.
ФГБУИ Институт аридных зон Южного научного центра РАН, ведущий научный сотрудник.
г.Ростов-на-Дону

Епринцев / Eprintsev S.
Сергей Александрович
(esa81@mail.ru)
кандидат географических наук, доцент.
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», доцент.
г. Воронеж

Ключевые слова: природный каркас – natural frame; урбанизированные территории – urban areas; дистанционное зондирование Земли – remote sensing of the Earth.

Работа посвящена использованию технологий космического мониторинга и методов дистанционного зондирования Земли для оценки динамики состояния урбанизированных территорий. Основой служат данные дистанционного зондирования Земли, полученные со спутников Landsat-7 и Landsat-8, а также официальные статистические данные природоохранных ведомств и органов государственного управления, представленные в виде текстовых описаний, табличных справочных данных и графических иллюстраций (карт, диаграмм, рисунков, фото-слайдов).
По материалам спутниковых данных на примере городов Воронежской области проведено комплексное геоэкологическое зонирование урбанизированных территорий и пригородных зон, определяющих природный каркас территории. В основу методики положен трехэтапный алгоритм, включающий расчет индекса NDVI, выделение основных зон природного каркаса на основе методов неконтролируемой классификации и расчета занимаемых ими площадей.

The work is devoted to the use of space monitoring technologies and methods of remote sensing of the Earth (RS) for assessing the dynamics of the state of urbanized territories. The basis is Earth remote sensing data obtained from the Landsat-7 and Landsat-8 satellites, as well as official statistics of nature protection agencies and government bodies, presented in the form of text descriptions, tabular reference data and graphic illustrations. During the classification of spatial objects using the NDVI method on the Landsat-7 and Landsat-8 satellite images, we obtained spatial relationships of the territories occupied by hydrological objects, green plantations that make up the natural framework of the territory, poorly and heavily anthropogenized territories. The methodology is based on a three-stage algorithm, including calculation of the NDVI index, identification of the main zones of the natural framework based on methods of uncontrolled classification and calculation of the areas occupied by them.

Введение

Возрастающие темпы урбанизации и индустриализации современного общества помимо положительных эффектов приводят к увеличению техногенного «давления» на окружающую среду, что влечёт возрастание величины экологического риска и снижение социальной комфортности для населения крупных городов [1, 5, 6, 7]. На фоне возрастающего геохимического загрязнения среды обитания у населения многих крупных промышленных городов проявляются экологически-обусловленные заболевания, что привлекает повышенное внимание ученых и экологов-практиков к исследованию механизмов формирования зон техногенного загрязнения и поиску эффективных путей оздоровления городской среды обитания [5–7]. В приведенном исследовании мы будем рассматривать геоэкологическое зонирование урбанизированных территорий как систему оценки степени кризисности (критичности) сложившегося состояния окружающей среды в результате взаимодействия природы и хозяйственной деятельности человека.

Для эффективного управления развитием территории на уровне принятия решений администрациями муниципальных образований важно выстроить систему критериев качества структуры и функционирования природного каркаса.

В качестве объекта исследования выбраны (природный каркас) урбанизированных территорий Воронежской области (рис. 1).

Широкое применение данных космической съемки, которое началось со второй половины XX века, позволило существенно расширить возможности исследования экологических факторов. Данные ДЗЗ являются одним из основных средств независимого мониторинга состояния окружающей среды. В результате развития методов дистанционного зондирования существенно упростился процесс картографирования земельных и водных

Рис. 1. Карта Воронежской области

ресурсов, почв, лесов, сельскохозяйственных посевов и городской инфраструктуры, оценки урожая и многое другое. При этом для дешифрирования объектов применяют как визуальные, так и численные методы анализа снимков [1, 4].

Методы и данные

Одним из элементов геоэкологического зонирования территории является ее природный каркас, который повышает качество аэрации урбанизированных территорий, а также степень разнообразия ландшафтов. Под природным (экологическим) каркасом территории, согласно эколого-проектировочной документации, понимается совокупность наиболее активных и взаимосвязанных в экологическом отношении пространственных элементов (реки и речные долины, лесные массивы и т.д.), от которых зависит жизнеустойчивость природной среды для данной территории [3]. Ключевые элементы природного комплекса – это территории, сохранившие уникальные экологические сообщества, являющиеся «точками экологической активности».

К базовым элементам природного каркаса относятся:

· ценные природно-территориальные комплексы, занимающие значительную часть территории района (как правило, это федеральные заповедники и заказники, национальные и природные парки, крупные по площади памятники природы);

· природно-территориальные комплексы основных водораздельных поверхностей формирования стоков рек;

· крупные лесные массивы (как правило, это защитные леса);

· крупные болотные и лесные природно-территориальные комплексы (ПТК), не имеющие статуса охраны.

В основу методики оценки динамики природного каркаса территории положено использование данных дистанционного зондирования Земли для исследования изменчивости состояния природного каркаса урбанизированных территорий под воздействием хозяйственной деятельности человека.

Изучение природного каркаса, как фактора экологической безопасности урбанизированных территорий, предполагает использование больших массивов данных, их обработку и картографирование, что делает необходимым применение современных геоинформационных технологий, позволяющих обеспечить сбор, анализ, обработку и визуализацию геоданных, а также получение на их основе новой информации о пространственно-координированных явлениях. Созданные цифровые карты исследуемых территорий обеспечивают точную привязку, систематизацию, отбор и интеграцию всей поступающей и хранимой информации (единое адресное пространство); комплексность и наглядность информации для принятия решений; возможность динамического моделирования процессов и явлений; возможность автоматизированного решения задач, связанных с анализом особенностей территории; возможность оперативного анализа ситуации в экстренных случаях [3].

Основой исследования служат данные дистанционного зондирования Земли, полученные со спутников Landsat-7 и Landsat-8, а также официальные статистические данные природоохранных ведомств и

Таблица 1

Содержание каталога космических снимков урбанизированных территорий и со спутников Landsat-7 и Landsat-8 (Воронежская область)

Основные города на снимке	Дата съемки	Идентификатор снимка
Воронеж, Нововоронеж, Лиски, Старый Оскол, Елец	2001, август, 10	LE71760242001222KIS00
	2016, август, 16	LC81760242016240LGN00
Россошь, Павловск, Богучар, Бутурлиновка	2001, август, 3	LE71750252001215SGS00
	2016, август, 20	LC81750252016233LGN00
Борисоглебск, Балашов	2001, август, 12	LE71740242001224KIS00
	2016, август, 29	LC81740242016242LGN00

Таблица 2

Цветовые обозначения на рисунках пространственного зонирования территорий

п/п	Цвет	Классификация территории	Описание
1	Синий	Водные объекты	Реки, озёра, водохранилище и прочие гидрологические объекты
2	Зелёный	Плотная зелёная растительность	Территории, составляющие природный каркас – леса, сады, скверы, природные урочища и иная густая зелёная растительность
3	Жёлтый	Слабо антропогенизированные территории	Открытая почва, сельскохозяйственные угодия, слабая зелёная растительность
4	Красный	Сильно антропогенизированные территории	Антропогенные сооружения – здания, автодороги и прочие объекты. Территории данной классификационной группы (за исключением селитебной эколого-функциональной зоны) могут рассматриваться как объекты экологического риска

органов государственного управления, представленные в виде текстовых описаний, табличных справочных данных и графических иллюстраций (карт, диаграмм, рисунков, фото-слайдов).

Для изучения природного (экологического) каркаса и временной динамики урбанизированных территорий Центральной России (на примере городов Воронежской области) создан архив многоканальных космических снимков Landsat-7 и Landsat-8, полученных на портале Геологической службы США (данные с сайта U.S. Geological Survey. https://earthexplorer.usgs.gov) за 2 периода: 1999–2002 годы и 2015–2016 годы (таблица 1). Содержание каталога представлено в таблице 1.

Для оценки состояния природного каркаса территории предложен трехэтапный алгоритм, состоящий из определения индекса NDVI, использования на втором этапе методов неконтролируемой классификации для выделения основных зон природного каркаса и расчета их площадей. Напомним, что расчет NDVI базируется на двух наиболее стабильных (не зависящих от прочих факторов) участках спектральной кривой отражения сосудистых растений. В красной области спектра (0,6–0,7 мкм) лежит максимум поглощения солнечной радиации хлорофиллом высших сосудистых растений, а в инфракрасной области (0,7–1,0 мкм) находится область максимального отражения клеточных структур листа. То есть высокая фотосинтетическая

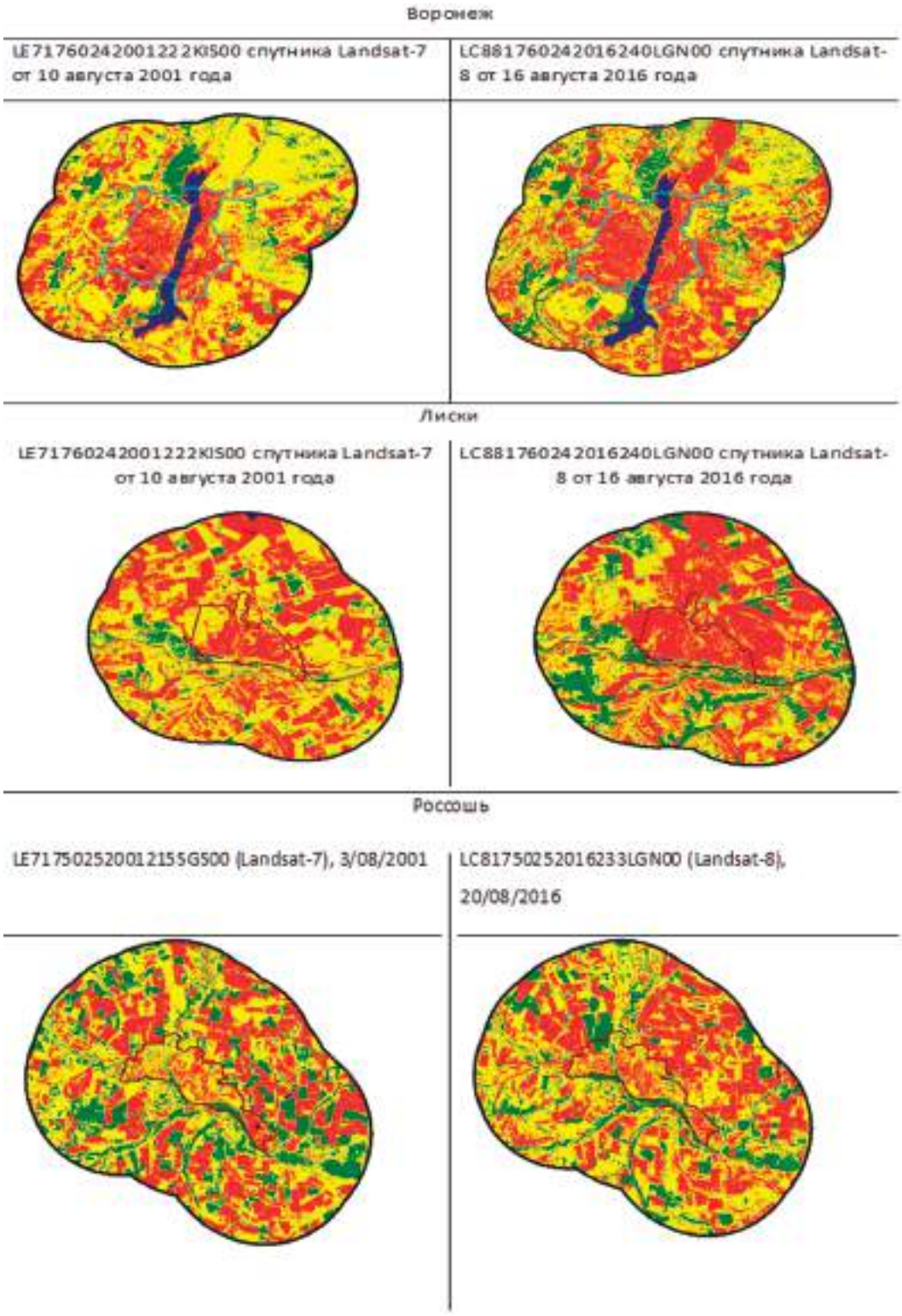

Рис. 2. Пространственное зонирование урбанизированных территорий Воронежской области (цветовые обозначения – согласно таблице 2)

активность (связанная, как правило, с густой растительностью) ведет к меньшему отражению в красной области спектра и большему в инфракрасной. Отношение этих показателей друг к другу позволяет четко выделять и анализировать растительность на фоне прочих природных объектов. Использование нормализованной разности между минимумом и максимумом отражений увеличивает точность измерения, позволяет уменьшить влияние таких явлений как различия в освещенности снимка, облачности, дымки, поглощение радиации атмосферой и т.д. [1, 4].

В ходе классификации пространственных объектов природного каркаса нами были получены пространственные соотношения территорий, занятых гидрологическими объектами, зелёными насаждениями, составляющими природный каркас территории, слабо и сильно антропогенизированными территориями. Исходными данными были выбраны снимки за период августа 2001 и 2016 года, на территории городов Воронежской области (согласно таблице 1), а также в 10-километровых буферных зонах указанных урбанизированных территорий (рис. 2). Ниже приводим полученные результаты по основным городам Воронежской области.

Наименования и описание классификационных единиц, обозначенных различными цветами на рис. 2, приведены в таблице 2.

Результаты и обсуждение

Анализ пространственного зонирования территории городского округа г. Воронежа и пригородной десятикилометровой зоны (в общей сложности 1246 км^2) (рис. 2), показал, что большая часть исследуемой территории (от 40 до 50 %) относится к слабоантропогенизированной зоне (рис. 3).

Основную долю слабо антропогенизированных территорий составляют сельскохозяйственные поля, прилегающих к городу Рамонского, Новоусманского и Семилукского административных районов (рис. 2).

Доля природного каркаса составляет 8–10% от общей площади территории. Однако следует отметить, что территории, составляющие природный каркас урбанизированной территории городского округа г. Воронежа, расположены преимущественно с северной стороны от города, что существенно снижает их положительное воздействие на микроклимат городской территории, поскольку по данным Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, преимущественное перемещение воздушных масс над территорией города Воронежа происходит преимущественно в северо-восточном направлении [9].

Сильно антропогенизированные территории, которые за исключением селитебной эколого-функциональной зоны могут быть рассмотрены как объекты экологического риска, расположены преимущественно внутри территории городского округа г. Воронежа, а также в районе иных более мелких урбанизированных территорий (рис. 2).

Анализ динамики изменения расположения различных зон за 15-летний период (рис. 4) установлено незначительное (в пределах погрешности методики) сокращение водных объектов, увеличение на 8% сильно антропогенизированных территорий, что может быть обусловлено активным строительством жилых объектов как на территории самого города Воронежа, так и в пригородной зоне (Бобяково, Сомово и др.), а также незначительное увеличение территории, относящейся к природному каркасу (менее 5%), что может быть обусловлено реализацией на данной территории различных федеральных и региональных природоохранных программ.

Снижение на 10% территории слабо антропогенизированной зоны городского округа г. Воронежа и пригородной десятикилометровой зоны (рис. 4) обусловлено увеличением сильно антропогенизированной зоны и зоны природного каркаса за счёт данной территории.

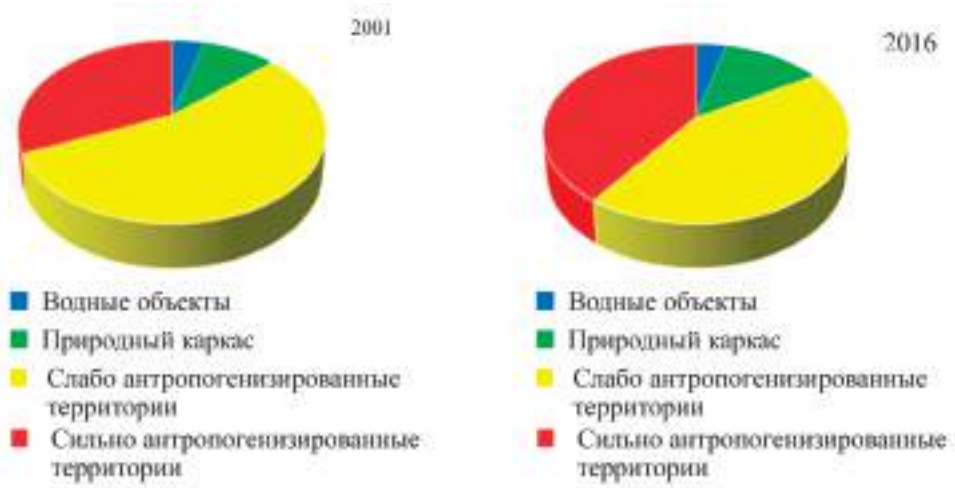

Рис. 3. Распределение категорий, выделенных зонированием территории городского округа г. Воронежа и пригородной десятикилометровой зоны

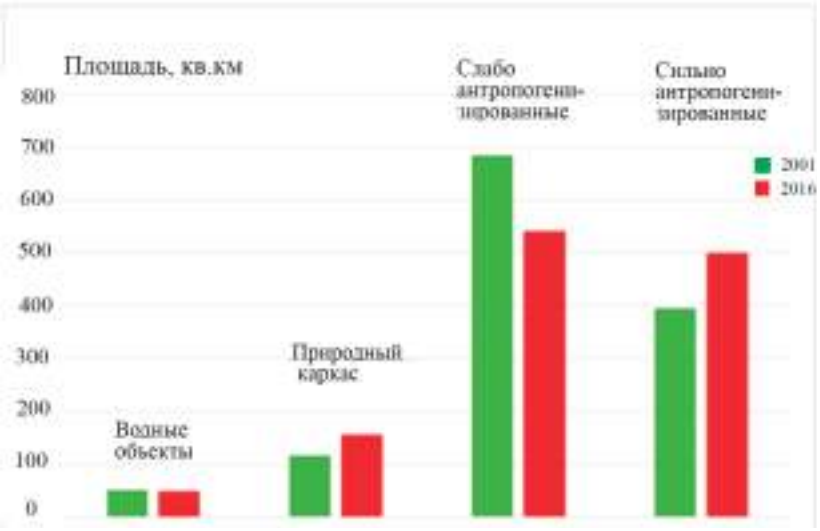

Рис. 4. Динамика распределение категорий, выделенных зонированием по методу NDVI территории городского округа г. Воронежа и пригородной десятикилометровой зоны

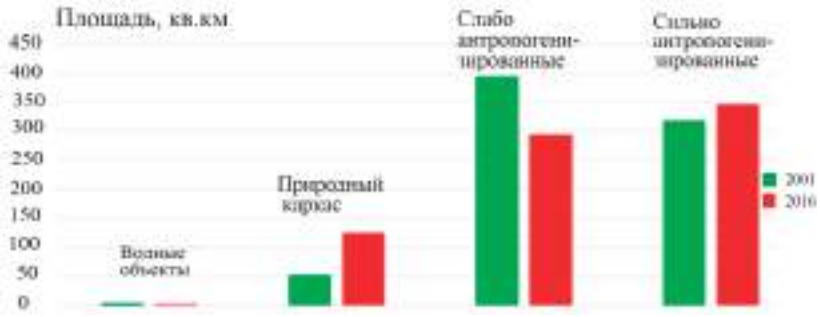

Рис. 5. Динамика распределение категорий, выделенных зонированием по методу NDVI территории г. Лиски и пригородной десятикилометровой зоны

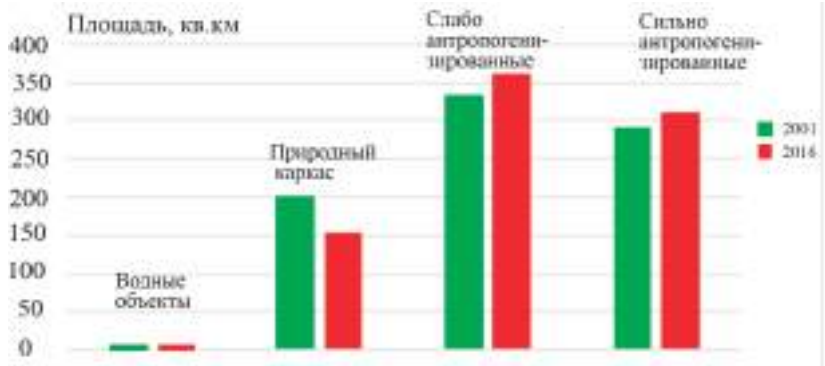

Рис. 6. Динамика распределения категорий, выделенных зонированием по методу NDVI территории г. Россошь и пригородной десятикилометровой зоны

Оценка пятнадцатилетней динамики пространственного зонирования 770 км², включающих территорию города Лиски и пригородную десятикилометровую зону (рис. 2) показывает незначительное сокращение гидрологических объектов, увеличение на 5% сильноантропогенизированной территории по причине активного строительства новых жилых микрорайонов (рис. 5).

В отличие от территории городского округа г. Воронежа, большую часть территории г. Лиски и пригородной десятикилометровой зоны в 2016 составляет сильно антропогенизированная территория, что обусловлено рядом социально-экономических причин. Город является важным железнодорожным узлом, градообразующее предприятие (локомотивное депо) активно развивается, ведётся активное строительство новых микрорайонов и др.

В качестве положительного экологического аспекта на территории города Лиски следует выделить увеличение территории природного каркаса за пятнадцатилетний период более чем на 10 %. Кроме того, увеличение данной территории происходит с наветренной от города юго-восточной стороны, что должно способствовать улучшению микроклиматических условий данной территории.

Наименования и описание классификационных единиц, обозначенных различными цветами на данных рис. 2, приведены в таблице 1.

Пространственный анализ территории города Россошь, являющегося центром химической промышленности Воронежской области, показал преобладание слабо антропогенизированной территории, что обусловлено доминированием низкоэтажной застройки и использованием городских территорий для удовлетворения сельскохозяйственных нужд граждан (рис. 6). В 2001 году сильно антропогенизированные территории располагались преимущественно за пределами городской территории в пригородной зоне (рис. 6). Однако рост российской экономики и увеличение качества жизни населения в стране в начале XXI века затронули и данную урбанизированную территорию. Активное строительство многоэтажных жилых домов увеличило сильно антропогенизированную зону в 2016 году внутри городской территории на 15% (рисунок 6).

В 2001 году территория, составляющая зоны природного каркаса, вблизи город Россошь составляла более 200 км², что примерно 25% от общей площади исследуемой территории города и пригородной десятикилометровой зоны – около 827 км². Однако в 2016 году площадь территории природного каркаса сократилась на 10%, что обусловлено природно-антропогенными лесными пожарами летом 2010 года.

Заключение

В работе предложена методика оценки динамики природного каркаса как фактора экологической безопасности урбанизированных территорий на основе данных ДЗЗ. В основу методики положен трехэтапный алгоритм, включающий расчет индекса NDVI, выделение основных зон природного каркаса на основе методов неконтролируемой классификации и расчета занимаемых ими площадей. На основе данных архива космоснимков на исследуемой территории выделены четыре основные зоны наиболее активных и взаимосвязанных в экологическом отношении пространственных элементов – сильно антропогенизированные территории, слабо антропогенизированные территории, зоны природного каркаса и водные объекты. Изучена динамика формирования данных зон, а также проведена оценка предпосылок их формирования.

