

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
МЕЖДУНАРОДНАЯ АКАДЕМИЯ ИНФОРМАТИЗАЦИИ
СОЮЗ МАШИНОСТРОИТЕЛЕЙ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
МИНИСТЕРСТВО ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ
РЯЗАНСКОЙ ОБЛАСТИ
РЯЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ

СТНО-2019

**II МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНО-
ТЕХНИЧЕСКИЙ ФОРУМ**

Сборник трудов

Том 5

Рязань
Book Jet
2019

УДК 004 + 001.1 + 681.2+ 681.2+ 681.3+681.5
С 568

Современные технологии в науке и образовании – СТНО-2019 [текст]: сб. тр. II междунар. науч.-техн. форума: в 10 т. Т.5./ под общ. ред. О.В. Миловзорова. – Рязань: Рязан. гос. радиотехн. ун-т, 2019; Рязань. – 190 с.,: ил.

Сборник включает труды участников II Международного научно-технического форума «Современные технологии в науке и образовании» СТНО-2019.

В сборнике освещаются вопросы математического моделирования, новых технологий в радиотехнике, телекоммуникациях, электротехнике и радиоэлектронике, вопросы полупроводниковой наноэлектроники, приборостроения, лазерной, микроволновой техники, силовой промышленной электроники, новые технологии в измерительной технике и системах, биомедицинских системах, алгоритмическое и программное обеспечение вычислительной техники, вычислительных сетей и комплексов, вопросы систем автоматизированного проектирования, обработки изображений и управления в технических системах, перспективные технологии в машиностроительном и нефтехимическом производствах, новые технологии и методики в высшем образовании, в т.ч. вопросы гуманитарной и физико-математической подготовки студентов, обучения их иностранным языкам, перспективные технологии электронного обучения, в том числе, дистанционного, вопросы экономики, управления предприятиями и персоналом, менеджмента, а также вопросы гуманитарной сферы.

Авторская позиция и стилистические особенности сохранены.

УДК 004 + 001.1 + 681.2+ 681.2+ 681.3+681.5

ISBN 978-5-7722-0301-9

© Рязанский государственный
радиотехнический университет, 2019
© Издательство «Book Jet»,
макет, 2019

ИНФОРМАЦИЯ О МЕЖДУНАРОДНОМ ФОРУМЕ «СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ» СТНО-2019

II Международный научно-технический форум «Современные технологии в науке и образовании» СТНО-2019 состоялся 27.02.2019-01.03.2019 в г. Рязань в Рязанском государственном радиотехническом университете.

В рамках II Международного форума «Современные технологии в науке и образовании» СТНО-2019 состоялись четыре Международные научно-технические конференции:

«Современные технологии в науке и образовании. Радиотехника и электроника», секции

- Радиотехнические системы и устройства;
- Телекоммуникационные системы и устройства;
- Цифровые информационные технологии реального времени;
- Промышленная силовая электроника, электроэнергетика и электроснабжение;
- Физика полупроводников, микро- и нанoeлектроника;
- Микроволновая, оптическая и квантовая электроника;
- Современные методы обработки данных;
- Актуальные задачи химических технологий;

«Современные технологии в науке и образовании. Вычислительная техника и автоматизированные системы», секции

- Алгоритмическое и программное обеспечение вычислительных систем и сетей;
- ЭВМ и системы;
- Системы автоматизированного проектирования;
- Информационные системы и защита информации;
- Математические методы в научных исследованиях;
- Обработка изображений и управление в технических системах;
- Геоинформационные и космические технологии;
- Автоматизация производственно-технологических процессов в приборо- и машиностроении;

• Информационно-измерительные устройства и системы в технике и медицине;

«Современные технологии в науке и образовании. Экономика и управление», секции;

• Проблемы рынка: экономика и управление;

• Актуальные проблемы государственного, муниципального и корпоративного управления;

- Менеджмент и организация производства;
- Бухгалтерский учет, анализ и аудит;
- Управление персоналом;
- Экономическая безопасность;

«Современные технологии в науке и образовании. Новые технологии и методы в высшем образовании», секции

- Современные технологии электронного обучения;
- Иностранный язык в техническом вузе;
- Лингвистика и межкультурная коммуникация;
- Направления и формы гуманитаризации высшего образования;
- Методы преподавания и организация учебного процесса в вузе;
- Гуманитарная подготовка студентов;
- Физико-математическая подготовка студентов;
- Технологии обучения и воспитания на военной кафедре.