Созданный в ходе исследования архив космоснимков на исследуемую территорию будет пополнен в дальнейшем новыми данными, что позволит существенно уточнить полученные результаты. По мнению авторов, данная методика применима для оценки реализации на данной территории различных федеральных и региональных природоохранных программ, и как следствие, для эффективного управления развитием территории на уровне принятия решений администрациями муниципальных образований.

В статье представлены результаты работ, выполненных при финансовой поддержке РФФИ; грант 16-05-00940–а РФФИ «Научно-методическое обоснование технологии интеллектуального анализа медико-экологической безопасности Южных регионов России».

Литература

1. Пространственно-временной анализ встречаемости онкологических заболеваний как индикатора медико-экологической безопасности / О.Е. Архипова [и др.] – Ростов-на-Дону, 2014. – 224 с.

2. Оценка засоренности антропогенных фитоценозов на основе данных дистанционного зондирования Земли (на примере амброзии полыннолистной) / О.Е. Архипова [и др.] // Исследования Земли из космоса. – 2014. – № 6. – С. 15–26.

3. Епринцев, С. А. Разработка геоинформационных ресурсов для изучения природного каркаса как фактора экологической безопасности урбанизированных территорий / С.А. Епринцев, О.Е. Архипова // Экология. Экономика. Информатика. Сборник статей: в 2-х т. Т. 2: Геоинформационные технологии и космический мониторинг. Вып. 1. – Ростов н/Д: Изд-во ЮНЦ АН, 2016. – С. 55–63.

4. Качалина, Н. А. Оценка засоренности агрофитоценозов Ростовской области с использованием гиперспектральных данных дистанционного зондирования земли / Н.А. Качалина, А.В. Гречищев, О.Е. Архипова // Информация и Космос. – 2016. – № 1. – С.17–34.

5. Воронеж: среда обитания и зоны экологического риска: монография / С.А. Куролап [и др.] – Воронеж: Истоки, 2010. – 207 с.

6. Медико-экологический атлас Воронежской области / С.А. Куролап [и др.]. – Воронеж: Истоки, 2010. – 166 с.

7. Эколого-географический атлас-книга Воронежской области / под редакцией В.И. Федотова. – Воронеж: Издательство ВГУ, 2013. – 512с.

Геоинформационное управление пространственно-распределёнными территориальными системами

Geoinformation control of the space distributed territorial systems

Каганович / Kaganovich A.
Андрей Александрович
(aak@itmo.spb.ru)
кандидат педагогических наук, доцент.
ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики»,
доцент кафедры ГИС.
г. Санкт-Петербург

Ключевые слова: объектно-ориентированный геоинформационный подход – object-oriented geo information approach; территориальные системы – territorial systems; управление – control; пространство – space; распределительные модули – distribution modules; модели – models; информационные массивы – information arrays; устойчивое пространственное неравновесие – steady space misbalance.

В статье, с позиций объектно-ориентированного геоинформационного подхода, рассмотрены вопросы определения уровня эффективности управления процессами, протекающими в сложных организационно-территориальных системах. Для повышения эффективности управления такого рода системами разработана пространственная алгоритмическая модель принятия управленческих решений. Разработана методика анализа характеристик локальных территориальных систем. Представлены основные информационные массивы, с помощью которых наиболее эффективно решаются практические задачи разноуровневого территориального управления.

In article, from positions of object-oriented geo information approach, problems of determination of control effective level of the processes proceeding in complex organizational and territorial systems are considered. For increase in effective management of such systems, the space algorithmic model of adoption of administrative decisions is developed. The analysis technique of local territorial systems is developed. The main information arrays by means of which practical problems of Territorial Department are most effectively solved are provided.

Факторные условия эволюционирования механизмов управления сложными системами, к которым безусловно относятся территориальные системы, включены в ряд процессов, носящих глобальный характер. К этим процессам относятся: процесс развития мировых рынков сбыта, процесс совершенствования системы управления различного рода системами и процесс развития возможностей информационных систем. Исходя из этого возникла уникальная возможность появления так называемого феномена «геоинформационного управления».

По нашему мнению, геоинформационным управлением считается процесс управления с привлечением пространственной информации. В этом случае целью геоинформационного управления является разработка наиболее эффективного уровневого варианта информационного обеспечения процесса управления. Основными элементами геоинформационного управления являются:

– прогнозная функция;
– функция планирования;
– организационная функция;
– функция контроля и мотивации.

Указанные функции должны эффективно соотносится с привлекаемой к управленческой деятельности пространственной информацией и нормативно-правовой базой.

Результатом геоинформационного управления является наиболее возможное эффективное и рациональное решение, которое принимается на основе существующих критериев, одними из которых являются пространственные характеристики и соответствующее атрибутное описание.

При этом пространство необходимо рассматривать более в широком смысловом контенте. По нашему мнению, пространство является неким мыслимым фундаментом, который является средой «обитания» других логических форм, разного рода конструкций и иных объектов.

В геоинформационном управлении все выше названные объекты представляют собой «точки» с набором свойств, которые соответствуют общим пространственным характеристикам и соотносятся с друг другом.

Пространственный подход к управлению системами безусловно расширяет возможности применения геоинформационных технологий. Данные технологии и системы необходимо рассматривать как основные обеспечивающие системы принятия решений результатом которых является развитие сложных организационных систем, в том числе и территорий. Данный подход увеличивает уровень эффективности управления территориями и конкретизирует управленческие подходы. Созданная пространственно-распределительная геоинформационная система становится неотъемлемой частью государственного, регионального и муниципального управления.

Развитие территорий, как многоуровневых пространственно-технических систем (МПТС), представляет собой процесс изменения качественных организационно-технических характеристик в пространстве и времени.

Исходя из вышесказанного, процесс управления развитием территориальных систем можно определить как процесс изменений, основанный на существующих факторных элементах и ориентированный на удовлетворения потребностей заинтересованных социальных групп. Данный процесс функционирует в условиях ограниченной ресурсной базы.

Геопространство при геоинформационном подходе к управлению территориальными системами включает в себя:

– Географическое пространство. Включает в себя размещение объектов в определённых системах координат. Характеризуется: координатами расположения объектов в пространстве, расстояниями между территориальными объектами, геометрическими конфигурациями территориальных объектов и их границами и др.

– Факторное пространство. Включает в себя размещение объективных и субъективных факторов, в той или иной степени влияющих на процесс принятия управленческих решений. Характеризуется: факторными параметрами, координатным положением в пространстве, степенью доступности к использованию в процессе управления и др.

– Событийное пространство. В данном случае, событие – это явление, которое ограничено во времени и пространстве. Это временной факт и результат полученных системой в ходе той или иной деятельности. Событие является уникальным явлением. Характеризуется: координатами и временем проявления, масштабами проявления, уровнем воздействия на МПТС и др.

– Фазово-атрибутное пространство. Данное пространство отражает жизненный цикл функционирования объектов во времени и пространстве. Характеризуется: наличием совокупности атрибутов и переменных в пространстве, которые взаимовлияют на объекты, отношения и связи.

– Пространство решений. Данный элемент геопространства является основой геоинформационного управления. Принятое решение является событием, объединяющим все элементы геопространства. Характеризуется: наличием координат, указывающих на границы пространства реализации управленческих решений, уровнем формализации управленческого решения и полнотой содержания принятого решения.

Большую роль в принятии пространственных решений играют субъективные факторы. К ним мы можем отнести культурные традиции пространства, динамику движения населения, уровень технологического и научного развития территории, уровень предпринимательского развития, состояние экономики территории и др.

Выделяются нижеследующие уровни пространственных решений:

– международный;
– государственный;
– региональный;
– муниципальный;
– организационно-групповой;
– организационно-индивидуальный.

Особенность структуры принятия пространственных решений состоит в том, что все управленческие решения находятся в определённых границах, т.е. связаны с ограничениями. Ввиду этого любое пространственное управленческое решением представляет собой конструкцию, состоящую из вертикальных и горизонтальных связей. Наличие большого числа субъектов пространственного управления, которые имеют свои локальные цели, приводят к ограничению вертикальной иерархии управления, но значительно усиливают значимость горизонтальных связей в общей системе пространственного управления.

В условиях технологического ускорения и глобализации в настоящее время сформировались новые глобальные центры пространственного управления и принятия решений. Становится ясно, что без учёта всех пространственных элементов эффективным процесс управления быть не может. При этом учёт пространственных элементов необходимо производить исходя из их ретроспективных характеристик. В обозначенных условиях важными элементами принятия пространственных решений являются человеческий фактор, экономическая деятельность, существующие социокультурные процессы и ограничения.

Процедура принятия пространственных решений зависит от сложности и уровня целевых установок, методов измерения, процедур принятия решения, алгоритмов согласования и способов предоставления гетерогенной информации.

Отличительной чертой геоинформационного управления территориями от других видов управления является его низкая динамика. От принятия решения до его реализации проходит достаточно длительный период. Ввиду этого геоинформационное управление носит стратегический характер.

В системе геоинформационного управления наиболее динамичными элементами считаются пространственные

объекты и пространственные субъекты. Это подтверждает адекватность геоинформационного управления как управления стратегического порядка. Имеющийся инструментарий геоинформационного управления позволяет нам сосредоточится на нескольких методах анализа, а именно: на институциональном анализе, экономическом анализе, техническом анализе, социальном анализе и экологическом анализе.

Геоинформационное управление с точки зрения институционального анализа принятых решений

Управленческие решения любого уровня учитывают внешние условия системы и практику управления этими системами. Другими словами, управленческие решения отражают принятые в обществе правила, т.е. действуют в рамках созданных обществом институтов. Институты являются ограничителями, которые способствуют организации взаимосвязей и взаимоотношений между субъектами и объектами управления. Данный подход способствует организации и развитию определённого порядка в системе, а ограничения формируют пространство, которое является средой для деятельности субъектов и объектов управления. Ограничения могут быть двух видов: формальные и неформальные. Формальные ограничения закреплены в официальных решениях и документах. Неформальные ограничения являются по своей природе добровольными, т.е. взятыми на себя по своей собственной инициативе. Всё вышеизложенное образует единую институциональную структуру.

Значимость институциональных условий и соответственно сложность этих условий возрастают с повышением уровня принятия управленческого решения. Высшим уровнем управленческого решения является международный и государственный уровень. Для данного уровня управления могут быть созданы специальные (особые) условия, вплоть до принятия отдельных международных постановлений и издания специальных нормативных актов.

Как показывает практика, институты принятия управленческих решений могут быть двух видов: формальные и неформальные [1–4]. Для использования полученных в ходе институционного анализа результатов, влияющей на принятие управленческого решения, существуют два условия для их применения:

– полученные результаты не ограничивают развития всей системы (условия «институционального согласия» системы);

– полученные результаты негативно влияют на функционирование и развитие системы (условия «институционального конфликта» системы).

Исходя из изложенного выше вытекает аксиома: главной задачей использования полученных результатов анализа системы для принятия пространственного решения в геоинформационном управлении является разрешения конфликта, который может заблокировать деятельность всей системы.

Рис. 1. Модель комплексного институционального анализа управленческих решений

Институты общей системы управления обязаны включать в себя новационные составляющие (организационные, социальные, инфраструктурные, социокультурные, технические, технологические и др.) и обязательно анализироваться в ретроспективном ракурсе. На рис. 1. представлен анализ благоприятных потенциальных возможностей реализации управленческих решений.

Геоинформационное управление с точки зрения экономического анализа принятых решений

Как известно, экономический анализ указывает на уровень эффективности принятых решений с социальной точки зрения и сопоставляет уровень используемых ресурсов к уровню достигнутых результатов. Требования, которые предъявляются к экономическому анализу принятых решений в рамках геоинформационного управления, должны отражать объективность, комплексность и системность экономической деятельности в пространстве.

В таблице 1 представлена классификация категорий экономического анализа в условиях геоинформационного управления.

Главный ориентир экономического анализа в рамках геоинформационного управления – это прогноз будущего состояния пространственно-распределённых систем, в том числе и территориальных. В связи с этим локальной целью экономического анализа является подготовка субъектам управления всех уровней достоверной, полной и своевременной информации для принятия последними эффективных управленческих решений. Данные решения безусловно должны быть направлены на достижения общих целей развития всей системы.

Геоинформационное управление с точки зрения технического анализа принятых решений

Технический анализ в рамках геоинформационного управления призван прежде всего предоставить органам управления информацию для наиболее эффективного выстраивания логических систем материального и нематериального формата.

Организационно-технические компоненты управленческого решения при организации механизма управления территориальными системами позволяют нам сконструировать структуру технического анализа и провести ранжирования всех направлений этой системы в зависимости от их значимости. Модель такой системы представлена на рис. 2.

Данный вид анализа особенно значим для Российской Федерации. Это обусловлено размерами территорий, инфраструктурными, социально-экономическими и другими атрибутами системы. Основными факторы технического анализа в рамках геоинформационного управления являются:

Таблица 1

Классификация категорий экономического анализа

Признаки	Содержание
Объекты управления	Народнохозяйственный (страновой, государственный), отраслевой, региональный, анализ в масштабе союзов, концернов, ассоциаций и др., местный, в масштабе предприятий, организаций
Аспекты исследования	Общеэкономический (финансово-экономический), технико-экономический, функционально-стоимостной, управленческий (функциональная диагностика)
Субъекты	Внешний, внутренний
Время проведения	Ежедневный, подекадный, ежемесячный, поквартальный, годовой, среднесрочный, долгосрочный (стратегический)
Характер решений	Итоговый, оперативный, перспективный (прогнозный)
Содержание	Полный (комплексный), тематический (частичный, выборочный)
Широта охвата	Внутрихозяйственный, межхозяйственный, региональный, национальный, международный

– природная среда;

– хозяйственная деятельность на заданной территории и уровень её воздействия на окружающую среду;

– социально-экономическая политика на заданной территории;

– состояния инфраструктуры территории.

Геоинформационное управление с точки зрения социального анализа принятых решений

Все принимаемые управленческие решения являются составной частью общей социально-экономической системы. В связи с этим мы рассматриваем управленческое решение как «социальное явление». Оно реализует управленческую функцию установления оптимальной взаимосвязи между социально-экономическими и экологическими подсистемами, а также взаимосвязь между органом управления и потребителем результатов принятых решений.

Социальные роли отдельно взятой личности и общества имеют концептуальную конструкцию. Один из вариантов такой социальной конструкции представлен на рис. 3.

Нами, на основании того, что общество в целом представляет собой непрерывный жизнедеятельный процесс, выделены так называемые «социальные институты» функционирующие в формате геоинформационного управления.

Социальный статус человека в современном обществе определяется тремя переменными: уровнем дохода, уровнем власти над другими людьми и уровнем почёта. Эти переменные учитывают ситуационную роль и другие основополагающие роли личности в обществе. Как и другие виды анализа, социальный анализ учитывает общие цели управленческого решения, а также все условия при которых такие решения вырабатываются и реализуются на практике.

Социальный анализ всегда ориентируется на решение проблем разрешения конфликта и указывает пути и способы достижения состояния относительной «бесконфликтности» между социальными группами во внешней и внутренней среде.

Геоинформационное управление с точки зрения экологического анализа принятых решений

Экологический анализ геоинформационного пространственного управления направлен прежде всего на выявления источников «экологической выгоды»

Рис. 2. Модель комплексного технического анализа решения

или «экологического ущерба». Специфика данного вида анализа выявления экологических выгод и ущербов при геоинформационном пространственном управлении состоит в:

– несформированности рынков экологических товаров и услуг;

– отсутствии чёткой определённости прав собственности на природные блага;

– нечёткостью проявления и распределения «внешних эффектов» (экстерналий) в пространственно-временном формате;

– распределении ответственности за оценки «внешних отрицательных эффектов» между большим количеством независимых экспертов;

– сложности оценить в количественном эквиваленте уровень выгоды и ущерба.

Экологическое состояние многоуровневых пространственно-технических систем и территории можно характеризовать двумя группами факторов, показанных на рис. 4.

Специфическими чертами экологического анализа в рамках геоинформационного управления считаются результаты, с помощью которых определяется привлекательность пространств и пространственно-распределённых систем с точки зрения рисков для жизнедеятельности населения.

Рассмотренные методы анализа, функционирующие на базисной основе геоинформационного управления пространственно-распределёнными системами и территориями, не являются достаточными для процесса принятия наиболее эффективного управленческого решения. Это связано с ниже перечисленными требованиями:

– интеграция на одной территории субъектов и объектов разного уровня управления – от муниципального до федерального;

– использование информации, которая неравномерно распределена в пространственно-временном формате;

– использование при принятии решения информации о природных факторах;

– оценка уровней рисков при принятии управленческого решения и оценка разнородной информации.

Исходя из представленных требований к принятию эффективного управленческого решения в рамках геоинформационного управления, таковыми дополнительными методами являются: дорожное картирование, кластерный анализ территорий, методы управления рисками.

Геоинформационное управление при применении метода дорожного картирования

Мы рассматриваем дорожное картирование как сценарий возможного поэтапного, многоуровневого и многостороннего развития не только территории, но и отдельных объектов, технологий, отраслей народного хозяйства, бизнес-структур, расположенных в

Рис. 3. Взаимосвязь социальной роли личности и общества

Рис. 4. Экологические факторы развития территории

данной среде. Иными словами, мы имеем дело с так называемой «дорожной картой» [5, 20]. Но при геоинформационном управлении территориями, нам необходимо отрабатывать так называемые «технические дорожные карты».

Техническая «дорожная карта» представляет собой документ, выполненный в виде графической блок-схемы, некого алгоритма действий, сетевого графика выполнения работ и др. Техническая «дорожная карта» обязательно должна иметь так называемую «базовую точку», в которой отображаются важнейшие задачи, выполнение которых приведёт к достижению поставленной в дорожной карте цели.

«Базовая точка» технической «дорожной карты» – это этап принятия управленческого решения, в котором хорошо отражается связь между задачами данного этапа и целями, и задачами последующих «базовых точек» дорожной карты. Техническая «дорожная карта» также отражает наиболее вероятные риски при решении тех или иных задач этапа, рекомендует наиболее эффективные механизмы и отдельные инструментарии с помощью которых, достигаются поставленные цели.

Существуют следующие виды технических «дорожных карт» [6, 17]: отраслевые, корпоративные, технологические, процессные.

Геоинформационное управление при применении метода кластерного анализа территорий

Данный подход в механизме геоинформационного управления территориями является одним из самых эффективных. Данный подход стимулирует инновационную составляющую общей системы управления, стимулирует развитие передовых технологий при обязательной совместной экономической деятельности всех субъектов территориальной среды [7, 19]. Важным внутрикластерным элементом при геоинформационном управлении территориями является «кластерный анализ». Кластерный анализ – это многомерный и многоуровневый процесс сбора, обобщения, анализа и прогнозирования информации, касающейся объектов территориального развития. Для получения максимально точного результата, все объекты анализа группируются в «классы». Объекты, входящие в тот или иной класс, имеют признаковые различия.

Практика показывает, что кластерный анализ эффективно применяется в особо опасных состояниях среды, когда изменения объектов данной среды изменяют выходные показатели зависимых переменных от входных воздействий на территориальные объекты или в целом на среду.

В ходе практической управленческой деятельности нами выделены три вида кластеров: интегрированные точечные сектора с границами в пределах региона (НИИ, Вузы и др.); вертикально интегрированные производственные системы; интегрированные отраслевые структуры.

Принципы формирования кластеров при геоинформационном управлении территориями: географический, мультиотраслевой, вертикально интегрированный, латеральный, фокусно-интегрированный.

Все методы кластерного анализа делятся на две большие группы: группа, основанная на аналитике данных поступающих от официальных органов статистики и группа, основанная на анализе косвенной информации или с позиций оценки экспертов.

Геоинформационное управление при применении метода управления рисками

Метод «управления рисками», применяемый к геоинформационному управлению территориями, является одной из основополагающих функций общей системы управления. Данный метод в системе геоинформационного управления территориями представлен процессом воздействия субъекта управления на объект управления. Цель данного процесса – максимальное снижение уровня опасности для многоуровневых производственных систем, территории и экологии. Данный метод предполагает для решения задач геоинформационного управления привлекать пространственную информацию.

Явление «опасности» – это последствия воздействия отрицательных и других негативных факторов [9, 16]. Факторы, воздействующие на субъекты и объекты среды при геоинформационном управлении, могут быть как внешними, так и внутренними. Опасность мы можем квалифицировать как процесс, вызывающий нежелательные последствия как в рамках одного объекта, так и на всей территории. Оценка опасностей в рамках геоинформационного управления производится в соответствии с требованиями оценки уязвимости многоуровневой системы. Взаимосвязанными элементами такой системы являются: человек, общество, техносфера и геосистема [10, 15].

Оценка опасных факторов производится в виде:

– прямого ущерба;

– косвенного ущерба;

– потенциального ущерба.

При геоинформационном управлении территориями обнаруживаются характеристики, которые приводят среду и объекты, расположенные в этой среде, к неотвратимому наличию так называемых «рисков развития» [8, 18]:

– риски освоения территорий и других организационно-сложных пространственных систем;

– риски, которым подвергнуты любые открытые системы;

– риски техногенного, социального, экономического, информационного и экологического характера;

– риски пространственно-временного характера, образующие зоны и интервалы негативного воздействия на объекты и среду в целом.

В таких условиях функционирования механизма геоинформационного управления территориями определяется «геоинформационный алгоритм управления», который представляет собой «геоинформационную цепь управления»: «сбор, обобщение и анализ рисков развития – нормирование рисков территориального развития – оценка защищённости среды и объектов риска – разработка и реализация мероприятий, направленных на повышения уровня защиты территориальной среды и отдельных объектов, – оценка функционирования механизма геоинформационного управления территориями – анализ рисков развития следующего порядка».

В механизме геоинформационного управления территориями принято применять «средний индекс риска» [11, 12], который в данном аспекте рассматриваемой научной проблеме характеризует «относительную величину нереализованного потенциала развития» [13, 14]:

$$R_{\text{общ}} = \sum_{j=1}^{n} \frac{Q_j k_j}{n} \qquad (1)$$

где $Q_i = 1 - P\ (X_i \in D_i)$ – вероятность наступления риска по i событию; X_i – события, влияющие на потенциал территории; D_i – границы допустимых значений для параметров X_i; K_i – коэффициент ущерба; n – количество исследуемых параметров.

Средний индекс риска находится в значениях от 0 до 1. Он довольно точно определяет уровень потенциально возможных потерь и является прогнозным значением для событий, которые мы прогнозируем в процессе развития территорий.

Результаты проведённого исследования демонстрируют, что основу геоинформационного подхода к управлению территориями составляет пространственная информация. При данном виде управления, пространство рассматривается нами как некая «мыслимая логическая среда», которая является «местом» для размещения всех других объектов и разного рода конструкций. Процесс привлечения любой пространственной информации возможен только в условиях проведения институционального, экономического, технического, экологического и социального анализа имеющегося потенциала развития той или иной территории. Методы, которые применяются в обосновании тех или иных управленческих решений при геоинформационном подходе к управлению территориями, должны отвечать строго определённым требованиям. Данным требованиям при геоинформационном подходе отвечают несколько методов – методы построения «дорожных карт», метод «кластерного анализа» и метод «управления рисками территориального развития».

Литература

1. Присяжнюк, С.П. Феномен информации / С.П. Присяжнюк // Информация и Космос. – 2013. – № 1. – С. 11–12.

2. Присяжнюк, С. П. Геоинформационная система поддержки принятия решений и управления Соловецким архипелагом / С.П. Присяжнюк, И.А. Иванов, Д.В. Карманов // Информация и Космос. – 2014. – № 4. – С. 86–93.

3. Каганович, А. А. Территориально-хозяйственная агроформация / А.А. Каганович. – Москва: Издательский дом «НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА», 2014. – 352 с.

4. Davis, D. R. Bones, Bombs and Break Points: The Geography of Economic Activity / D.R. Davis, D.E. Weinstein // American Economic Review. – 2002. – P. 1269–1289.

5. Fiani, R. Increasing Returns, Non-Traded Inputs and Regional Development / R. Fiani // Economic Journal. – 1984. – P. 308–323.

6. Fujita, M. When is the economy monocentric: von Thunen and Chambertin unified / M. Fujita, P. Krugman // Regional Science and Urban Economics. – 1995. – P. 254.

7. Fujita, M. Structural stability and evolution of urban systems / M. Fujita, T. Mori // Regional Science and Urban Economics. – 1996. – Vol. 27. – P. 4–5.

8. Ago, T. Locational Disadvantage of the Hub / T. Ago, I. Isono, T. Tabuchi // The Annals of Regional Science. – 2006. – Vol. 40. – P. 819–848.

9. Amiti, M. Trade and Industrial Location with Heterogeneous Labor / M. Amiti, C.A. Pissarides // Journal of International Economics. – 2005. – Vol. 67. – P. 392–412.

10. Countries, Regions and Trade: On the Welfare Impacts of Economic Integration / K. Behrens [et al.] // European Economic Review. – 2007. – Vol. 51. – P. 1277–1301.

11. Corpataux, J. Economic Theories and Spatial Transformations: Clarifying the Space-Time Premises and Outcomes of Economic Theories / J. Corpataux, O. Crevoisier // Journal of Economic Geography. – 2007. – Vol. 7. – P. 285–310.

12. Davis, D. R. A Search for Multiple Equilibria in Urban Industrial Structure / D.R. Davis, D.E. Weinstein // Journal of Regional Science. – 2008. – Vol. 48, No. 1. – P. 29–65.

13. Dixit, A. K. Monopolistic Competition and Optimum Product Diversity / A.K. Dixit, J.E. Stiglitz // American Economic Review. – 1977. – Vol. 67, No. 3. – P. 297–308.

14. Head, K. Increasing returns versus national product differentiation as an explanation for the pattern of U.S.-Canada trade / K. Head, J. Ries // American Economic Review. – 2001. – Vol. 91, No. 4. – P. 858–876.

15. Hoare, T. Book review «Geography and Trade. P. Krugman» / T. Hoare // Regional Studies. 1992. Vol. 26. № 7. Pp. 679–680.

16. Kancs, A. The Economic Geography of Labour Migration: Competition, Competitiveness and Development / A. Kancs // Applied Geography. – 2011. – Vol. 31. – P. 191–200.

17. Krugman, P. Increasing Returns, Monopolistic Competition, and International Trade / P. Krugman // Journal of International Economics. – 1979. – Vol. 9. – P. 469–479.

18. Martin, Ph. Industrial Location and Public Infrastructure / Ph. Martin, C.A. Rogers // Journal of International Economics. – 1995. – Vol. 39. – P. 335–351.

19. Murata, Y. Product Diversity, Taste Heterogeneity, and Geographic Distribution of Economic Activities: Market vs. Non-Market Interactions / Y. Murata // Journal of Urban Economics. – 2003. – Vol. 53. – P. 126–144.

20. Samuelson, P. A. Transfer Problem and the Transport Cost, II: Analysis of Effects of Trade Impediments / P.A. Samuelson // Economic Journal. – 1954. – Vol. 64, No. 254. – P. 264–289.

Предложения по структуре геоинформационной системы мониторинга охотничьих ресурсов

Offers on structure of the geographic information system of hunting resources control

Греков / Grekov O.
Олег Альбертович
(airops@yandex.ru)
кандидат военных наук, доцент.
ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный заочный университет», доцент кафедры биоэкологи.
г. Балашиха Московской обл.

Ключевые слова: геоинформационная система – geographic information system; охотничьи ресурсы – hunting resources; управление – control; электронная карта – electronic card, 3-D модели – 3-D models.

Для эффективного управления охотничьими ресурсами страны необходимо создание надежного информационного обеспечения. Современные программные средства и цифровые информационные технологии позволяют реализовывать на сетевых ресурсах геоинфомационные системы, представлять искомую информацию как в мультимедийном, так и традиционном виде.
ГИС должна строиться модульно, по иерархическому принципу, отражающему уровни управления охотничьими ресурсами.

Effective management of hunting resources of the country requires creation of reliable information support. Modern software and digital information technologies allow implementing geo information systems on network resources, to provide required information as in a multimedia and traditional look. GIS has to be under construction modularly, by the hierarchical principle reflecting levels of hunting resources control.

Основой выработки рациональных управленческих решений в системе учета охотничьих ресурсов является информация об их численном и видовом составе, состоянии, местоположении, путях миграции, состоянии среды их обитания.

Эта информация поступает как из охотхозяйств, так и с борта мобильных средств получения информации. К ним относится космические и авиационные комплексы.

Хотя современный уровень цифровой обработки информации достаточно высок, но при обработке первичной информации цифровые системы используются автономно (приемники спутниковых навигационных систем (СНС), бортовое фото и ИК-оборудование, системы цифровой обработки информации и т.п.). В результате итоговая информация представляется в виде графоаналитических материалов (таблиц, графиков, диаграмм и т.п.).

С началом 2000-х годов началось совершенствование информационных систем на основе внедрения геоинформационных технологий. Это позволило создавать качественно новые информационные модели на основе пространственной и семантической информации.

Стали разрабатываться не только 3D, но и 4D-интерактивные стереомодели местности с возможностью интерактивного управления информацией на их фоне для решения широкого круга задач. Такие системы получили название геоинформационных (ГИС). В них реализуются алгоритмы сбора, обработки, анализа, моделирования и отображения информационных данных на фоне цифровых моделей местности. Кроме того, специальное математическое программное обеспечение (СМПО) позволяет решать сложные информационные и расчетные задачи и получать искомые показатели, которые могут быть представлены в цифровом, мультимедийном и традиционном виде.

Процесс разработки информационного обеспечения ГИС управления охотничьими ресурсами крайне сложен. Эта система управления включает несколько уровней – от федерального до локального (охотхозяйства), а пространственный размах огромен – охватывает охотничьи угодья в масштабах всей страны.

Поэтому и ГИС этой системы управления должна быть построена по иерархическому принципу (от охотхозяйств до центральных органов принятия решений). Моделирование процесса управления должно привести к созданию рациональной структуры информационного обеспечения с выделением функциональных подсистем.

Информационный процесс, проходящий в системе, может быть подразделен на процессы:

– сбора и предварительной обработки информации;
– анализа и выявления достоверных данных учета;

– моделирования информационного процесса;

– расчета требуемых показателей;

– представления результатов расчетов по запросам в требуемом виде;

– архивации и хранения.

Информационный процесс в системе должен отвечать требованиям безопасности.

Источниками информации могут быть как базовые (ранее разработанные) модели, так и оперативная информация.

К базовым моделям могут относиться ГИС: ландшафтных зон, лесного устройства, охотустройства, климатических районов, сейсмоопасных районов, лесопожарного мониторинга (ИСДМ-Рослесхоз) и др.

В основе таких ГИС лежат базовые алгоритмы расчетов, сложное СМПО и 3D модели местности, построенные на базе электронных картах.

Оперативная информация об охотничьих ресурсах, поступающая в систему, может быть по своему типу пассивной или активной.

К пассивной информации относятся данные, получаемые как от сотрудников охотхозяйств, так и от технических систем, построенных на разных физических принципах.

Сотрудники охотхозяйств получают данные о диких животных при наблюдении за ними в угодьях (на подкормочных площадках), а также в период ЗМУ исследованием их следов. Для этого определяются маршруты учета, которые вводятся в память приемников СНС, а полученные данные с координатами в цифровом виде направляются по инстанции.

Для экстраполяции данных ЗМУ применяются разные математические методы [9].

Технические средства, посредством которых добывается пассивная информация об объектах учета в видимом, инфракрасном диапазонах и посредством радиолокации, могут располагаться как на стационарных (фотоловушки, наблюдательные вышки и мачты), так и на подвижных платформах (авиационных, космических).

В настоящее время по соответствующим запросам осуществляется доступ к космическим снимкам нужного диапазона, как в реальном масштабе времени, так и архивным с определенной временной привязкой (рис. 2).

С развитием цифровой техники в практике авиационного учета охотничьих ресурсов все шире стали применяться новые системы получения данных – цифровые видео и фотокамеры, тепловизионные системы, лазерные сканеры земной поверхности [3] (рис. 3).

Получаемая от них информация в цифровом виде поступает в высокопроизводительные процессоры куда также поступает также информация от СНС (GPS, ГЛОНАСС).

Результатом обработки выступает интегрированная информация, которая может отображаться на фоне электронной карты местности и представляться в виде 3D модели.

Современными авиационными платформами, на которых устанавливаются бортовые комплексы мониторинга, для получения данных об охотничьих ресурсах и элементах среды их обитания, выступают легкие самолеты и вертолеты, дирижабли, беспилотные летательные аппараты [3].

Разработка современного СМПО для обработки цифровой информации, получаемых от спутниковых и авиационных систем, в т.ч. и от реализации техно-

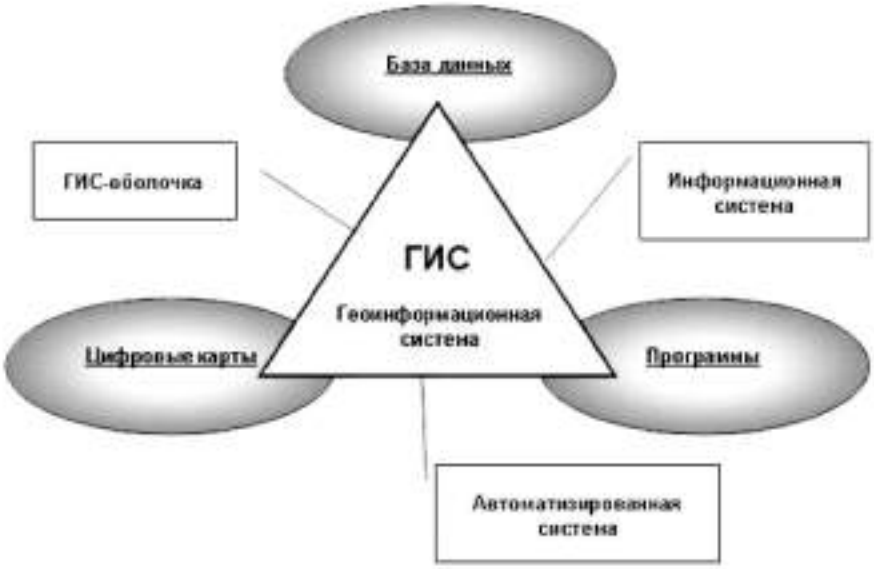

Рис. 1. Структура геоинформационной системы

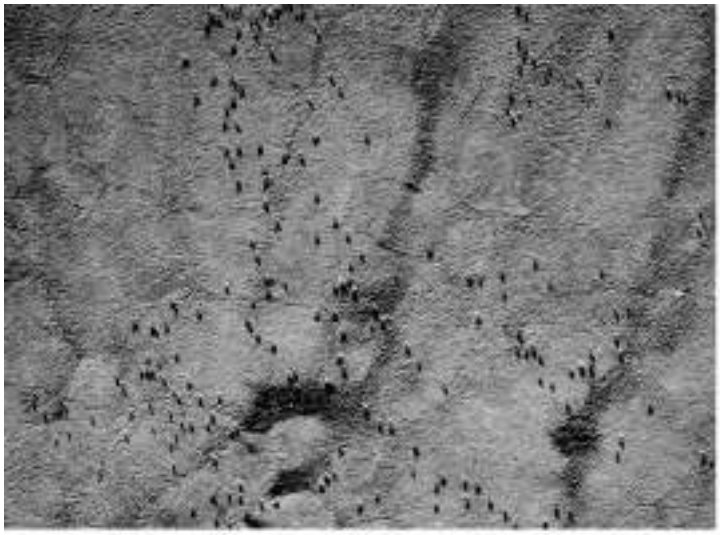

Рис. 2. Увеличенный снимок сайгаков из космоса

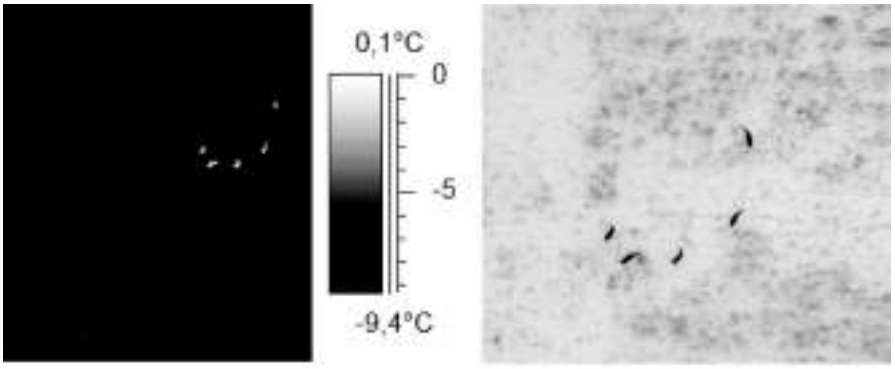

Рис. 3. Одновременный ИК-снимок (слева) и фотоснимок (справа) пяти лосей

Рис. 4. Схема передачи информации с борта БПЛА в on-line режиме

логий дистанционного зондирования земли, позволяет создавать высокоэффективные ГИС.

Из традиционных технологий следует отметить программное обеспечение для ГИС, которое может расширяться на основе уже имеющихся пакетов для решения фотограмметрических и картографических задач. К активной оперативной информации относятся данные о положении и состоянии объектов учета, получаемые от малогабаритных устройств слежения (МАУС), которые устанавливаются на теле диких животных [2]. Информация может передаваться как в стандарте GSM, так и по спутниковым каналам связи.

Создание телекоммуникационных систем, соответствующих современным требованиям обмена информацией, повысило эффективность информационного обмена в системе (рис. 4).

ГИС мониторинга охотничьих ресурсов должна использовать как данные об объектах, характеристиках земной поверхности, информацию о формах и связях между объектами, различные описательные сведения, так и оперативную информацию (пассивную и активную) и отображать ее на фоне базовых моделей или решать прогнозные задачи.

В существующих ГИС используются различные приемы для отображения реальности с использованием соответствующих моделей данных, т.к. каждая модель описывает определенную область данных. Исходя их этого, в ГИС управления охотничьими ресурсами должны применяться разных модели, информационно связанные между собой.

Модели объектов ГИС состоят из более простых частей – моделей данных, которые имеют сложную многоуровневую структуру, в которой нижние уровни состоят из элементарных (атомарных) моделей данных. Из элементарных моделей конструируются более сложные. Конструирование, или проектирование сложных моделей на основе более простых, зависит от выбора структуры сложной модели, от типа связей в сложной модели и от качественных характеристик элементарных моделей.

К особенностям ГИС следует отнести наличие больших объемов хранимой в них информации. Кроме того, они отличаются специфичностью организации и структурирования моделей данных.

ГИС характеризуются разнообразием графических данных со специфическими их частями и связями. В частности, карта может быть рассмотрена как двухмерная аналоговая модель, отображающая трехмерную поверхность.

Отображаемые в ГИС данные рассматриваются с учетом трех аспектов: пространственного, временного и тематического.

Пространственный аспект связан с определением местоположения объектов учета.

Временной – с изменениями объекта или его местоположения с течением времени. Примером временных данных служат результаты численности популяций того или иного вида охотничьих животных.

Тематический аспект обусловлен выделением одних признаков объекта и исключением из рассмотрения других.

В ходе мониторинга местоположения и состояния охотничьих ресурсов осуществляется сбор и обработка данных об элементах среды их обитания, особенностям ландшафтных зон, моделирование и анализ экологических процессов и тенденций их развития, а также использование данных при принятии управленческих решений.

Результатом моделирования должны быть оперативные данные трех типов: констатирующие (измеренные параметры состояния объектов учета и среды их обитания), оценочные (результаты обработки оперативных данных и полученные на этой основе оценки состояния охотничьих ресурсов), прогнозные (прогнозирующие влияние факторов внешней среды на состояние и пути миграции диких животных к определенному периоду времени).

Из этого следует, что в ГИС мониторинга охотничьих ресурсов должны применяются в первую очередь динамические модели. В силу этого большую роль в них играют технологии создания электронных карт (рис 5).

Совокупность всех перечисленных трех типов данных составляет основу мониторинга состояния объектов учета и элементов среды их обитания.

В системе учета охотничьих ресурсов за счет реализации современных технологий 3D моделирования на едином геоинформационном пространстве эффективность управленческих решений могла быть значительно повышена за счет оперативности обработки данных и выработки управляющих воздействий, повышения достоверности и защиты информации, циркулирующей в системе.

В такой системе были бы органично объединены подсистемы информационного, технического, программного и организационного обеспечения.

В основе геоинформационного обеспечения должны лежать результаты сканирования земной поверхности с использованием спутниковых и авиационных (пилотируемых и беспилотных) систем, оборудованных комплексом средств дистанционного зондирования земной поверхности (фото, ИК-съемки, лазерного и радиолокационного сканирования).

Геопростаранственные 3D модели позволяют изучать среду обитания диких животных в интересующих регионах (рис. 6).

Разработка специальных информационных подсистем или сопряжение с действующими федеральными ГИС позволит анализировать и прогнозировать стации обитания и пути миграции животных при изменении внешних условий.

К таким информационным подсистемам могут относиться система учета лесного фонда, метеорологии и климатологии (прогноз неблагоприятных погодных

Рис. 5. Фрагмент электронной карты с маршрутами полетов БЛА по учету охотничьих животных

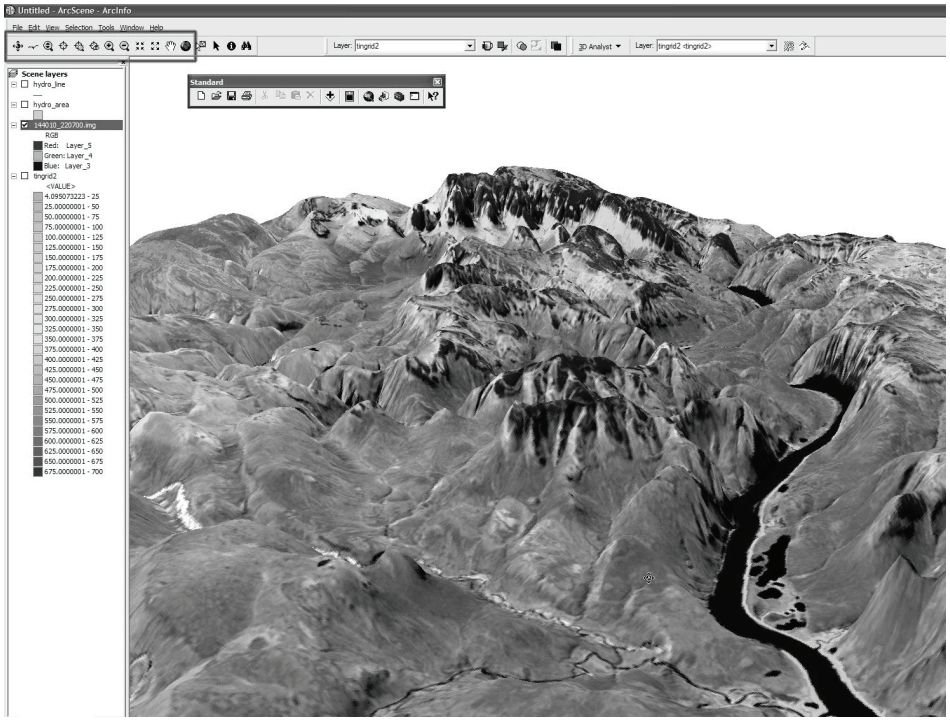

Рис. 6. Фрагмент геопространственной 3D модели

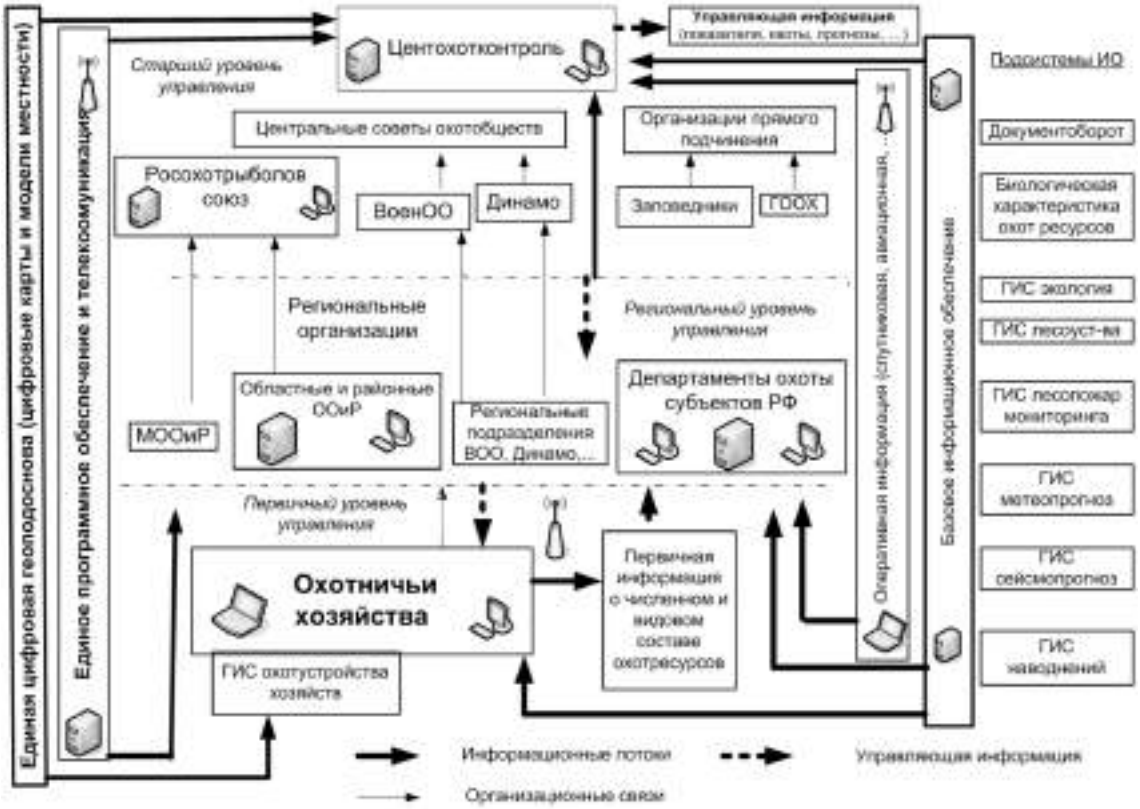

Рис. 7. Структура ГИС мониторинга охотничьих ресурсов

условий); система предупреждения о чрезвычайных ситуациях (прогноз лесных пожаров, затоплений, землетрясений), система обновления геопространственных данных.

Например, автоматизированный сравнительный анализ снимков Landset за длительные промежутки времени позволяет выявить опасные изменения ландшафта, которые могут повлиять на стации обитания и пути миграции животных.

Содержание особого информационного модуля должны составлять данные, поступающие от источников о численном и видовом составе диких животных, их состоянии и местоположении, отнесении к охотничьим видам, традиционным путям миграции. Эти данные могут поступать как в виде первичной учетной информации (результаты ЗМУ, наблюдений, исследований и т.д.), так и в реальном масштабе времени от пассивных и активных источников информации.

Федеральная геоинформационная система мониторинга охотничьих ресурсов должна быть построена по модульному принципу и иметь иерархическую структуру (рис. 7).

Во главе системы находится модуль старшего уровня управления охотничьими ресурсами (Департамент государственной политики и регулирования в сфере охотничьего хозяйства, ФГБУ «Центрохотконтроль», Росохотрыболовсоюз, Центральные советы охотобществ). Этот модуль информационно-технически сопряжен с региональными модулями регионального уровня управления, которые в свою очередь сопрягаются с охотничьими хозяйствами первичного уровня управления.

Сама же ГИС мониторинга охотничьими ресурсами должна быть построена на объектно-ориентированной базе геопространственных данных ландшафтных зон, на территории которых располагаются охотничьи хозяйства.

Такое построение системы обеспечивает возможность на единой информационной базе вырабатывать обоснованные предложения для принятия рациональных управленческих решений.

Эффективность ГИС зависит от условий ее применения, используемых в ней алгоритмов.

Для проверки соответствия ГИС требованиям, сформулированным при ее создании, используется понятие «критерий эффективности»[6]. Критерий эффективности – это правило, на основании которого принимается решение о соответствии ГИС требованиям, поставленным при ее создании, т.е. критерий эффективности есть некоторое условие, при выполнении которого считается, что ГИС обладает свойством эффективности, т.е. является эффективной. В соответствии с задачами оценивания эффективности ГИС целесообразно использовать два основных типа

критериев: сатисфакционный и оптимизационный.

При выборе в качестве показателя эффективности вероятности своевременной реализации функций управления P_c ($\omega_y \le \tau_3$) при заданном значении P_3 требуемой вероятности выполнения условия $\omega_y \le \tau_3$ сатисфакционному критерию эффективности соответствует следующее условие:

$$P_c\ (\tau_y \le \tau_3) \ge P_3, \qquad (1)$$

где τ_y – случайное время выполнения целевых задач ГИС,

τ_3 – требуемой время выполнения целевых задач ГИС.

Оптимизационному критерию эффективности соответствует следующее условие:

$$\max P\ (\tau_y \le \tau_3) \qquad (2)$$

Последний критерий используется при решении задач синтеза, выбора таких решений ГИС, которые обеспечивают наибольшее значение вероятности P, что характерно для исследуемой области принятия управленческих решений. Эту форму критерия следует использовать для обоснования требуемого значения P_3, т.е. требований по эффективности ГИС.

Исходя из общепринятых подходов к оценке эффективности АИС, можно выделить два направления: пользовательская и интегральная управленческая эффективность.

Пользовательская эффективность ($Э_т$) рассчитывается как сумма эффектов, получаемых по отдельным направлениям ее совершенствования [7]:

$$Э_т = \sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{n} Э_{it}, \qquad (3)$$

где

$Э_{it}$ – экономический эффект от совершенствования управления по i-му направлению в t-м году планового периода;

T – плановый период; i – направления совершенствования организационной структуры управления; n – число организационных решений.

Интегральные показатели эффективности организационной структуры управления могут быть определены по следующей формуле [8]:

$$ИП_{ан} = \sum_{i=t}^{n} a_i \sum_{j=1}^{m} ПП_{эi} = \sum_{i=t}^{n} a_i \sum_{j=1}^{m} \beta_j \times \int_k (\Phi_1, \Phi_2, ..., \Phi_n)$$

$ИП_{ан}$ – интегральный показатель соответствия структуры управления решаемым задачам и надежности системы управления;

$ПП_{эi}$ – промежуточные показатели эффективности управления;

n, m – размерность, иерархичность системы;

a_i, β_j – коэффициенты важности соответствующих показателей и параметров (при этом $\sum_{i=t}^{n} a_i = 1$ и $\sum_{j=1}^{m} \beta_j = 1$);

$\int_k$ – эффект взаимодействия отдельных факторов;

Φ_i – факторы, оказывающие влияние на эффективность системы управления;

k – индекс, указывающий на способ определения эффекта взаимодействия отдельных факторов.

Введение индекса k позволяет определить не только существующую эффективность, но прогнозировать будущую.

Таким образом, для обеспечения эффективного управления в системе необходимо:

– сформулировать цели (процесс целеполагания);

– обеспечить информационный процесс принятия управленческих решений и своевременное доведение их до подчиненных структур;

– обеспечить эффективное (надежное и оперативное) взаимодействие между элементов системы для достижения целей управления (получения интегрального эффекта).

Эффективность функционирования системы управления охотничьими ресурсами определяется тем, насколько она оперативно и качественно вырабатывает управленческие решения, и обеспечивает их реализацию наиболее экономичным способом через упорядоченное взаимодействие функциональных подсистем.

Для разработки методики оценки эффективности целесообразно:

1. Выделить критерии эффективности оргструктуры.
2. Сформировать на основе каждого критерия совокупность показателей оценки оргструктуры.
3. Структурировать системы частных показателей с учетом их взаимосвязи по уровням иерархии.
4. Провести синтез взаимосвязанной иерархической информации с учетом разработанного многоуровневого «дерева целей».
5. Определить интегральный показатель оценки эффективности оргструктуры.

Одним из вариантов оценки эффективности выступает метод на основе построения «дерева показателей эффективности организационной структуры управления» и формирования через ряд частных показателей единого интегрального показателя оценки организационной структуры.

Согласно этой методике эффективность организационных структур:

– управления (Э) определяется как функция от таких параметров, как:

– степень рациональности структуризации целостной системы на элементы, характеризующуюся некоторым показателем $K_{ос}$;

– степень рациональности структуры отношений между элементами, характер характеризующуюся некоторым показателем $K_{сн}$;

– степень использования рыночных возможностей, характеризующуюся некоторым показателем $K_{мц}$;

– степень использования внутренних возможностей, характеризующаяся некоторым показателем $K_{му}$.

– степень использования оперативной и достоверной информации $K_{ио}$.

Таким образом,

$$Э = f\,(K_{сс}; K_{св}; K_{мц}; K_{му}, K_{ио}), \qquad (5)$$

где

$K_{сс}$ – показатель эффективности состава системы;

$K_{св}$ – показатель эффективности структуры связей;

$K_{мц}$ – показатель эффективности механизма целеполагания;

$K_{му}$ – показатель эффективности механизма управления;

$K_{ио}$ – показатель эффективности информационного обеспечения.

Литература

1. Ананьев, Ю. С. Геоинформационные системы. Учеб, пособие / Ю.С. Ананьев. – Томск: Изд. ТПУ, 2003. – 70 с.

2. Греков, О. А. Малогабаритные автономные устройства слежения за положением и физическим состоянием биологических объектов на основе инновационных технологий с использованием современных материалов / О.А. Греков, А.В. Кочанов // Информация и Космос. – 2017. – № 1. – С. 155–159.

3. Греков, О. А. Применение современных технических средств и новых информационных технологий в системе авиационного учета численности охотничьих животных / О.А. Греков // XXIX Международный конгресс биологов-охотоведов. Сборник материалов, Ч. 1. Москва, 17–19 августа 2009 г. – М., 2009. – С. 313–315.

4. Применение беспилотных летательных аппаратов для обнаружения и учета численности биообъектов / Е.К. Еськов [и др.] // Вестник охотоведения. – 2014. – Т. 11, № 2. – С. 306–310.

5. Кольцов, А. С. Геоинформационные системы: учеб. пособие /А.С. Кольцов, Е.Д. Федорков. – Воронеж: ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет», 2006. – 203 с.

6. Присяжнюк, С. П. Геоинформационные системы военного назначения / С.П. Присяжнюк, В.Н. Филатов, С.П. Федоненков. – СПб.:Изд-во БГТУ, 2009. – 210 с.

7. Страхова, Л. П. Организация управления в химической промышленности / Л.П. Страхова. – М.: ГАУ, 1982. – 144 с.

8. Федорова, Н. Н. Организационная структура управления предприятием. Учеб. пособие / Н.Н. Федорова. – М.: ТК Нелби, 2003. – 256 с.

9. Челинцев, Н. Г. Математические основы учета животных / Н.Г. Челинцев. – М.: Центохотконтроль, 2000 г. – 431 с.

10. Шилов, Г. А. Совершенствование организационной структуры управления и инструментария оценки ее эффективности: дис. ... канд. экон. наук : 08.00.05 / Г.А. Шилов. – Москва, 2006. – 158 с.

Авиационная и ракетно-космическая техника

(05.07.00*)

- Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов (05.07.02*)
- Наземные комплексы, стартовое оборудование, эксплуатация летательных аппаратов (05.07.06*)
- Контроль и испытание летательных аппаратов и их систем (05.07.07*)
- Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов (05.07.09*)
- Инновационные технологии в аэрокосмической деятельности (05.07.10*)

раздел

* В соответствии с Номенклатурой специальностей научных работников, утвержденной приказом Минобрнауки России от 25.02.2009 № 59 (в ред. Приказов Минобрнауки РФ от 11.08.2009 N 294, от 10.01.2012 N 5)

Взаимный маневр космических аппаратов при использовании управляющих двигателей непрерывной постоянной тяги

Mutual maneuver of spacecrafts when using managing engines of continuous fixed thrust

Гончаревский / Goncharevsky V.
Вилен Степанович
(vilenstepan@yandex.ru)
доктор технических наук, профессор,
заслуженный деятель науки и техники РФ.
ФГБВОУ ВО «Военно-космическая академия
имени А. Ф. Можайского» МО РФ,
почетный профессор.
г. Санкт-Петербург

Ключевые слова: взаимный маневр – mutual maneuver; относительное движение – relative movement; программная траектория – program trajectory.

В статье рассматриваются возможности использования двигателей непрерывной постоянной тяги для управления взаимным маневром космических аппаратов. В результате решения краевых задач для дифференциальных уравнений, описывающих относительное движение аппаратов, найдены управляющие воздействия, требуемые для осуществления различных разновидностей маневра. Получены соотношения, позволяющие оценить энергозатраты на их выполнение.

In the article, the possibilities of use of engines of continuous fixed thrust for management of mutual maneuver of spacecraft's are considered. Because of the solution of regional tasks for the differential equations describing the relative movement of devices, the managing influences demanded for implementation of different kinds of maneuver are found. The ratios allowing evaluating energy costs on their performance are received.

Для реализации оптимальных и квазиоптимальных непрерывных программ управления, рассмотренных в работах [1, 2], в двигательной установке управления движением центра масс космического аппарата (КА), выполняющего маневр, необходимо использовать двигатели переменной тяги. Дросселирование же тяги ракетных двигателей в широких пределах и особенно двигателей, работающих на химическом топливе, связано с рядом технических трудностей. Поэтому определенный интерес представляют такие непрерывные методы управления взаимным маневром (ВМ), в которых управляющие воздействия $\vec{u} = \vec{P}/m$, где $\vec{P}$ – управляющая сила тяги, m – масса КА, являются постоянными по величине. Для создания таких управляющих воздействий, если пренебречь изменением массы маневрирующего (активного) аппарата в процессе маневра, будут необходимы двигатели постоянной тяги P, работающие в непрерывном режиме. Определить управляющие воздействия, требуемые для выполнения ВМ в этом случае, можно в результате решения краевых задач для дифференциальных уравнений, описывающих движение космических аппаратов в заданной относительной системе координат (ОСК).

Предположим, что условия выполнения ВМ таковы, что для описания относительного движения (ОД) космических аппаратов можно воспользоваться линейной динамической моделью [3]

$$d\vec{q} / \alpha\tau = D(\tau)\vec{q} + \vec{\xi}_u, \qquad (1)$$

где $\vec{q} = [\vec{R}, \vec{V}]$ – вектор относительного состояния центров масс КА, определяемый тремя компонентами вектора относительного положения $\vec{R}$ и тремя компонентами вектора относительной скорости $\vec{V}$;

D – матрица коэффициентов, вид которой зависит от типа ОСК, в которой рассматривается ВМ, и от типа орбиты пассивного аппарата (ПА), с которым связано начало этой ОСК;

$\vec{\xi}_u = [0, \vec{u}]$ – вектор-функция, определяемая управляющим воздействием $\vec{u}$;

τ – текущее безразмерное время ВМ.

Тогда решение задачи Коши для неоднородных

линейных дифференциальных уравнений (1) можно записать в виде

$$\vec{q}(\tau) = \Phi(\tau,\tau_0)[\vec{q}(\tau_0) + \int_{\tau_0}^{\tau} \Phi^{-1}(\nu,\tau_0)\vec{\xi}_u(\nu)d\nu], \quad (2)$$

где $\vec{q}(\tau_0) = \vec{q}_0$ – вектор начальных условий ВМ;

$\Phi(\tau,\tau_0) = [f_{ij}]^{6\times 6}$ – матрицант решений $f_{11}...f_{66}$ однородной системы уравнений (1);

τ_0 – момент начала ВМ.

Разобьем матрицу Φ и обратный матрицант Φ^{-1} на четыре клеточные квадратные подматрицы третьего порядка, т.е.

$$\Phi = \begin{bmatrix} \Phi_{11} & \Phi_{12} \\ \Phi_{21} & \Phi_{22} \end{bmatrix}, \quad \Phi^{-1} = \begin{bmatrix} L_{11} & L_{12} \\ L_{21} & L_{22} \end{bmatrix}, \quad (3)$$

где

$$\Phi_{11} = \left[a_{ij}\right]^{3\times 3}, \quad \Phi_{12} = \left[b_{ij}\right]^{3\times 3},$$

$$\Phi_{21} = \left[c_{ij}\right]^{3\times 3}, \quad \Phi_{22} = \left[d_{ij}\right]^{3\times 3}.$$

Тогда решение (2) может быть представлено в виде двух векторно-матричных соотношений

$$\vec{R} = \Phi_{11}(\vec{R}_0 + \vec{L}_1) + \Phi_{12}(\vec{V}_0 + \vec{L}_2), \quad (4)$$

$$\vec{V} = \Phi_{21}(\vec{R}_0 + \vec{L}_1) + \Phi_{22}(\vec{V}_0 + \vec{L}_2), \quad (5)$$

где

$$\vec{L}_1 = \int_{\tau_0}^{\tau} L_{12}(\nu,\tau_0)\vec{u}(\nu)d\nu, \quad \vec{L}_2 = \int_{\tau_0}^{\tau} L_{22}(\nu,\tau_0)\vec{u}(\nu)d\nu.$$

Соотношение (4) позволяет в случае полета активного аппарата (АА) под воздействием управления $\vec{u}$ осуществить переход от значений координат и скоростей в точке τ_0 к значениям координат в точке τ, а соотношение (5) – к значениям скоростей в этой же точке. Таким образом, эти соотношения определяют управляемое ОД АА при произвольном виде управляющих воздействий $\vec{u}$. В рассматриваемой задаче вектор-функция $\vec{u}$ постоянна во времени. Следовательно, соотношения (4, 5) принимают вид

$$\vec{R} = \Phi_{11}\vec{R}_0 + \Phi_{12}\vec{V}_0 + F_1\vec{u}, \quad (6)$$

$$\vec{V} = \Phi_{21}\vec{R}_0 + \Phi_{22}\vec{V}_0 + F_2\vec{u}, \quad (7)$$

$$F_1 = \Phi_{11}F_{12} + \Phi_{12}F_{22}, \; F_2 = \Phi_{21}F_{12} + \Phi_{22}F_{22},$$

где $$F_{12} = \int_{\tau_0}^{\tau} L_{12}(\nu,\tau_0)d\nu, \; F_{22} = \int_{\tau_0}^{\tau} L_{22}(\nu,\tau_0)d\nu.$$

Если обозначить момент начала ВМ $\tau = \tau_0 = 0$, а момент его окончания $\tau = \tau_k = T$, то по соотношению (6) можно найти значение вектора управления $\vec{u}_П$ требуемое для попадания АА в точку с заданными координатами $\vec{R}(\tau_k) = \vec{R}_{k3}$. Для этого в соотношение (6) нужно подставить $\tau = \tau_k = T$, $\vec{u} = \vec{u}_П$, $\vec{R}(\tau_k) = \vec{R}_{k3}$. Выполнив это, получим

$$\vec{R}_{k3} = \Phi_{11}(T,0)\vec{R}_0 + \Phi_{12}(T,0)\vec{V}_0 + F_1(T,0)\vec{u}_П. \quad (8)$$

Решая уравнение (8) относительно $\vec{u}_П$, получим

$$\vec{u}_П = F_1^{-1}(T,0)[\vec{R}_{k3} - \Phi_{11}(T,0)\vec{R}_0 - \Phi_{12}(T,0)\vec{V}_0], \quad (9)$$

где $F_1^{-1}(T,0)$ – матрица обратная матрице $F_1\ (T,0)$;

$$\vec{R}_0 = \vec{R}(\tau_0), \quad \vec{V}_0 = \vec{V}(\tau_0).$$

Значение скорости АА в момент окончания ВМ можно найти из соотношения (7), если подставить туда уравнение (9). Выполнив это, получим

$$\vec{V}_k = F_2(T,0)F_1^{-1}(T,0)(\vec{R}_{k3} - \vec{R}_0) + F_3(T,0)\vec{V}_0, \quad (10)$$

где

$$F_3(T,0) = \Phi_{22}(T,0) - F_2(T,0)F_1^{-1}(T,0)\Phi_{12}(T,0).$$

Подставив выражение (9) в решения (6, 7), получим фазовую траекторию, проходящую в момент $\tau = T$ через точку $\vec{q}_k = [\vec{R}_{k3}, \vec{V}_k]$, т.е. обеспечивающую пролет ПА на заданном расстоянии $\vec{R}_{k3}$ или сближение с жестким контактом, если $\vec{R}_{k3} = 0$.

Таким образом, соотношение (9) определяет программу управления при отсутствии ограничений на вид траектории ОД в случае использования непрерывных управляющих воздействий, реализуемых с помощью двигателей постоянной тяги.

Энергетические затраты (ЭЗ) на выполнение этой программы в случае применения на АА полярной схемы построения двигательной установки (ДУ) можно вычислить по формуле

$$V_{p1} = u_П T, \quad (11)$$

а в случае применения декартовой схемы ДУ – по формуле

$$V_{p2} = T\sum_{i=1}^{n} u_{iП}. \quad (12)$$

Заметим, что соотношения (11, 12) характеризуют ЭЗ на осуществление пролета и встречи с жестким контактом. Для обеспечения мягкого контакта необходимо в конце маневра сообщить АА приращение скорости, величина и направление которого определяется равенством (10). Суммарные ЭЗ на выпол-

нение ВМ в этом случае будут равны $V_{p1\Sigma} = V_{p1} + V_k$ при полярной схеме и $V_{p2\Sigma} = V_{p2} + \sum_{i=1}^{n} V_{ik}$ при декартовой схеме построения ДУ.

Литература

1. Гончаревский, В. С. Энергетически оптимальное управление взаимным маневром космических аппаратов при отсутствии ограничений на вид программной траектории / В.С. Гончаревский // Информация и Космос. – 2004. – № 4. – С. 57–58.

2. Гончаревский, В. С. Энергетически квазиоптимальное управление взаимным маневром космических аппаратов / В.С. Гончаревский // Информация и Космос. – 2012. – № 1. – С. 102–104.

3. Гончаревский, В. С. Методы и алгоритмы управления относительным движением космических аппаратов / В.С. Гончаревский. – МО РФ, 1998. – 87 с.

Моделирование конструкции космических аппаратов

Structural modelling of spacecrafts

Горшков / Gorshkov L.
Лев Капитонович
(maneb@mail.ru)
доктор технических наук, профессор,
заслуженный деятель науки и техники РФ.
ФГБВОУ ВО «Военно-космическая академия
имени А. Ф. Можайского» МО РФ
(ВКА им. А. Ф. Можайского),
профессор кафедры механики
г. Санкт-Петербург

Мосин / Mosin D.
Дмитрий Александрович
(mosin-da@mail.ru)
кандидат технических наук, доцент.
ВКА им. А. Ф. Можайского,
начальник кафедры космических аппаратов и средств
межорбитальной транспортировки.
г. Санкт-Петербург

Тютюкин / Tyutyukin A.
Александр Евгеньевич
(alex.tyutyukin@list.ru)
кандидат технических наук.
ВКА им. А. Ф. Можайского,
старший научный сотрудник.
г. Санкт-Петербург

Уртминцев / Urtmintsev I.
Игорь Александрович
(urt_eg@mail.ru)
кандидат технических наук.
ВКА им. А. Ф. Можайского,
доцент кафедры космических аппаратов и средств
межорбитальной транспортировки.
г. Санкт-Петербург

Ключевые слова: космический аппарат – spacecraft; математическая модель – mathematical model; облик конструкции космического аппарата – spacecraft construction, геометрические характеристики – geometrical characteristics.

Разработан подход к формализации процесса построения моделей КА, его модулей и систем на основе выявления конструктивных и логических связей между элементами структуры.
Представлены расчётные модели разбиения некоторых поверхностей на элементы одинаковой площади, позволяющие сформировать облик элементов конструкции КА на основе их геометрических характеристик.
Анализ модели позволяет выполнить обоснование рациональной структуры перспективного КА.

The process of creation of models of S, its modules and systems based on identification of constructive and logical communications between elements of structure is developed. Design models of splitting some surfaces into the elements of the identical area allowing creating an appearance of elements of a design of S based on their geometrical characteristics are provided. Justification of rational structure of perspective S allows making the analysis of model.

Общая характеристика процесса моделирования

Всесторонняя разработка конструкции космических аппаратов (КА) требует применения универсальных программных комплексов типа ANSIS, Solid Works, а также специализированных программных пакетов. Решение же частных вопросов применения КА целесообразно выполнять на упрощенных моделях, отражающих наиболее важные специфические черты изучаемых процессов.

Функционирование КА на рабочих орбитах протекает в условиях воздействия многообразных факторов естественной природы: солнечное излучение, тепловое излучение Земли, радиационные пояса, потоки микро- и макрочастиц, а также различных объектов техногенного происхождения. Основными элементами конструкции КА, потенциально подверженными влиянию таких факторов, являются солнечные батареи (СБ) и элементы теплообмена бортовой аппаратуры: радиаторы, холодильники-излучатели (ХИ), а также герметичные отсеки корпусных конструкций.

Оценивание воздействия на объекты космической техники в полете факторов внешних воздействий (ФВВ) различной природы требует разработки программ моделирования как облика КА, так и полета КА по реальным траекториям с учетом реального времени и ориентации в пространстве. Для решения этих проблем предпринята разработка программно-моделирующего комплекса (ПМК), способного выполнять следующие задачи:

1) конструирование упрощенных моделей реальных КА, отражающих их наиболее характерные признаки – облик, геометрию, конструктивные особенности внешних элементов, потенциально подверженных воздействию;

2) разработку модели энергосистемы КА как самостоятельного замкнутого объекта, выполняющего

задачи поддержания целенаправленного процесса функционирования;

3) разработку типовых моделей функционирования КА в различных условиях с учетом ориентации как аппарата в целом, так и его целевых и обеспечивающих систем.

Данный ПМК содержит комплекс вычислительных программ и процедур визуализации расчетных схем и моделей.

Разработка геометро-физической модели КА

Современные КА представляют собой панельно-ферменные конструкции, иногда достаточно сложной пространственной конфигурации. Основу разработки и построения пространственного образа КА составляет его математическая модель, содержащая конструктивное описание [1, 2].

Математическая модель (ММ) КА – комплекс $C_{\text{КА}}$ – есть объединение самостоятельных в конструктивном отношении модулей, представленных в виде предопределенных структур – S_m, геометрически привязанных к центру масс (ЦМ) КА. В состав ММ также следует включить программы функционирования КА – P_k. С ЦМ совмещена строительная (связанная) система координат комплекса (СКК). Выбор ориентации осей СКК определяется конструктивными и функциональными особенностями КА. Таким образом,

$$C_{\text{КА}} = \bigcup_{m=1}^{M} S_m + \sum_{k=1}^{K} P_k \,, \tag{1}$$

где M – количество модулей в составе КА;

K – количество базовых программ функционирования КА по целевому назначению.

В качестве основных модулей, определяющих структуру КА, следует назвать:

– модуль (модули) целевой аппаратуры (МЦА);

– энергетический модуль (ЭМ), включающий солнечные батареи (СБ), аккумуляторную батарею (АБ), систему электропитания (СЭП), систему терморегулирования (СТР);

– двигательный модуль (ДМ), содержащий двигательные установки управления пространственным перемещением КА и движением вокруг его ЦМ.

Каждый модуль имеет базовую точку начала отсчета, совпадающую с его центром масс, геометрическим центром или иной точкой, мотивированной какими-либо соображениями. В точку начала отсчета помещается система координат модуля (СКМ), в которой выполняется упорядоченное описание его структуры в виде набора I компонентов A_i, учитываемых в рамках решения поставленной задачи. Математическая модель модуля в общем виде может быть представлена следующей формулой

$$S_m = \bigcup_{i=1}^{I} A_i + M_m \,, \tag{2}$$

где M_m – матрица ориентации модуля.

При введении в состав КА модуль соответствующим образом ориентируется в пространстве относительно ЦМ КА, и в результате его система координат – СКМ – может быть смещена и повернута относительно ССК комплекса. Таким образом, обязательным и важным элементом структуры являются матрица ориентации модуля, хранящая параметры угловых направлений СКМ в ССК, и вектор трансляционных координат центра модуля в ССК. Для удобства хранения ориентационных параметров вводится четырехмерный массив ориентации модуля

$$M_m = Mt_m + R_m = \left\| \begin{array}{ccc|c} ca_{00} & ca_{01} & ca_{02} & X \\ ca_{10} & ca_{11} & ca_{12} & Y \\ ca_{20} & ca_{21} & ca_{22} & Z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right\| ,$$

где коэффициенты ca_{ik} матрицы Mt_m – направляющие косинусы осей СКМ с осями СКК, а вектор $R_m\{X,Y,Z\}$ определяет пространственное положение модуля в ССК.

Одним из важных компонентов является корпус модуля, ограничивающий его объем. Корпус может быть определён совокупностью относительно тонкостенных поверхностей различной, как правило простой, формы: плоскими панелями, элементами цилиндрических и сферических поверхностей. В системе координат модуля выполняется разбиение поверхности на элементы простой формы – треугольники и прямоугольники – расчет координат их вершин, геометрических центров и площадей. Ориентация элемента разбиения определяется нормалью к нему, компоненты которой также рассчитываются в СКМ. При необходимости каждому элементу поверхности сопоставляется толщина и необходимый набор усреднённых теплофизических характеристик материала и наружного покрытия (плотность ρ, теплоемкость c, теплопроводность λ, коэффициенты поглощения a_S, отражения r и теплового излучения ε и др.). Иногда нет необходимости сопоставлять теплофизические характеристики материалов каждому элементу разбиения; в этом случае группа параметров описывает весь модуль в целом. Таким образом, структура компонента A_i также представляет собой объединение составных частей различной природы – фрагментов

$$A_i = \bigcup_{j=1}^{J} \left[\bigcup_{n=1}^{N} \left(\sum_{S,K} F_{sk} + \bigcup_{L} f_l \right)_n \right]_j \,, \tag{3}$$

где J – количество фрагментов в структуре описания модуля, включающих упорядоченную совокупность N элементов разбиения поверхности фрагмента на SxK ячеек и сопоставляемый каждому элементу набор L теплофизических параметров f_l: ρ, c, λ, a_S, r, ε и т.п.

В соответствии со сказанным выше структурный параметр F_{sk}, характеризующий ячейку разбиения

поверхности, включает вектор положения её центра в СКМ – r_{sk}, вектор нормали n_{sk} и площадь поверхности S_{sk}.

Таким образом, предложенная схема структурирования модели КА выполняется по схеме [3], рис. 1

В качестве примера рассмотрим построение в декартовой СК *X, Y, Z* модели плоской панели P_n с центром на оси *Z* и сторонами *W* и *H*, параллельными осям *X* и *Y*, соответственно. Панель ориентирована вдоль оси *Z* и расположена параллельно плоскости *XY* на расстоянии z_0 от нее. Панель разбивается на N_WxN_H прямоугольных элементов. Тогда положение *ik*-го элемента панели в принятой СК можно определить вектором

$$r_{ik}(x,y,z):\quad x_i = -\frac{W}{2} + (i - \frac{1}{2})\cdot\frac{W}{N_W};$$

$$y_i = -\frac{H}{2} + (k - \frac{1}{2})\cdot\frac{H}{N_H};\quad z = z_0.$$

Отсчёт индексов по оси *X* выполняется слева-направо, а по оси *Y* сверху-вниз.

Вектор нормали к элементу поверхности, а для плоской панели – ко всей панели, имеет компоненты $n_{ik}\{0,0,1\}$. Площадь элемента поверхности $s_{ik}=WH/(N_W x N_H)$. При необходимости может быть задана толщина панели *d*, которая включается в набор структурно-геометрических параметров.

Теперь «формулу» панели можно определить в виде структуры (по терминологии языка С) или записи (по терминологии языка Pascal/Delphi) [4,5]:

$$P_n:\begin{bmatrix} P_n^{str}:\bigcup_{i=1,k=1}^{N_w,N_h} r_{ik}\ \&\ \bigcup_{i=1,k=1}^{N_w,N_h} n_{ik}\ \&\ \bigcup_{i=1,k=1}^{N_w,N_h} s_{ik}\ \&\ d \\ P_n^{PH}:f(\rho,c,\lambda,a_S,r,\varepsilon,...) \\ P_n^{Ornt}=\begin{vmatrix}1&0&0\\0&1&0\\0&0&1\end{vmatrix}\ \&\ P_n^{Pos}=\begin{vmatrix}0\\0\\z_0\end{vmatrix} \end{bmatrix}, \quad (4)$$

где символ & указывает на принадлежность к компоненту структуры.

Первая строка записи представляет совокупность структурно-геометрических параметров, вторая – набор необходимых физических характеристик поверхности, а третья – ориентационно-позиционную матрицу центра масс объекта.

В случае, если панель двухсторонняя, например солнечная батарея, то следует дублировать первую и вторую строки, наделив их собственными характеристиками. При этом вектора нормалей необходимо инвертировать.

В конструкции КА панель должна занимать вполне определенное положение. Например, начало её координат следует поместить в точку $C\{X_C, Y_C, Z_C\}$ относительно ЦМ КА и повернуть вокруг собственной оси *Z* на угол γ. В этом случае следует сначала выполнить операцию поворота, а затем трансляции. Ориентационно-позиционная матрица примет вид

$$P_n^{Ornt}=\begin{vmatrix}\cos\gamma & -\sin\gamma & 0\\ \sin\gamma & \cos\gamma & 0\\ 0 & 0 & 1\end{vmatrix};\quad P_n^{Pos}=\begin{vmatrix}X_C\\ Y_C\\ Z_C+z_0\end{vmatrix}.$$

Теперь для приведения элементов разбиения панели в СК КА следует вектор положения центра каждого элемента r_{ik} умножить на матрицу ориентации P_n^{Ornt} и прибавить соответствующие компоненты позиционного вектора P_n^{Pos}. Вектора нормалей n_{ik} следует только повернуть, умножив на матрицу P_n^{Ornt}.

Разбиение поверхности оболочек на элементы

Характеризовать каждый элемент разбиения поверхности полным набором геометро-физических параметров не всегда рационально. Сопоставлять каждому элементу собственную нормаль и площадь, а тем более физические характеристики, следует только при необходимости. Например, при разбиении плоской поверхности целесообразно определить одну

Рис. 1. Структура комплекса КА

нормаль, а для цилиндрической поверхности задать нормали для элементов разбиения одного кольцевого пояса. Более того, целесообразно выполнять разбиение поверхности на элементы одинаковой площади. Это позволяет заметно сократить объем хранимой информации, а зачастую и упростить алгоритмы применения. Наиболее просто разбиения на элементы одинаковой площади выполнить для прямоугольных панелей и сферических поверхностей. В последнем случае кольцевые пояса одинаковой площади образуются сечением поверхности плоскостями, перпендикулярными оси симметрии и отстоящими на одинаковую величину друг от друга.

Более сложным является разбиение трапеции, конической поверхности или кольца на элементы одинаковой площади. В качестве примера рассмотрим разбиение поверхности трапеции на элементы одинаковой площади, рис. 2. Основная задача –разбить поверхность на участки одинаковой площади, параллельные основаниям фигуры.

Площадь горизонтальной полоски при разбиении по высоте на N_h частей

$$S_1 = \frac{W_b + W_t}{2} \cdot \frac{H}{N_h}.$$

В общем случае выполняется равенство

$$\frac{W_b + W}{2} \cdot h = K \cdot \frac{W_b + W_t}{2} \cdot \frac{H}{N_h}, \qquad (5)$$

где K – количество элементов от W_b до W; для рисунка K=1.

Имеет место следующее соотношение

$$W = W_b - \Delta \cdot \frac{h}{H}, \qquad (6)$$

где $\Delta = W_b - W_t$.

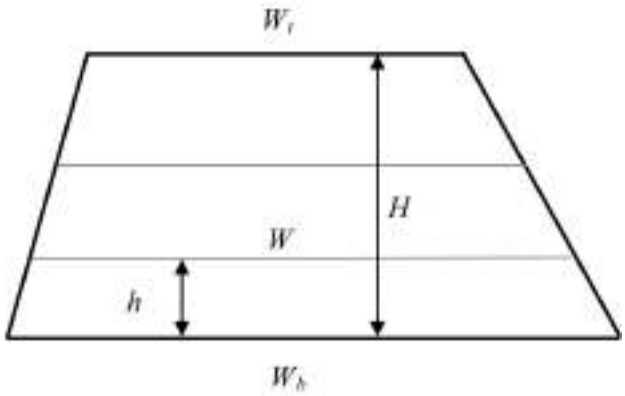

Рис. 2. Трапеция

Подставляя (6) в (5), после преобразований получим следующее квадратное уравнение относительно h

$$2 \cdot W_b \cdot h - \frac{\Delta}{H} \cdot h^2 = \frac{K}{N_h} \cdot (W_b + W_t) \cdot H;$$

$$h^2 - 2 \cdot H \cdot \frac{W_b}{\Delta} \cdot h + \frac{K}{N_h} \cdot (W_b + W_t) \cdot H^2 = 0. \qquad (7)$$

Разрешая это уравнение относительно h, получим

$$h = H \cdot \frac{W_b}{\Delta} \cdot \left[1 - \sqrt{1 - \frac{K}{N_h} \cdot \left(1 - \frac{W_t^2}{W_b^2}\right)}\right]. \qquad (8)$$

Соответственно, ширина W над K полосками равна

$$W = W_b \cdot \sqrt{1 - \frac{K}{N_h} \cdot \left(1 - \frac{W_t^2}{W_b^2}\right)}. \qquad (9)$$

Разделив верхнее и нижнее основание трапеции на равное количество частей N_w и соединив точки одинакового номера, получим разбиение поверхности на $N_h \cdot N_w$ элементов равной площади

$$S_{nj} = \frac{W_b + W_t}{2} \cdot \frac{H}{N_h \cdot N_w}. \qquad (10)$$

Формула разбиения поверхности конуса на кольцевые пояса одинаковой площади, аналогичная (9), имеет вид

$$h = \frac{R_b}{\mathrm{tg}\gamma} \cdot \left[1 - \sqrt{1 - \frac{K}{N_h} \cdot \left(1 - \frac{R_t^2}{R_b^2}\right)}\right]. \qquad (11)$$

где R_t, R_b – радиусы верхнего и нижнего днищ конуса;
γ – полуугол при вершине конуса.

Такая же формула для разбиения поверхности диска на кольцевые пояса одинаковой площади такова

$$R_K = R_O \cdot \sqrt{1 - \frac{K}{N_r} \cdot \left(1 - \frac{R_I^2}{R_O^2}\right)}, \qquad (12)$$

где R_I, R_O –внутренний и наружный радиусы диска;
R_K – наружный радиус K-го кольца;
N_r – количество разбиений по радиусу кольца.

Модель КА с оптико-электронной системой наблюдения космического пространства

Изложенные выше принципы и подходы к моделированию КА были реализованы в специализированном программном комплексе (ПК) «Орбита». ПК предназначен для моделирования тепловых процессов в космических объектах сложной структуры при их

полёте по орбитам и при маневрировании в процессе выполнения целевых задач. В качестве примера работы ПК рассматривается процесс разработки модели КА – космического телескопа, общий вид которого в разрезе показан на рисунке 3. В состав КА входят три основных модуля:

– телескоп;

– солнечная батарея;

– агрегатный отсек, содержащий элементы энергодвигательной системы.

Главная форма ПК «Орбита» представлена на рис. 4.

Левая панель формы содержит элементы управления построением структурных элементов объекта в последовательности компоненты → модули → Комплекс. В качестве шаблонов элементов конструкции принят некоторый базовый набор основных компонентов (цилиндр, панель, сфера и др.) и дополнительных компонентов (штанга, шарниры, антенны различных типов и др). Различие между ними заключается в том, что основные компоненты структурируются на отдельные элементы посредством разбиения поверхности, в то время как дополнительные компоненты такому разбиению не подвергаются.

Допускается объединения модулей в составе Пакета модулей на этапе построения элементов конструкции, тиражирование компонентов и модулей, а также их сохранение в файлах на любой стадии разработки и вызов из файлов. В процессе разработки может быть выполнена коррекция каких-либо компонентов или их полная переработка. Позиционирование компонентов в составе модулей и модулей в составе Комплекса контролируется с помощью позиционной матрицы модели и OpenGL-модельно-видовой матрицы. В правой части формы находится панель разработки конструкции КА, начиная от создания отдельных компонентов и кончая полной сборкой Комплекса.

Внизу средней части формы находится панель с кнопками управления перемещениями и поворотами элементов конструкции и модулей по панели разработки. Применение специализированной панели позволяет выполнить точное позиционирование компонентов в модуле, а модулей в Комплексе.

В соответствии с изложенной выше формальной моделью построения конструкции КА каждый основной компонент конструкции подвергается разбиению на структурные элементы с их привязкой к геометрическому центру компонент; на этой основе формируются его элементная, позиционная и ориентационная матрицы, описываемые формульным комплексом (3). Разбиение поверхностей всех основных компонентов выполняется на отдельные элементы равной площади в пределах компонента согласно схемам разбиения, рассмотренным выше (9), (11), (12).

Формульная формализация структурных компонентов комплекса оказывается полезной при сборке компонентов в модули, а модулей в Комплекс. Обусловлено это тем, что в конечном счете все структурные элементы конструкции должны быть привязаны к центу масс Комплекса и отслеживать его эволюцию в процессе полёта по орбите и при выполнении целевых задач. Формализация позволяет построить универсальный (в пределах конкретного Комплекса) аппарат пересчёта ориентационных характеристик элементов конструкции и элементов разбиения поверхностей при вариациях ориентации самого Комплекса.

Общий вид трёх модулей КА: телескопа, агре-

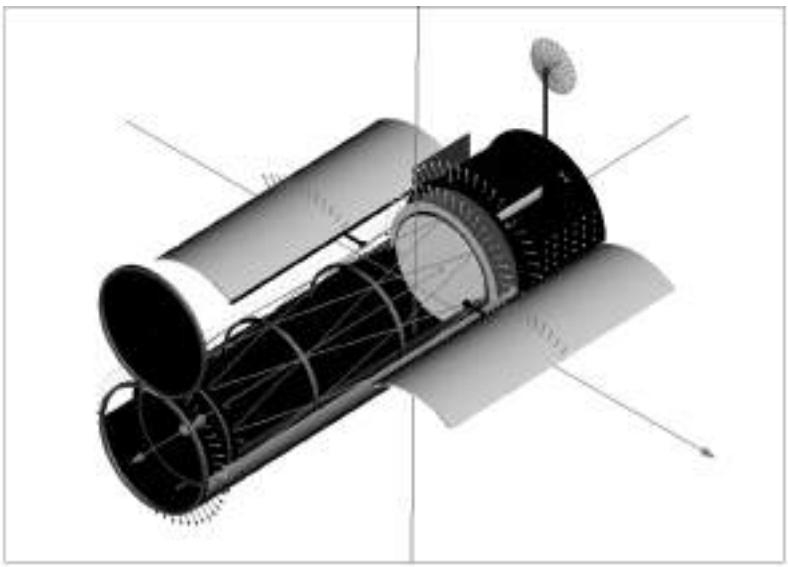

Рис. 3. Общий вид модели КА «Космический телескоп» в разрезе

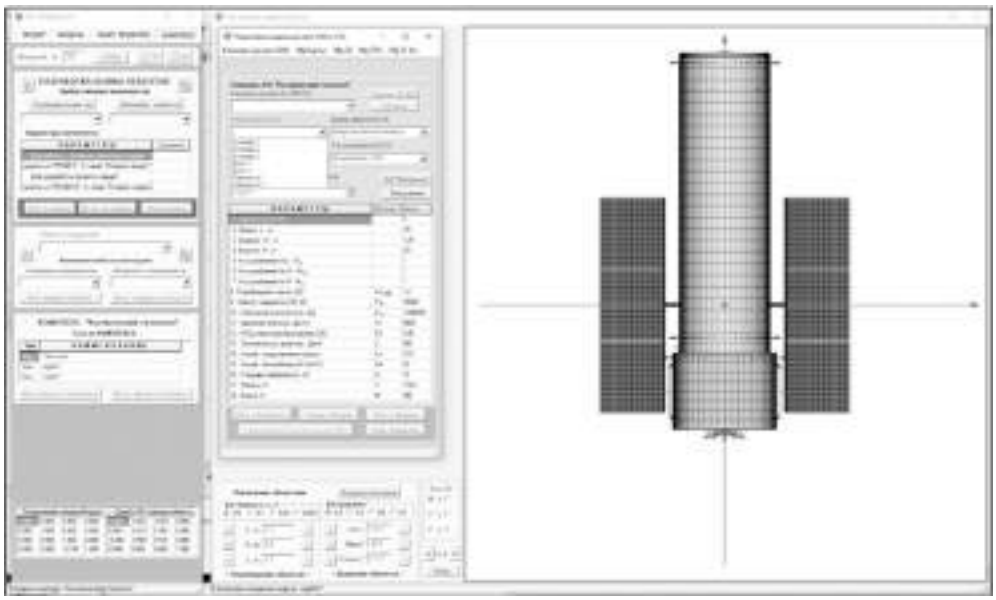

Рис. 4. Главная форма ПК разработки конструкции КА «Орбита»

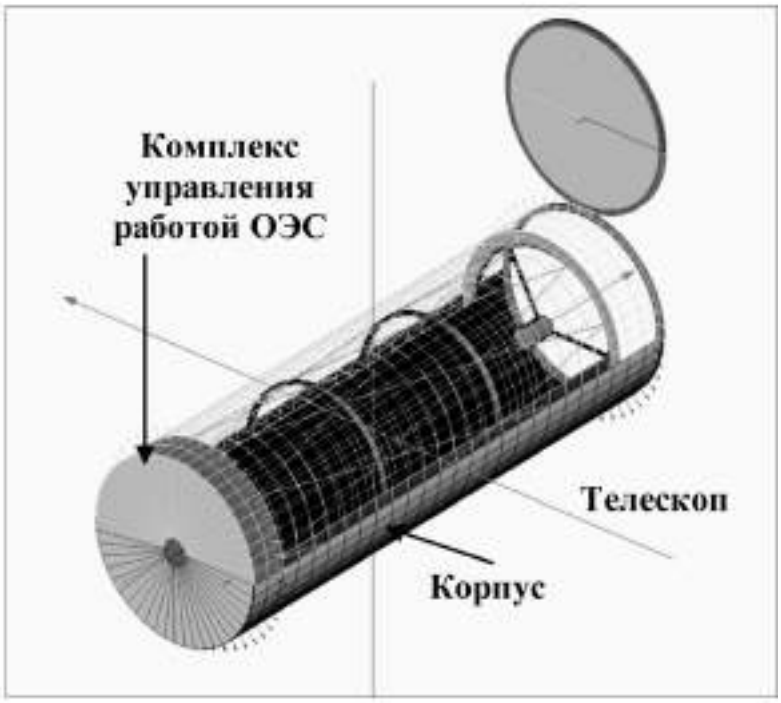

Рис. 5. Телескоп

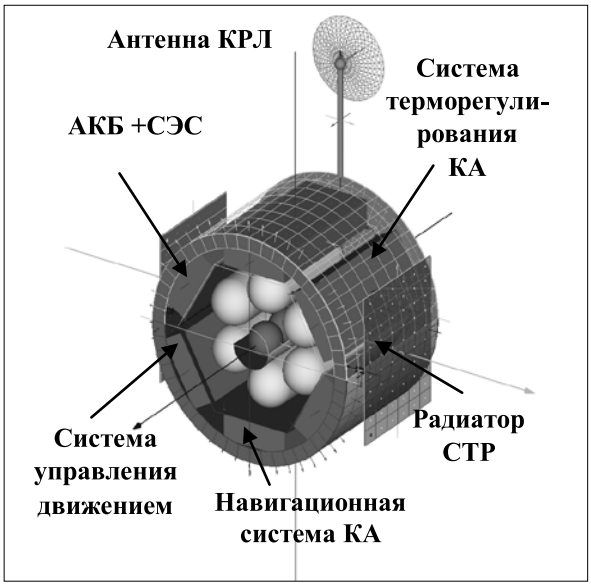

Рис. 6. Агрегатный отсек

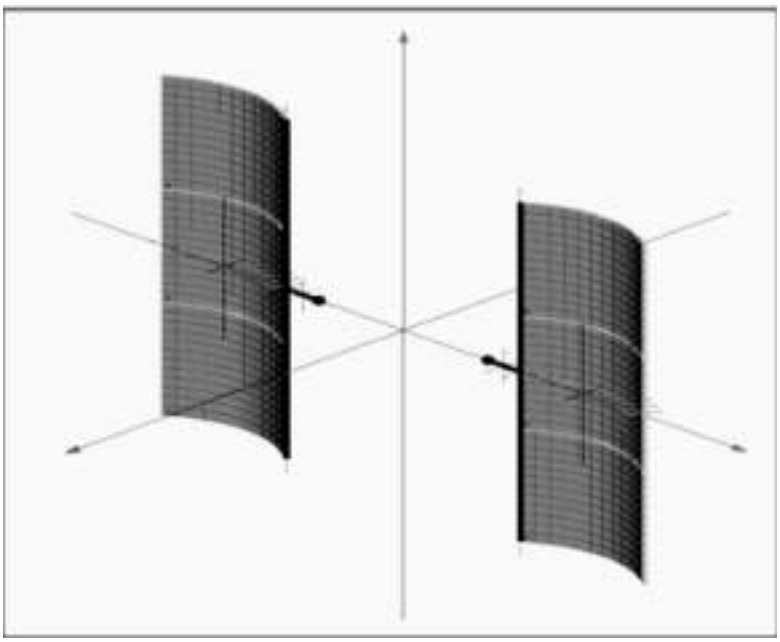

Рис. 7. Солнечная батарея

гатного отсека и солнечной батареи, показан на рисунках 5–7.

Рассмотренные модули содержат достаточно большое количество структурных компонентов, как основных, так и вспомогательных. После создания конструкции Комплекса выполняется формирование его энергосистемы.

На этом этапе в меню Комплекс выбирается пункт «Формирование энергосистемы КА», в результате чего в средней части главной формы появляется панель «Подготовка модели расчёта ОИХ и СЭХ».

Используя управляющие элементы панели, выполняются процедуры присвоения всем наиболее значимым элементам конструкции надлежащих теплофизических, оптических и массовых характеристик. Завершается этот, достаточно трудоемкий процесс установлением энергетических связей между элементами конструкции и энерго-балансных соотношений.

На рис. 8 показана такая модель, которая строится в виде самостоятельного расчётно-демонстрационного модуля.

Завершается процесс разработки конструкции КА заданием орбитальных и ориентационно-навигационных параметров его полёта. Эти операции выполняются в редакторах, вынесенных на специальные панели, которые вызываются из соответствующего пункта главного меню «КОМПЛЕКС»

Заключение

Разработан подход к формализации процесса построения моделей КА, его модулей и систем на основе выявления конструктивных и логических связей между элементами структуры.

Представлены расчётные модели разбиения некоторых поверхностей на элементы одинаковой площади, позволяющие сформировать облик элементов конструкции КА на основе их геометрических характеристик.

Разработаны принципы построения моделей сложных космических объектов с использованием предложенного формализма для оценивания их функциональных характеристик в орбитальном полёте при выполнении конкретных целевых задач.

Применение разработанных подходов показано на примере создания модели КА «Космический телескоп».

Литература

1. Гущин, В. Н. Основы устройства космических аппаратов / В.Н. Гущин. – М.: Машиностроение, 2003. – 272 с.

2. Туманов, А. В. Основы компоновки бортового оборудования космических аппаратов : учебное пособие / А.В. Туманов, В.В. Зеленцов, Г.А. Щеглов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2017 – 572.

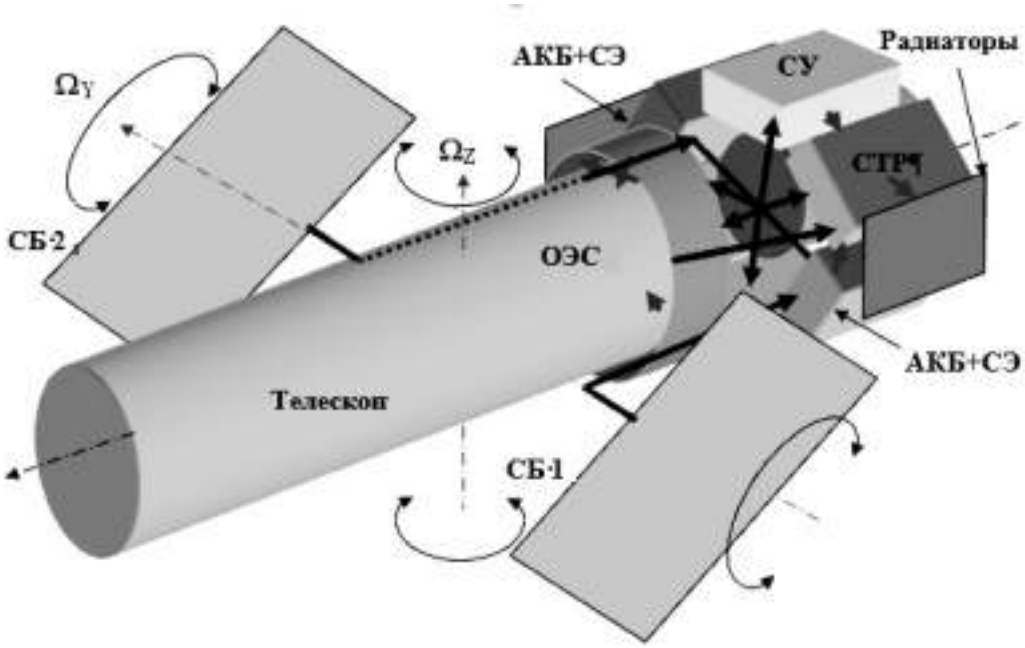

Рис. 8. Расчетная модель энергосистемы КА «Космический телескоп»

3. Математическое моделирование теплообмена основных элементов энергетического оборудования космических аппаратов / Л.К. Горшков [и др.] // Информация и Космос. – 2017. – № 2. – С.160–167.

4. Эйнджел, Э. Интерактивная компьютерная графика. Вводный курс на базе OpenGL [: пер с англ.] / Э. Эйнджел. – 2-е изд. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2001. – 592 с.

5. Шикин, А. В. Компьютерная графика. Полигональные модели / Шикин А. В., Боресков А. В. – М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2001. – 464 с.

Структура научно-методического аппарата обоснования тактико-технических требований к унифицированным космическим платформам

Structure of the scientific and methodical device of justification of tactical technical requirements to the unified space platforms

Денисов / Denisov A.
Андрей Михайлович
(vka@mail.ru)
кандидат технических наук, доцент.
ФГБВОУ ВО «Военно-космическая академия имени А. Ф. Можайского» МО РФ
(ВКА им. А. Ф. Можайского),
начальник научно-исследовательского отдела.
г. Санкт-Петербург

Скворцов / Skvortsov D.
Дмитрий Валерьевич
(vka@mail.ru)
кандидат технических наук.
ВКА им. А. Ф. Можайского,
начальник научно-исследовательской лаборатории.
г. Санкт-Петербург

Краснощеков / Krasnoshchekov S.
Сергей Николаевич
(vka@mail.ru)
кандидат военных наук.
ВКА им. А. Ф. Можайского,
старший научный сотрудник.
г. Санкт-Петербург

Гончаров / Goncharov P.
Павел Сергеевич
(vka@mail.ru)
кандидат технических наук.
ВКА им. А. Ф. Можайского,
начальник научно-исследовательского отдела.
г. Санкт-Петербург

Ключевые слова: унифицированная космическая платформа – unified space platform, тактико-технические требования – tactical technical requirements, математическая модель – mathematical model.

Рассмотрена общая схема проведения исследований по обоснованию тактико-технических требований (ТТТ) к унифицированным космическим платформам (УКП). Проведен анализ особенностей задания ТТТ к УКП как обеспечивающего модуля КА. Представлена структура комплекса математических моделей для обеспечения разработки перспективных КА на основе УКП.

The general scheme of carrying out researches on justification of TTR to the unified space platforms (USP) is considered. The analysis of features of the TTR task to USP as the providing SA module is carried out. The structure of a complex of mathematical models for ensuring development of perspective SA based on USP is provided.

Одной из мировых тенденций в области создания космической техники является широкое использование унифицированных космических платформ (УКП) в качестве обеспечивающего модуля космических аппаратов (КА). Многие отечественные предприятия-разработчики КА ведут работы по созданию и производят УКП. Следует отметить, что отсутствие единого подхода к обоснованию тактико-технических требований (ТТТ) к УКП обусловливает наличие следующих проблемных вопросов:

– создание аналогичных по назначению космических платформ разными предприятиями, что фактически ведет к двойному финансированию разработок государственным заказчиком;

– недостаточный уровень унификации (по сравнению с требуемыми и рациональными);

– отставание технического уровня ряда платформ от общемирового. Так, до сих пор производятся и проектируются УКП с герметичными отсеками, в системах электроснабжения зачастую применяются кремниевые фотоэлектрические преобразователи (ФЭП), а в системе обеспечения теплового режима слабо используются пассивные средства, такие как тепловые аккумуляторы, теплосопротивления, тепловые трубы и т.п.

Задача обоснования ТТТ к УКП может быть представлена в виде совокупности частных, взаимоувязанных единым замыслом задач, решение которых выполняется последовательно на различных этапах научных исследований [1]. На каждом этапе такого процесса обосновываются группы требований к характеристикам перспективных УКП, которые затем уточняются и в итоге обобщаются в тактико-техническом задании (ТТЗ) на создание космической системы (КС), космического комплекса (КК) или КА. Декомпозиция

задачи обоснования ТТТ на ряд взаимоувязанных задач, решаемых последовательно, является оправданной и закономерной, поскольку отражает объективный процесс накопления знаний и уменьшение неопределенности в отношении исследуемых объектов. На рис. 1 представлено место научно-методического аппарата обеспечения создания КА на основе УКП в обосновании требований к КС.

Основным отличием методологии задания требований по назначению к УКП от методологии задания требований к КА является задающий субъект. Источником задания требований по назначению к УКП выступает целевая система (рис. 2), что обусловливает основные принципы классификации и систематизации предъявляемых к УКП ТТТ. Другими словами, основным классификационным признаком для задачи синтеза требуемых характеристик УКП должна выступать совокупность ТТТ, необходимых для обеспечения нормального функционирования целевой системы (ЦС) как сложной технической системы.

Все требования назначения любой ЦС и УКП можно разделить на четыре группы, которые фактически

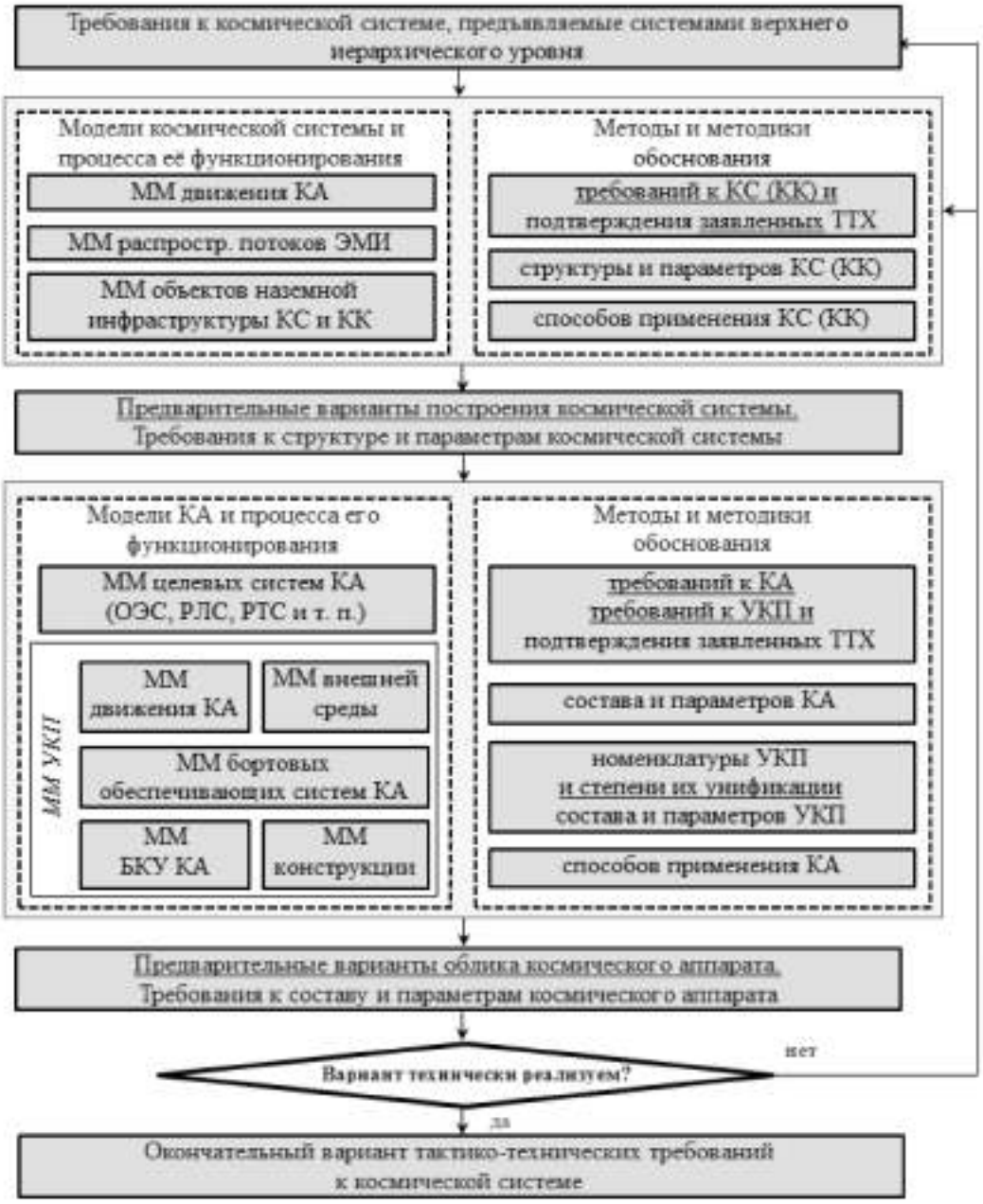

Рис. 1. Место научно-методического аппарата обеспечения создания КА на основе унифицированных космических платформ в процессе обоснования требований к космической системе

Рис. 2. Структура предъявления требований к ЦС и УКП

отражают требования к интерфейсам сопряжения:

– требования к мощности и циклограмме электроснабжения (интерфейс электроснабжения);

– требования к отводу (подводу) тепла (тепловой интерфейс);

– требования к режиму информационного обмена (информационный интерфейс);

– требования к пространственной ориентации на орбите функционирования (обеспечивается посредством механического интерфейса ЦС с УКП).

Таким образом, различие УКП для КА различного целевого назначения состоит в различии характеристик, описывающих указанные четыре вида обеспечения. В целом УКП является неотъемлемой частью КА. Поэтому в дальнейшем целесообразно рассматривать именно КА как сложную техническую систему. При этом считать описанные выше особенности задания ТТТ к УКП, так как она является обеспечивающим модулем КА.

Общая схема проведения исследований по обоснованию ТТТ заключается в следующем.

Обоснование требований к УКП выполняется «сверху вниз» в соответствии с принятой иерархической структурой. На каждом уровне декомпозиции определяются решаемые КС, КК, КА задачи, показатели эффективности их решения, критерии оценивания этих показателей.

На нижнем уровне декомпозиции выполняется решение задач предварительного определения облика УКП, обоснования необходимых уровней ТТХ, прогнозирования достижимых уровней. По результатам сопоставления этих уровней определяются ТТТ к перспективным образцам КА.

Обоснование ТТТ необходимо проводить с учётом:

– формирования требований к КС и ее составным элементам, исходя из потребностей заказчика, в соответствии с принятой декомпозицией космических систем страны;

– упреждающего выполнения начала и длительности ОКР, а также срока активного функционирования;

– достижения требуемых характеристик УКП не только за счет обеспечения высоких характеристик отдельных бортовых систем (их элементов), но и за счет комплексного подхода к обоснованию рационального состава и выбора параметров процессов их функционирования;

– обоснования требований возможности использования унифицированных элементов при создании УКП, при этом, если требуемые характеристики недостижимы, то исследования должны быть направлены на создание необходимой элементной базы.

В процессе создания УКП можно выделить три этапа исследований *t*: концептуальный, обликовый и проектный.

При этом первые два этапа можно отнести к процессу формирования ТТТ к УКП, а проектный этап – к выполнению опытно-конструкторской работы по созданию УКП и КА.

На концептуальном этапе в рамках научно-исследовательских работ проводится обоснование роли и места КС в космической программе и КА в космической системе, а также концепций создания КА, определяющих основные общие требования к ним.

На обликовом этапе выполняется синтез облика УКП и КА с оптимизацией его основных обобщённых параметров в рамках выбранной концепции. Задачи обликового этапа выполняются в рамках НИР и аванпроектов.

Облик КА и его ТТХ определяются главным образом целевой задачей, которая решается с помощью аппаратуры, составляющей полезную нагрузку. УКП обеспе-

Рис. 3. Общая структура научно-методического аппарата обоснования тактико-технических требований

чивает необходимые условия работы целевой аппаратуры, управление ею в полете, энергопитание, съем телеметрической информации, доставку целевой информации на Землю.

На проектном этапе (в процессе выполнения ОКР) проводится детальная проработка устройства УКП и определение его конкретных ТТХ в рамках обоснованного технического облика КА.

Подход к обоснованию ТТТ к УКП в виде процесса, включающего три этапа, базируется на совокупности прогнозов трех видов: долгосрочном, среднесрочном и краткосрочном.

Основу концептуального этапа составляет долгосрочный прогноз, который направлен на обоснование основных направлений развития УКП на 15–20 лет вперед. Характерными условиями решения задач на этом этапе являются большой диапазон изменения ТТХ, высокая неопределенность в условиях разработки, производства, эксплуатации и применения УКП. Поэтому основными методами исследований этого этапа являются методы содержательного, неформального анализа, методы регрессионного анализа трендов изменения основных эксплуатационных свойств и ТТХ УКП, а также аналитические методы оптимизации.

Среднесрочный прогноз выполняется на обликовом этапе и базируется на более полных сведениях об УКП, конкретных сроках и масштабах их производства, потребных и выделяемых ресурсах, конкретных технологиях, которые реально могут быть использованы при разработке и создании новых образцов. К этому моменту более детально прорабатываются перечень и объемы расчетных задач, условия их выполнения, а также основные оперативно-тактические требования. Имеющаяся информация на обликовом этапе позволяет выполнить оптимизацию основных ТТХ и определить содержание ТТЗ на разработку аванпроекта УКП. Достаточная полнота имеющихся исследований исходных данных определяет возможность использования на этом этапе оптимизационных и детальных методик синтеза вариантов УКП и КА в целом, а также имитационных многопараметрических моделей функционирования КА.

Для проверки достижимости требуемых характеристик должен применяться инструмент внешнего проектирования, используемый для определения состава УКП, ряда наиболее важных обобщённых характеристик его бортовых систем и оценки принципиальной возможности создания УКП, отвечающей требованиям, задаваемым к космической системе.

Внешнее проектирование – одна из важнейших составляющих процесса формирования ТТТ, основной целью которой является проработка технических решений и прогнозирование параметров УКП на ранних этапах ее создания. Эти работы проводятся без детального проектирования в интересах проверки технической реализуемости предложенных решений, удовлетворяющих заданным требованиям. Внешнее проектирование характерно для обликового этапа создания УКП.

Основной задачей внешнего проектирования при формировании ТТТ является проработка технических решений с помощью комплекса различных моделей и

методов, расчёт с определённой погрешностью диапазонов характеристик, в первую очередь интегральных параметров целевых систем, а также массогабаритных, энергетических характеристик и связанных с ними параметров орбитального полёта. По его результатам принимается решение об одобрении ТТТ и начале ОКР по созданию УКП или проводится анализ причин невыполнения требований и выработка рекомендаций по их уточнению.

Краткосрочный прогноз, который выполняется на проектном этапе, позволяет уточнить отдельные требования к УКП. Эта задача решается на основе комплексной оценки различных вариантов технических решений. Комплексной оценке подвергаются показатели эффективности УКП и КА, затрат, необходимых для реализации того или иного технического решения, полезности предлагаемых вариантов решений в целом по совокупности показателей. Имеющиеся исходные данные по техническим обликам УКП и их основных составных частей, условиям разработки, создания и применения позволяют проводить оценки, применяя детальные имитационные модели функционирования КА и методик оценки эффективности их применения.

Базу научно-методического аппарата обоснования ТТХ составляют модели КС, КА, УКП и процессов их функционирования, а также методы и средства их моделирования. Общая структура такого аппарата представлена на рис. 3.

Модели представляют собой набор обоснованных представлений о КА и УКП, а методы и методики – приёмы целесообразного проведения какой-либо работы.

Модели могут быть натурными, полунатурными или математическими. В настоящее время наибольшее распространение получили математические модели, под которыми понимаются совокупности математических соотношений, описывающих процесс функционирования объекта, исходных, выходных данных и ограничений. Для оценивании отдельных свойств УКП и КА , как правило, широко используется метод статистического имитационного моделирования [2].

Кроме моделей, методов, методик и средств моделирования важнейшими элементами научно-методического аппарата являются взаимосвязанные между собой программы проведения исследований по разработке (обоснованию) ТТТ и система показателей и критериев оценивания качества разрабатываемых КА.

Типовая программа проведения исследований содержит:

– наименования работ (этапов работ) по разработке (обоснованию) ТТТ;

– сведения об исполнителях (сотрудниках, подразделениях, организациях);

– сроки выполнения;

– исходные данные;

– сведения об ожидаемых выходных результатах.

Основу системы критериев и показателей качества создаваемого КА представляют:

· действующие нормативно-технические документы, содержащие типовые требования к качеству и процессу его функционирования;

· результаты научно-исследовательских работ, исследований на учениях;

· материалы других мероприятиях, посвящённых отработке вопросов применения КА.

Программа исследований, система критериев и показателей качества создаваемого КА во многом определяют содержание моделей, методов исследования и разработки ТТТ. Поэтому модель, используемая для обоснования ТТТ или оценки достижимости заявленных ТТХ, не обязательно должна представлять собой точное отражение моделируемого объекта или процесса. Уровень сложности модели должен соответствовать задаче моделирования и критерию оценки качества его результатов. Зачастую стремление к излишней детализации приводит к затягиванию времени создания модели, а также ошибкам при её создании.

ТТТ к УКП, в первую очередь, формируются системами верхнего иерархического уровня – КА, КК и КС на основе требований, предъявляемым к данным системам. Таким образом, в результате выполнения расчётов параметров КС формируется предварительный вариант её построения и определяются требования к:

· типам, количеству КА в орбитальной группировке и параметрам их орбит;

· параметрам целевых систем КА (характеристики зон обзора, периодичность обзора, углы визирования, точность определения координат, разрешение оптико-электронных систем, характеристики каналов связи и передачи данных и пр.).

Эти данные являются основой требований назначения к УКП.

Описанный выше научно-методический аппарат является базовым для обоснования направления развития КС, КК и КА, а также формирования ТТТ к ним. В целом реализуемые подходы не противоречат существующим подходам к созданию КС, КК и КА в нашей стране. Однако анализ иерархических уровней научно-методического аппарата показывает, что для отечественных исследователей и разработчиков характерны:

· многообразие подходов к созданию объектов космической техники (разнообразные, не совместимые по форматам представления, исходным и выходным данным модели и методики) и конечных реализаций данной техники;

· высокий уровень взаимной закрытости информации, как среди научно-исследовательских организаций РФ, так и предприятий Роскосмоса.

Эти факторы распыляют усилия и ресурсы (временные и финансовые), а также повышают вероятность принятия ошибочных организационных и технических решений.

Особенностью научно-методического аппарата обоснования ТТТ к КА с учётом их построения на основе УКП является более широкая предметная область по сравнению с существующими моделями КС и методиками обоснования требований к параметрам входящих в их состав КА. Это обусловлено необходимостью наличия в составе методик и моделей процессов функционирования КС (КА) областей пересечения диапазонов (наборов) требований для КА, входящих в разные КС.

Особенностями данных моделей и методик должны являться:

- масштабируемость;
- многоуровневая иерархическая структура (для решения одних и тех же задач с разными классами точности моделирования выходных характеристик используются разные модели – от примитивных до сложных);
- исполнение внешнего интерфейса (наборы выходных и исходных данных) в едином стандарте как для всех разработчиков и пользователей РФ, так и в организациях Роскосмоса.

На рис. 4 представлена структура комплекса математических моделей для обеспечения разработки перспективных КА на основе УКП.

Целесообразно использовать трехуровневую систему моделей и методов (методик).

На первом уровне находятся простые модели и методы, как правило аналитические, не требующие для их реализации разработки специализированного программного обеспечения. В этом качестве можно использовать существующие аналитические зависимости в форме линеаризованных уравнений или эмпирических формул с коэффициентами, определёнными в результате статистической обработки данных натурных экспериментов. Они могут применяться для определения границ параметров разрабатываемых КА с невысокой точностью на концептуальном этапе исследований. На практике же довольно часто требуется в довольно короткие сроки и с минимальными затратами ресурсов получить оперативные данные и выполнить оценочные расчеты. Этот же научно-методический аппарат удобно использовать при необходимости быстрой проверки достижимости заявленных ТТХ.

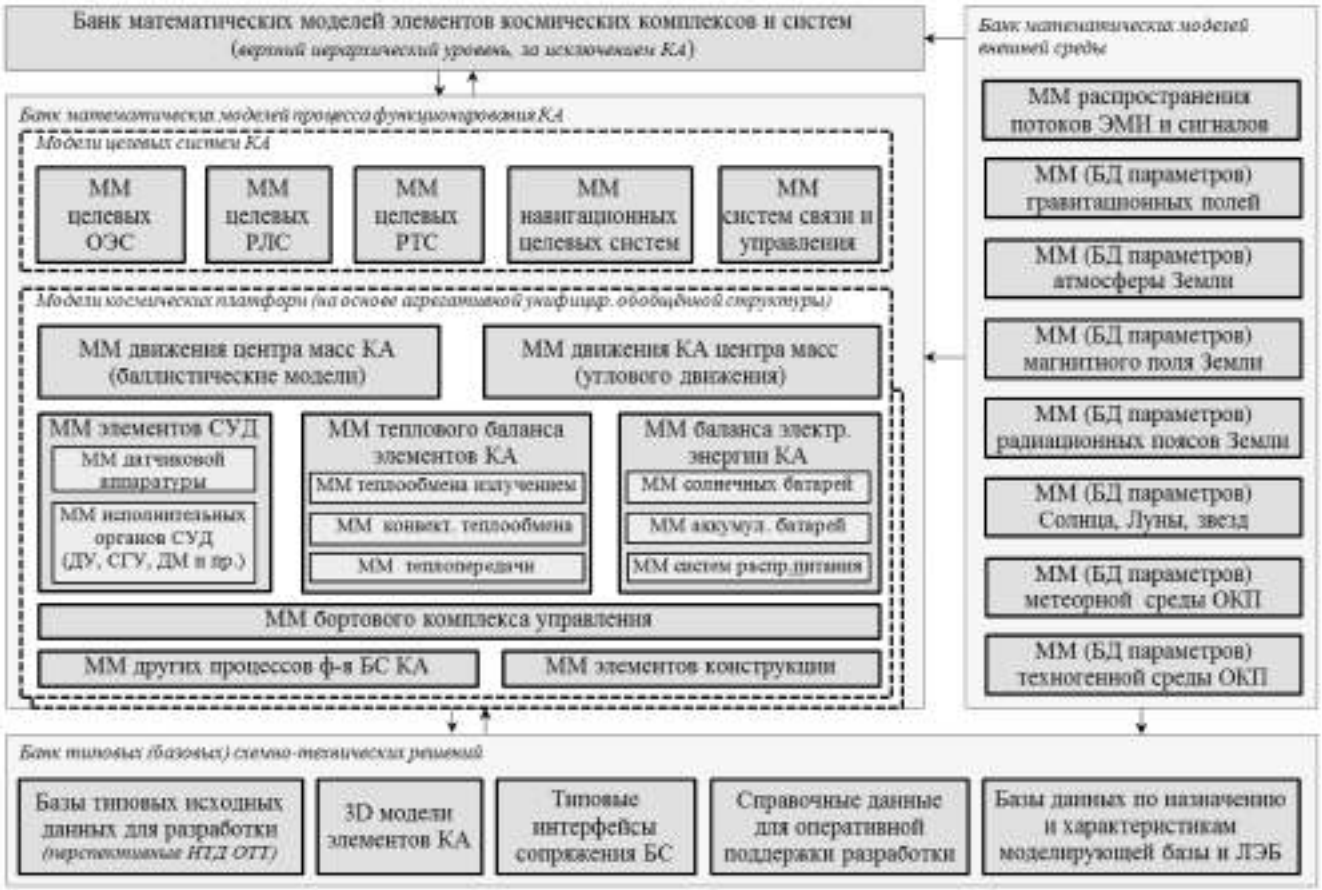

Рис. 4. Структура комплекса математических моделей для обеспечения разработки перспективных КА на основе унифицированных космических платформ

Применение аналитических зависимостей позволяет значительно сократить потребные затраты временных, материальных и людских ресурсов.

Для второго уровня целесообразно использовать численные модели и методы среднего уровня сложности. Разработка их ведется с помощью программных пакетов (Mathcad, MATLAB и пр.) и языков программирования (Delphi, C++, Python, R и др.).

Для третьего уровня характерны сложные численные и экспериментальные модели и методы. Точность определения требований с их помощью значительно выше, однако временные и прочие затраты на исследования более значительны по сравнению с первым и вторым уровнями. Для применения, как правило, необходимо специализированное программное обеспечение и лабораторно-экспериментальная (полигонная) база.

Таким образом, актуальным является развитие существующего научно-методического аппарата в направлении разработки его элементов, таких как:

- комплекс моделей и методик для обоснования обобщённых требований к УКП для КА;
- моделей перспективных КА на базе УКП, процессов их функционирования, а также методик подтверждения заявленных (прогнозируемых) характеристик КА на ранних этапах жизненного цикла.

Таким образом, сформированы предложения по уточнению научно-методического аппарата обоснования тактико-технических требований к УКП и КА в целом, а также сопровождения процессов их создания, производства и эксплуатации в форме номенклатуры моделей и методик. Представление обоснования ТТТ к УКП в виде процесса, включающего три этапа (концептуальный, обликовый, проектный), полностью согласуется с практикой программного планирования разработки космической техники, базирующейся на совокупности прогнозов трех видов: долгосрочном, среднесрочном и краткосрочном.

Литература

1. Погребняк, Р.Н. Направления совершенствования методического аппарата обоснования долгосрочных программно-плановых документов в области развития системы вооружения ВС РФ / Р.Н. Погребняк, А.П. Скотников // Сб. РДР. Сер. Б № 75, инв. Б5836. М.: ЦВНИ МО, 2006.

2. Абдурахимов А.А. Методологические основы обеспечения живучести космических аппаратов / А.А. Абдурахимов, Д.В. Скворцов / Труды военно-космической академии им. А.Ф. Можайского. – 2013. – № 640. – С. 7–19.

ФИЛОСОФИЯ ИНФОРМАЦИИ

- Информация, энергия, материя
- Информационно-энергетическое поле
- Информационные аспекты культуры, нравственности и духовности
- Новое миропонимание

раздел

ФИЛОСОФИЯ

Смысл и содержание понятия информации

Sense and maintenance of the concept of information

Аль-Ани / Al-Ani N.
Намир Махди
(namr_ani@yahoo.com)
доктор философских наук, профессор.
ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики»,
профессор кафедры социальных и гуманитарных наук.
г. Санкт-Петербург

Ключевые слова: кибернетика – cybernetics; информация – information; теория информации – theory information; негэнтропия – negentropy; сообщение – message; кодирование и декодирование – coding and decoding; канал связи – communication channel; обратная связь – feedback.

В статье прослеживается процесс формирования и развития понятия информации, рассматриваются различные трактовки данного понятия. Предпринимается попытка раскрыть содержание информации как философской категории и даётся авторское её определение.

In article, process of forming and development of a concept of information is traced; different interpretations of this concept are considered. An attempt to open contents of information as philosophical category is made and its author's definition is given.

Понятие «информация» по сей день ещё не получило своего однозначного и общепринятого определения. Обозначаемый им феномен в предметном отношении оказался настолько сложным, и, стало быть, трудно поддающимся однозначному качественному определению, что на сегодняшний день мы имеем целое множество самых различных его трактовок. Вместе с тем следует заметить, что отсутствие единого общепризнанного определения понятия информации не помешало, однако, успешной разработке ещё в конце 40-х и начале 50-х годов XX столетия теории информации и последующему её неуклонному развитию. Это объясняется тем, что для создания данной теории важны были не качественные особенности информации, а её сугубо количественные характеристики. Впоследствии теория информации приобрела вполне отчётливое междисциплинарное измерение, и стала, с одной стороны, системообразующим элементом таких наук, как кибернетика, информатика и т.д., а с другой – теоретической основой формирования одного из самых действенных и эффективных общих методов научного исследования – информационного.

Одно из первых «определений» информации было отрицательным, и оно принадлежало Н. Винеру. Информация, он писал в работе «Кибернетика или управление и связь в животном и машине» (1948), «есть информация, а не материя и не энергия» [1, с. 208]. Однако, хотя Б. Спиноза в своё время и полагал, что «Omnis determinatio est negatio» (« Определение есть отрицание»), с формально-логической точки зрения определение не должно быть отрицательным (или, во всяком случае, не только отрицательным). Дело в том, что отрицательное определение ограничивается указанием лишь того, чем определяемое не является и, стало быть, фиксирует только его отличия от чего-либо другого, до конца не раскрывая при этом его сути. Так, например, сказать, что информация – это «не материя и не энергия», не означает ещё, что мы тем самым устанавливаем её специфическое содержание, раскрываем её сущность. Правда, в той же работе Н. Винер отмечал в частности, что в статистической теории информации понятие «количества информации совершенно естественно связывается с классическим понятием статистической механики – понятием энтропии. Как количество информации в системе есть мера организованности системы, точно так же энтропия системы есть мера дезорганизации системы; одно равно другому, взятому с обратным знаком» [1, с. 56]. Вот собственно почему в работе «Кибернетика и общество» (1950) он склоняется к идущему от франко-американского физика Леона Николя Бриллюэна пониманию информации как меры упорядоченности (организованности) системы, а следовательно, как отрицательной энтропии, как негэнтропии [см.: 2, с.166]. Более того, в

данной работе он пытался дать более содержательное определение информации. «Информация, – писал он здесь, – это обозначение содержания, полученного из внешнего мира в процессе нашего приспособления к нему и приспособления к нему наших чувств. Процесс получения и использования информации является процессом приспособления к случайностям внешней среды и нашей жизнедеятельности в этой среде» [2, с. 31]. Однако что это за содержание, каковы его качественные характеристики, что оно представляет по своему существу, он не разъясняет.

Использованный Л. Бриллюэном термин «отрицательная энтропия» восходит к австрийскому физику-теоретику Эрвину Шрёдингеру, который впервые использовал его в своей книге «Что такое жизнь с точки зрения физики?» (1943). Данным термином Э. Шрёдингер обозначил негативную энтропию, поступающую в живой организм из внешней среды (вместе с пищей и другими жизненно необходимыми условиями среды) и приводящую к поддержанию уровня производимой в организме положительной энтропии постоянным, или даже к его снижению [3].

Л. Бриллюэн не только подсократил название указанного термина и переиначил его как «негэнтропия» «Negentropy» (от начальных букв англ. слова «negative» – (отрицательное») и англ. слова entropy), но и понимал негэнтропию как важнейшее свойство информации, как её количественное выражение [4, с. 204].

Более определённое представление об информации пытался сформировать основоположник математической теории информации, американский математик и инженер Клод Элвуд Шеннон. Он интерпретировал её как снятую неопределенность. Дело в том, что информацию он понимал как сообщение, передаваемое по каналу связи, а полноценное сообщение суть не что иное, по его мнению, как снятая неопределённость. Свою теорию информации К. Э. Шеннон разработал в опубликованной в 1948 г. и приносившей ему мировую известность статью «Математическая теория связи». Здесь под системой связи он понимает структуру, включающую в себя следующие, пять элементов «1. Источник информации, создающий сообщения или последовательность сообщений, которые должны быть переданы на приёмный конец…2. Передатчик, который перерабатывает некоторым образом в сигналы, соответствующие характеристикам данного канала…3. Канал – это среда, используемая для передачи сигнала от передатчика к приёмнику…4. Приёмник обычно выполняет операцию, обратную по отношению к операции, производимой передатчиком, восстанавливая сообщение по сигналам…5. Адресат – это лицо (или аппарат), для которого предназначено сообщение» [5, с. 245–246]. В указанной работе К. Э. Шеннон в частности сформулировал свою теорему о пропускной способности канала связи. Эта теорема гласит, что при скорости передаче сигналов V-передачи меньше некоторой постоянной величины, которая как раз и составляет пропускающую способность канала связи, имеют место способы передачи и приёма информации (т.е. её кодирования и декодирования), позволяющие восстановить со сколь угодно малой вероятностью ошибки передаваемых сигналов, несмотря на существование шумов (помех). Подобных способов не существует, если V-передачи больше пропускающей способности канала связи.

В отличие от К.Э. Шеннона, английский психиатр и учёный-кибернетик Уильям Росс Эшби в работе «Введении в кибернетику» (1956) рассматривает информацию как снятую неразличимость. Поэтому он количественно определяет её как меру разнообразия. В связи с этим он сформулировал закон необходимого разнообразия как один из фундаментальных законов кибернетики. Содержание данного закона он выводит путём обобщения соотношения между разнообразием ходов и разнообразием исходов в игре двух игроков *R* и *D*. Он пишет: «Если ход игрока *R* не изменяется, т.е. *R* делает один и тот же ход при любом ходе игрока *D*, то разнообразие исходов будет равно разнообразию ходов этого *D*. Теперь *D*, так сказать, полностью контролирует исходы.

Если же *R* использует или может использовать два хода, то разнообразие исходов может быть уменьшено вдвое (но не в большее число раз). Если *R* имеет три хода, то разнообразие исходов может быть уменьшено втрое (но не в большее число раз) и т.д. Таким образом, чтобы свести разнообразие исходов к некоторому заданному числу или к некоторой доле разнообразия игрока *D*, разнообразие ходов игрока *R* должно быть увеличено по меньшей мере до соответствующего минимума. Только разнообразие ходов игрока *R* может уменьшить разнообразие исходов» [6, с. 293]. Исходя из этого, У. Р. Эшби заключает, что «разнообразие исходов, если оно минимально, может быть еще более уменьшено лишь за счет соответствующего увеличения разнообразия, которым располагает *R*…

Это и есть закон необходимого разнообразия. Говоря более образно, только разнообразие в R может уменьшить разнообразие, создаваемое *D*; только разнообразие может уничтожить разнообразие» [6, с. 294]. Данный закон, как уверяет У. Р. Эшби, — «не имеет никакого отношения к свойствам материи» [6, с. 296]. И вообще он полагает, что хотя сначала «кибернетика была тесно связана по многим линиям с физикой; но не зависит существенным образом от законов физики или свойств материи» [6, с. 14]. Можно согласиться с последними двумя утверждениями У. Р. Эшби только в том случае, если он под материей здесь понимает именно вещество как конкретно физическую форму существования материи. В противном случае, т.е. при понимании материи не как физической, а как фило-

софской категории, обозначающей объективную реальность, эти два последних высказывания У.Р. Эшби следует считать несостоятельными. Дело в том, что информация на самом деле (а это я попытаюсь показать ниже) есть всеобщее свойство материи, и в качестве такового она не может существовать отдельно и независимо от этой последней.

Итак, можно сказать, что согласно закону необходимого разнообразия сложная система может успешно функционировать и стать, таким образом, действующей кибернетической системой только в том случае, если разнообразие её всевозможных состояний находится в некотором соответствии с разнообразием действующих на неё факторов. Это значит, что присущее системному объекту разнообразие делает необходимым для его нормального функционирования именно такое управление им, которое само отличается определённым разнообразием.

С другой стороны, следует заметить, что разнообразие возмущающих факторов среды вносит в систему неопределённость, а вместе с ней и дезорганизацию. Оно, следовательно, действует на систему разрушительно. Однако вместе с тем среда представляет последней и «противоядие» от разрушения (дезорганизации) в виде информации. Дело в том, что вместе с энергией и веществом из среды в открытую (кибернетическую) систему поступает информация, которая уменьшает в ней неопределённость, а, соответственно, и снижает уровень её энтропии. Следовательно, именно информация накладывает ограничение на разрушительное действие разнообразия среды, ликвидирует или уменьшает неопределённость в системе. Поэтому информацию можно охарактеризовать, как снятую или устранённую неопределённость, и она может быть измерена количеством этой последней.

Сказанное означает, что только благодаря информации управляющая подсистема может соответствующим образом подкорректировать поведение управляемой подсистемы и системы в целом, чтобы эти последние могли нормально функционировать в новых изменившихся условиях. Отсюда следуют два важных вывода. Во-первых, управление можно рассматривать как процесс приёма, обработки, преобразования и передачи информации с целью сохранения кибернетической системы и её нормального функционирования в изменившихся условиях. Во-вторых, система управления является саморегулирующейся или самоорганизующейся системой.

Система управления представляет собой, как видим, систему не просто сложную, но и самоорганизующуюся. Понятие «самоорганизующаяся система» было введено У. Р. Эшби для обозначения сложной открытой системы, которая могла бы путем переработкой и передачи поступающей информации противодействовать диктуемой вторым началом термодинамики тенденции её дезорганизации или, короче, системы, способной совершить «антиэнтропийный процесс». Образно говоря, самоорганизующиеся системы – это «временные островки уменьшающейся энтропии» [см.: 2, с.29, 48], т.е. островки порядка в море термодинамического хаоса. Исходя из этого, можно считать самоорганизацию важнейшей характеристикой кибернетической системы, а стало быть, и важнейшим принципом кибернетики.

Теория информации и формируемый на её основе информационный подход оказались полезными не только при решении сугубо технических задач, но показали свою большую эффективность при исследовании биологических явлений, интерпретации мыслительной деятельности человека и изучении различных социальных процессов. Информационный подход показал свою эвристическую ценность и в решении одного из парадоксов нашего времени – обострившегося противоречия между «информационным взрывом» и «информационным голодом». Другими словами, он способствовал успешному разрешению противоречия между экспоненциальным ростом объема производимой и накопленной информации, с одной стороны, и ее труднодоступности, в том числе из-за ее неупорядоченности – с другой. Это противоречие решалось и успешно решается с помощью создания всякого рода централизованных баз данных, разработки и создания систем искусственного интеллекта, широкого распространения персональных компьютеров и различных телекоммуникационных устройств и т.д. Всего этого невозможно было достичь без теории информации, кибернетики и информатики.

Вслед за математической или статистической теорией информации К. Э. Шеннона и под её влиянием в 1952 г. Рудольфом Карнапом и его учеником Йегошуа Бер-Хиллелом были заложены основы, так называемой, семантической теории информации. Правда, в отличие от первой теории, полностью игнорирующей смысловое содержание сообщения (смысловой аспект информации), т.е. его качественное значение, вторая теория, наоборот, делает акцент именно на данном содержании (аспекте). Поэтому можно сказать, что в семантической теории информации предпринимается попытка учитывать оба аспекта информации – количественный и качественный, связать их вместе. В ней информация трактуется как смысловое содержание высказывания, которое может быть как истинным, так и ложным. Количество этой информации, как полагали Р. Карнап и Й. Бер-Хиллел, можно измерить на основе логической вероятности с использованием инструментарий символической логики и логической семантики. Исходя из сказанного можно заключить, что информация в семантической теории информации понимается сугубо как знание, т.е. полностью отождествляется с этим последним.

Со временем интерпретация информации как знания становится самым популярным и распространённым её определением. Этому, по-видимому, способствовала и этимология самого слова «информация». И в самом деле, латинское слово «Informatio» буквально

означает «разъяснение», «истолкование», «представление», «осведомление». Эти значения, которые обобщённо можно выразить через слово «знание», закрепились за словом «информация» в других языках, в том числе и в русском языке. Поэтому не удивительно, что в толковых словарях русского языка мы встречаем такие же или близкие к ним значения слова «информация». Так, например, в «Словаре русского языка» С. И. Ожёгова приводится следующее толкование данного слова. Информация, говорится здесь, – есть «1. Сведения об окружающем мире и протекающих в нем процессах, воспринимаемые человеком или специальными устройствами (спец.) Теория информации. 2. Сообщения, осведомляющие о положении дел, о состоянии чего-н. Газетная и. » [7, с. 224] .

Между тем знание вообще составляет, на мой взгляд, лишь одну из форм информации, а именно её высшую форму. В связи с этим не лишне напомнить, что сущность и существование не совпадают между собой полностью и целиком, т.е. абсолютно, и поэтому любое явление действительности не может быть сводимым к какой-либо из конкретных форм его существования. Более того, помимо знания существуют и другие формы информации, которые имеют место как в органическом, так и в неорганическом мире. Это значит, что информация является на самом деле не только гносеологическим понятием, но, как будет показано ниже, и понятием онтологическим, обозначающим что-то, простирающееся далеко за пределы человеческого существования. В силу всего этого становится понятным, почему недопустимо редуцировать информацию вообще к знанию и, таким образом, отождествлять её с этим последним.

Правда, некоторые исследователи, признавая универсальный характер информации, превращают её всё же в нечто принципиально отличное не только от энергии, но и от материи вообще. Выше было упомянута установка Н. Винера, разводящая понятия информации, материи и энергии. При этом стали интерпретировать, фигурирующее здесь понятие материи не в сугубо физическом смысле, т.е. не как «вещество» (что, собственно, и следует из контекста указанной установки), а в философском значении, противопоставляя его, таким образом, понятию сознания. Так, информации предаётся субстанциальный статус и превращается тем самым в самостоятельную сущность, наличествующей наряду с материей. Иначе говоря, она оказывается чем-то третьим, существующим помимо материи и сознания. Более того, именно она, по мнению отдельных авторов, и провозглашается исходной основой всего сущего. Так поступают некоторые из сторонников идеи цифровой физики, рассматривающей Вселенную, как полагал в своё время немецкий инженер Конрад Цузе, в качестве цифрового компьютера. В соответствии с таким представлением о Вселенной американский физик-теоретик Джон Арчибальд Уиллер в 90-ые годы XX столетия выдвигает свою идеалистическую по своей философской сути концепцию «It from bit» («Это (Всё) из бита»), согласно которой нематериальная единица информации «бит» провозглашается первосущностью, исходной основой всего сущего [см.: 8, pp. 310 etc.]. Следовательно, бит лежит и в основе всех физических явлений, и его мы можем извлечь, как полагал Дж. А. Уиллер, при помощи физических экспериментальных установок в форме ответа на задаваемый нами простой бинарный вопрос: да или нет.

На первый взгляд, казалось бы, ничего необычного в этом вопросе нет, поскольку ответ на заданный нами вопрос, надо полагать, «даёт» сама природа на основе действующих в ней законов. Однако это далеко не так, как полагает Дж. А. Уиллер. Дело в том, что ответ на этот вопрос, согласно его точке зрения, даём мы сами. Мы просто вкладываем его, образно говоря, в «уста» природы. Против столь безумного взгляда непременно встаёт не только здравый смысл, но и научный разум, который готов согласиться с тем, что наше вмешательство в происходящие в данный момент события может повлиять на их исход (будущее), но никак не на их исток (прошлое). И в самом деле, научный разум никак не может мириться с тем, что мы в состояние изменить прошлое, заставить давно минувшие события происходить по-иному. Однако и на такой протест со стороны не только здравого смысла, но и устоявшихся научных представлений мы находим ответ у данного неординарного учёного – постоянного возмутителя не только здравого смысля, но и спокойствия в научной и философской среде. Дело в том, что Дж. А. Уиллер полагает, что время представляет собой только теоретическую модель, конструкт нашего ума, которой мы можем оперировать по своему произвольному выбору и, стало быть, как нам заблагорассудиться. Поэтому мы в состоянии, согласно его точке зрения, обратить время вспять, экстраполировать наши настоящие действия на прошлое и тем самым радикально изменить его. Однако как быть в таком случае с принципом постоянства скорости света в вакууме и ограниченности скорости распространения физического действия? Дж. А. Уиллер готов пожертвовать и данным принципом, а вместе с ним и принципом близкодействия ради достижения, по-видимому, априори выбранной им цели. И в самом деле, он своими отмеченными идеями фактически подправляет с априори определённых философских позиций точку зрения немецкого физика-теоретика Вернера Гейзенберга, согласно которому природа отвечает на вопрос учёного не только в соответствии со своим устройством, но и сообразно форме самого вопроса, поставленного учёным. Дж. А. Уиллер исправляет данную мысль В. Гейзенберга с позицией ещё более последовательного субъективного идеализма, с позицией берклианства и его основного принципа: «Esse est percipi» («Существовать, значит быть в восприятии»). И действительно, он в своей модели «соучаствующей Вселенной», согласно

которой Вселенной вовне (т.е. независимо от человека) не существует, лишь переиначит данный принцип английского философа Джорджа Беркли, выражающий собой «символ веры» субъективного идеализма вообще. Он фактически его переформулирует следующим образом: «Существовать, значит быть наблюдаемым». Так наблюдение превращается Дж. А. Уиллером в акт творения, а человека как наблюдателя он, соответственно, обращает в сотворца Вселенной. Поэтому можно охарактеризовать его понимание информации, и вырастающее из него понимание Вселенной как субъективно-идеалистическими.

По мере развития теории информации и обращения её в форму междисциплинарного научного знания информация становится не только важным общенаучным понятием, образующим исходной основой понятийного аппарата целого ряда научных дисциплин, но и превращается в философскую категорию. Попадая в поле зрения философии и становясь, таким образом, объектом философской рефлексии, она получает диаметрально противоположные определения в философском идеализме и в материалистической философии. В идеалистической философии информация понимается как сугубо духовное (идеальное) начало, лежащее в основе всех материальных процессов. При этом субъективный идеализм объявляет её феноменом, зависящим от человеческого субъекта, который, собственно, и вносит её в мир. Такой взгляд на информацию вводится и развивается в неопозитивизме и других субъективно-идеалистических течениях современной философии. В отличие от субъективного идеализма, идеализм объективный рассматривает информацию как объективную идеальную сущность, определяющую собой суть всех физических и иных материальных процессов в мире. Так, в частности, она понимается в религиозной философии (христианской, мусульманской и др.), согласно которой признаётся трансцендентную природу информации, её сверхъестественное происхождение, а стало быть, и её сугубо духовное содержание.

В прямую противоположность идеализму, материализм возводит информацию в ранг существенного свойства материи как единственно реально существующей субстанции. Поэтому она неотделима от этой последней, и отдельно от неё, естественно, не существует и существовать не может. Такой взгляд на информацию предлагается, например, в марксистской философии.

Следует сказать, что многие из вышеприведённых трактовок информации были довольно рано представлены в отечественной литературе. Вместе с тем в ней был предложен целый ряд других интерпретаций данного феномена. Так, одни наши авторы связывали информацию с непосредственным содержанием категорий возможности и действительности [см.: 9, с. 28], другие – определяли её как меру упорядоченности отражения и изменения вообще [см.: 10, с.60; 11, с. 499–500], третьи – рассматривали её как связь управленческого характера (связь управляющего с управляемым) [см.: 12, с.36; 13, с. 157; 14, с. 106] и т.д. В «Философском энциклопедическом словаре» (1983) даются четыре следующих толкования содержания понятия информация: Информация – это «1) сообщение, осведомление о положении дел, сведения о чем-либо, передаваемые людьми; 2) уменьшаемая, снимаемая неопределенность в результате получения сообщений; 3) сообщение, неразрывно связанное с управлением, сигналы в единстве синтаксич., семантич. и прагматич. характеристик; 4) передача, отражения разнообразия в любых объектах и процессах (неживой и живой природы)» [15, с. 217].

Более лаконичное определение информации даёт «Философский словарь» под ред. Н. Т. Фролова (1991). Информация в широком смысле, говорится в данном издании, это «результат отражения одного объекта в другом, используемый в конечном чете для формирования управляющих воздействий. Для понимания существа И. особенно важным является раскрытие трех осн. ее аспектов: синтаксического, семантического и прагматического» [16, с. 166].

Если попытаться обобщить все упомянутые в данной статье определения информации, то можно, на мой взгляд, предложить следующую их классификацию: субстанциальные, атрибутивные и модусные. К субстанциальным определениям информации относится, например, её понимание как идеальная сущность, существующая отдельно от материи и производящая её из самой себя. Именно такое понимание информации мы находим в рассмотренной выше концепции Дж.А. Уиллера «It from bit». Атрибутивные определения информации, согласно которым она провозглашается всеобщим свойством материи, связанным с отражением или изменением вообще, мы находим в марксистской философии. И, наконец, к модусным определениям информации я отношу её понимание как характеристики (связь) определённых классов явлений, например, управляющих и управляемых систем, или как знание.

Классификация определений информации можно производить и по другим критериям (основаниям). Так, под углом зрения субъекта и его отношения к информации её можно делить на производимую человеком (а соответственно, и зависящую от него) субъективную информацию и независящую от него объективную информацию. По структурно-функциональному признаку можно различать информацию структурную и информацию функциональную. А с точки зрения семиотики можно выделить синтаксическую, семантическую и прагматическую информацию. Можно различать информации по способу её передачи и получения, по различным формам её кодирования и декодирования, или по каким-либо иным основаниям.

Информация как атрибут материи

Как было отмечено выше, информация присуща не только человеку и, соответственно, характерна не только для социального уровня структурной организации материи, но простирается далеко за пределы человеческого существования. И в самом деле, она в разных формах имеет место как в неорганической природе, так и в природе органической. Так, например, горная порода много может нам рассказать о её происхождении, о её возрасте, о состоянии магнитного поля Земли в моменте её формирования и т.д. Всё это она содержит в себе в виде некоего аккумулированного опыта её прошлых взаимодействий со средой. А поступающий от далёкой звезды луч света несёт нам ценную информацию о её массе, химическом составе, скорости вращения, температуре, возрасте и т.д. Что же касается живой природы, то можно сказать, что ни одно живое существо не может нормально функционировать и вообще существовать без информации, поступающей к ней из окружающей его среды. Так, например, летучая мышь не могла бы безопасно летать, или найти и поймать свою добычу, если бы не получала от окружающих её объектов информации в виде отражённой от них, испускаемой ей же ультразвуковой волны (эхолокации), и в таком случае погибла бы либо от столкновения с крупным предметом, либо от голода. Подобным же образом и любое другое живое существо не могло бы выжить в полной опасностями среде без получения из неё соответствующей информации. Более того, сегодня стало общим местом говорить о закодированной главным образом в ДНК наследственной информации, благодаря которой признаки живого организма передаются от родителей потомству. Ещё более сложной оказывается социальная информация, без которой не одно социальное действие не может происходить, не одно звено социокультурной причинно-следственной цепи не может функционировать.

Итак, можно сказать, что информация существует везде и повсюду. Она присуще всем уровням структурной организации материи. Она пронизывает все явления действительности без исключения. Следовательно, любая реально существующая вещь непременно должна обладает информацией как важнейшим аспектом своего бытия. Всё это как раз и означает, что информация, на самом деле, выступает существенной характеристикой бытия материи, её общим важным свойством или атрибутом, и потому материю можно рассматривать, в том числе и как реальность информационную. В связи с этим возникает необходимость определить специфическое содержание информации, отличающее её от других общих или основных форм существования материи, таких как пространство, время и движение.

Согласно диалектике, как теории всеобщей связи явлений действительности, всё в мире связано и взаимодействует со всеми. Следовательно, можно полагать, что любая вещь (явление) с момента своего появления вступает в непрерывные взаимодействия с другими вещами (явлениями). Данные взаимодействия представляют собой двуединый процесс, моментами (составляющими) которого являются, как мне представляется: а) обращение внутреннего вовне (во внешнее), благодаря чему вещь раскрывает свои скрытые качества, проявляет свою сущность и реализует свои связи, и б) трансформация внешнего во внутреннее, т.е. преломление внешнего воздействия через внутреннюю структуру вещи и превращение его тем самым в фактор, влияющий не только на характер функционирования вещи, но и на тенденции её развития. Поэтому можно сказать определённо, что результаты взаимодействий со средой, в которых вещь непрерывно пребывает, не пропадают даром, т.е. со времени не утрачиваются, а, наоборот, вещь сохраняет их в себе в виде некоего аккумулированного опыта. Именно эти результаты взаимодействий вещи с другими вещами, аккумулированные в ней в виде её отражательного опыта (содержания) и составляют, на мой взгляд, то, что мы называем информацией. В свете этого информацию можно определить как аккумулированный в вещи её отражательный опыт. Говоря иначе, она представляет собой аккумулированные в вещи результаты её предыдущих взаимодействий, которые заявят о себе при каждом очередном акте её взаимодействия со средой. Указанный опыт как некий итог взаимодействий вещи выражает, как представляется, степень её относительной независимости (автономности), и поэтому, чем богаче отражательный опыт вещи и, а стало быть, чем больше информации она обладает, тем выше степень её независимости от среды. Ввиду этого информация была охарактеризована мной как мера независимости [см.: 17, с.27]. Следовательно, любая вещь обладает той степенью независимости от внешних условий своего существования, которая, в конечном итоге, определяется накопленным в ней отражательным опытом, а следовательно, и количеством и качеством содержащейся в ней информацией.

Литература

1. Винер, Н. Кибернетика или управление и связь в животном и машине. / Н. Винер. – 2-е изд. – М.: Наука, 1983. – 344 с.

2. Винер, Н. Кибернетика и общество / Н. Винер. – М.: Изд-во иностранной литературы, 1958. – 200 с.

3. Э. Шрёдингер в частности писал: «Так и живой организм непрерывно увеличивает свою энтропию или, иначе, производит положительную энтропию и таким образом приближается к опасному состоянию – максимальной энтропии, – представляющему собой смерть. Он может избежать этого состояния, т.е. оставаться живым, только постоянно извлекая из окружающей среды отрицательную энтропию». Что такое жизнь с точки зрения физики / Э. Шредингер. – 2-е изд. – М.: Атомиздат, 1972. – С. 76.

4. Бриллюэн, Л. Наука и теория информации / Л. Бриллюэн. – М. Физматиздат, 1960. – 391 с.

5. Шеннон, К. Работы по теории информации / К. Шеннон. – М.: Изд-во иностранной литературы, 1963. – 830 с.

6. Эшби, У. Росс. Введение в кибернетику / У. Росс Эшби. – М.: Изд. иностранной литературы, 1959. – 432 с.

7. Ожёгов, С. И. Словарь русского языка / под ред. С.И. Ожегова. М.: «Русский язык», 1982. – 816 с.

8. Wheeler, John A.. «Information, physics, quantum: The search for links» / John A. Wheeler // W. Zurek (ed.) Complexity, Entropy, and the Physics of Information. – Redwood City, CA: Addison-Wesley, 1990. – P. 309–336.

9. Акчурин, И. А. Развитие кибернетики и диалектика / И.А. Ачкурин // Вопросы философии. – 1965. – № 7. – С. 22–30.

10. Новик, И. Б. Кибернетика. Философские и социологические проблемы / И.Б. Новик. – М.: Госполитиздат, 1963. – 207 с.

11. Глушков, В. М. Мышление и кибернетика / В.М. Глушков // Диалектика в науках о неживой природе. – М.: Мысль, 1974. – С. 499–520.

12. Украинцев, Б. С. Информация и отражение / Б.С. Украинцев // Вопросы философии. – 1963. – № 2. – С. 26–38.

13. Жуков, Н. И. Информация в свете ленинской теории отражения / Н.И. Жуков // Вопросы философии. – 1963. – № 11. – С. 153–161.

14. Петрушенко, Л. А. Взаимосвязь информации и системы / Л.А. Петрушенко // Вопросы философии. – 1964. – № 2. – С. 104–114.

15. Философский энциклопедический словарь. – М.: Советская Энциклопедия, 1983. – 840 с.

16. Философский словарь / под ред. И.Т. Фролова. – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Политиздат, 1991. – 560 с.

17. Аль-Ани, Н. М. Материалистическая диалектика как всеобщая теория развития : автореф. дис. ... докт. философ. наук : 09.00.01 / Н.М. Аль-Ани. – Л., 1983. – 42 с.

ЗАО «Институт телекоммуникаций»

Беспилотный летательный аппарат самолетного типа. Летающее крыло «МАРС-3»

ЗАО «Институт телекоммуникаций» производит ***беспилотные летательные аппараты*** с 2005 года как отдельно, так и в составе комплекса площадной съемки.

Назначение комплекса – дистанционное наблюдение местности и построение изображений поверхности земли (тепловизионная и аэрофотосъемка, видеонаблюдение, передача информации в реальном времени). Состав комплекса: БПЛА, аппаратура приема и передачи, АРМ мониторинга.

Основные ТТХ БПЛА «Марс-3»:
- размах крыльев, м: 2,18;
- длина, м: 1;
- максимальная взлетная масса, кг: 4,5;
- масса полезной нагрузки, кг: 2,3;
- крейсерская скорость, км/ч: 65;
- максимальная скорость, км/ч: 110;
- максимальное время полета, мин: 180.

Преимущества данной модели:
- использование конструкции парящего крыла, обуславливающее меньшие энергозатраты аккумуляторов;
- возможность полета в автоматическом режиме по заранее выбранному маршруту;
- возможность переноса большой полезной нагрузки;
- доступная цена;
- получение видео с камеры в режиме реального времени;
- изображение с камеры с географической привязкой.

Сферы применения беспилотного аппарата:
- контроль наземных и морских границ;
- мониторинг линейно-протяженных объектов;
- контроль и мониторинг больших скоплений людей;
- решение сельскохозяйственных задач;
- контроль распространения лесных пожаров;
- решение специальных задач.

Конструкцией беспилотного летательного аппарата «Марс-3» является летающее крыло – идеальная платформа для переноса большой полезной нагрузки, обладающее высокой выносливостью.

Модель отличает превосходное аэродинамическое качество: даже при крейсерском полёте на достаточно высоких скоростях не требуется большая мощность мотора, что увеличивает время и дальность полёта.
Внутри самолёта находится обширный отсек, в который размещается практически любой набор оборудования для аэрофотосъемки. Использование для изготовления корпуса композитных материалов делает самолет очень легким (2,2 кг). При этом вес полезной нагрузки (камеры, источники питания и т.д.) составляет до 2,3 кг.

Управление самолетом осуществляется в автоматическом и полуавтоматическом режимах. В автоматическом режиме от взлета до посадки полет самолета осуществляется по заранее выбранному маршруту в режиме автопилота. В полуавтоматическом режиме взлет, посадку и полет в прямой видимости осуществляет оператор, после чего управление передается автопилоту.

Для получения дополнительной информации по беспилотным летательным аппаратам, стоимости и ТТХ, пожалуйста, обратитесь в отдел маркетинга по номеру +7 (812) 740-77-07 или по электронной почте marketing@itain.spb.ru.

На правах рекламы

Уважаемые авторы!

Сообщаем Вам, что журнал «Информация и Космос» включен в перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (письмо Минобрнауки № 13-6518 от 01.12.2015).

Приглашаем авторов принять участие в публикации научных статей на страницах журнала «Информация и Космос». Публикация статей осуществляется на безвозмездной основе.

Все статьи проходят обязательное научное рецензирование.

Требования к предоставляемым материалам

1. Статьи предоставляются в редакцию журнала в двух видах:
– в печатном виде, подписанные каждым автором;
– в электронном виде по электронной почте или на электронном носителе.
2. Статья должна быть набрана в текстовом редакторе Microsoft Word, шрифтом Times New Roman. Размер шрифта – 14, межстрочный интервал – полуторный. Левое и правое поля – 2 см, верхнее и нижнее – 2,5 см, формат листа – А4.
Иллюстрации должны быть выполнены в ч/б формате* в виде отдельных графических файлов формата tiff или jpeg. Формулы должны быть выполнены средствами редактора формул Microsoft Equation или MathType.
Библиографический список должен быть составлен по порядку ссылок в статье и оформлен в соответствии с ГОСТ 7.1–2003. Сокращения, применяемые в библиографических описаниях, должны соответствовать ГОСТ 7.12–93.
Рекомендуемый объем статьи:
– 7–10 страниц – оригинальные научные статьи;
– 10–15 страниц – научно-технические и научно-практические статьи;
– 15–20 страниц – обзорно-аналитические статьи.
3. К статье должны быть приложены:
– экспертное заключение о возможности публикации в открытых источниках;
– аннотация на русском и английском языках (300–500 символов);
– перечень ключевых слов на русском и английском языках;
– сведения о каждом авторе:
  – фамилия, имя и отчество на русском и английском языках;
  – ученая степень, ученое звание, почетные звания;
  – место работы (город и полное название компании) и занимаемая должность;
  – контактный телефон и адрес электронной почты.
4. Содержание статьи должно соответствовать тематике одного или нескольких разделов журнала

* Публикация цветных иллюстраций к статье является платной. Стоимость услуги можно посмотреть на сайте www.infokosmo.ru

Учредитель:
Санкт-Петербургская научно-техническая общественная организация «Институт телекоммуникаций»

Главный редактор
Присяжнюк С. П.
заслуженный деятель науки РФ, действительный член АИН им. А. М. Прохорова, доктор технических наук, профессор.

Редакционная коллегия
Юсупов Р. М.
член-корреспондент РАН, заслуженный деятель науки и техники РФ, доктор технических наук, профессор

Иванов К. М.
доктор технических наук, профессор

Филатов В. Н.
действительный член АИН им. А. М. Прохорова, доктор военных наук, профессор

Лихачев А. М.
заслуженный деятель науки РФ, заслуженный изобретатель РФ, действительный член Международной академии связи, доктор технических наук, профессор

Гончаревский В. С.
заслуженный деятель науки и техники РФ, доктор технических наук, профессор

Замарин А. И.
заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор

Осипов Г. К.
доктор географических наук, профессор

Осадчий А. И.
доктор технических наук, профессор

Ясинский С. А.
доктор технических наук, доцент

По вопросам сотрудничества, пожалуйста, обращайтесь в отдел маркетинга по номеру +7 (812) 740-77-07 или по электронной почте marketing@itain.spb.ru

Заместитель главного редактора
Аванесов М. Ю.

Издатель
Аксенова Т. Н.

Адрес редакции:
194100, Санкт-Петербург, Кантемировская, 5
Тел. + 7 (812) 740-77-07
www.infokosmo.ru

Электронный архив всех статей журнала доступен на сайте:
http://infokosmo.ru/magazine/archive

Журнал зарегистрирован в государственном комитете РФ по печати.
Регистрационный номер: ПИ № ФС77-26926 от 19 января 2007 г.

Тираж 1500 экземпляров
Дата выхода: 15.09.2017

При использовании материалов ссылка на журнал «Информация и Космос» **обязательна.**
Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов.
За содержание рекламных материалов несут ответственность рекламодатели.

Отпечатано в ООО "Типографский комплекс "Девиз"
Санкт-Петербург, ул. Трефолева, 2, лит.БЕ
тел. (812) 335-18-30
www.npt.ru

Свободная цена