Организационный комитет Форума:

Чиркин М.В., и.о. ректора, д.ф.-м.н., проф. – председатель

Гусев С.И., проректор по научной работе, д.т.н., проф. – зам. председателя;

Бухенский К.В., проректор по учебной работе, к.ф.-м.н., доц. – зам. председателя;

Миловзоров О.В., зам. директора института магистратуры и аспирантуры, к.т.н, доц. – координатор;

Устинова Л.С., начальник отдела информационного обеспечения – отв. за информационную поддержку;

Трубицына С.Г., вед. инженер – секретарь оргкомитета;

Благодарова И.А., ведущий программист – секретарь оргкомитета;

члены оргкомитета:

Авилкина С.В., к.п.н., доцент кафедры «Государственное, муниципальное и корпоративное управление»;

Алпатов Б.А., д.т.н., профессор кафедры «Автоматика и информационные технологии в управлении»;

Бабаян П.В., к.т.н., доц., зав. кафедрой «Автоматика и информационные технологии в управлении»;

Витязев В.В., д.т.н., проф., зав. кафедрой «Телекоммуникации и основы радиотехники»;

Евдокимова Е.Н., д.э.н., проф., декан Инженерно-экономического факультета; зав. кафедрой «Экономика, менеджмент и организация производства»;

Еремеев В.В., д.т.н., проф., директор НИИ «Фотон»;

Ерзылева А.А., к.э.н., доцент кафедры «Экономика и финансовый менеджмент»;

Есенина Н.Е., к.п.н., доц., зав. кафедрой Иностранных языков;

Жулев В.И., д.т.н., проф., зав. кафедрой "Информационно-измерительная и биомедицинская техника";

Иваненко Р.В., полковник, начальник Военной кафедры;

Кириллов С.Н., д.т.н., проф., зав. кафедрой "Радиоправление и связь";

Клейносова Н.П., к.п.н., доц., директор Центра дистанционного обучения;

Ключко В.К., д.т.н., профессор кафедры «Автоматика и информационные технологии в управлении»;

Коваленко В.В., к.т.н., доц., зав. кафедрой «Химическая технология»;

Корячко В.П., д.т.н., проф., зав. кафедрой «Системы автоматизированного проектирования вычислительных средств»;

Костров Б.В., д.т.н., проф., зав. кафедрой «Электронные вычислительные машины»;

Кошелев В.И., д.т.н., проф., зав. кафедрой «Радиотехнические системы»;

Круглов С.А., к.т.н., доц., зав. кафедрой «Промышленная электроника»;

Куприна О.Г., к.п.н., доцент кафедры Иностранных языков;

Лукьянова Г.С., к. ф.-м.н., доцент кафедры «Высшая математика»;

Мусолин А.К., д.т.н., проф., зав. кафедрой «Автоматизация информационных и технологических процессов»;

Овечкин Г.В., д.т.н., профессор кафедры «Вычислительная и прикладная математика»;

Паршин Ю.Н., д.т.н., проф., зав. кафедрой «Радиотехнические устройства»;

Перфильев С.В., д.э.н., проф., зав. кафедрой «Государственное, муниципальное и корпоративное управление»;

Пржегорлинский В.Н., к.т.н., доц., зав. кафедрой «Информационная безопасность»;

Пылькин А.Н., д.т.н., проф., декан факультета Вычислительной техники, зав. кафедрой «Вычислительная и прикладная математика»;

Рохлина Т.А., к.филол.н., доцент кафедры Иностранных языков;

Серебряков А.Е., к.т.н., зам. зав. кафедрой «Электронные приборы»;

Соколов А.С., д.и.н., зав. кафедрой «Истории, философии и права»;

Таганов А.И., д.т.н., проф., зав. кафедрой «Космические технологии»;

Холомина Т.А., д.ф.-м.н., проф., зав. кафедрой «Микро- и наноэлектроника»;

Чеглакова С.Г., д.э.н, проф., зав. кафедрой «Экономическая безопасность, анализ и учет».

МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ. ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ»

СЕКЦИЯ «ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ»

УДК 621.396

БЕЗОПАСНОСТЬ БАНКОВСКОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ПРОНИКНОВЕНИИ В НЕЁ ВРЕДНОСНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ЗЛОУМЫШЛЕННИКА

Б.А. Шермухамедов

*Ташкентский финансовый институт
Узбекистан, Ташкент, abbas_sh@inbox.ru*

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы безопасности телекоммуникационных систем при проникновении в них вредоносных воздействий злоумышленника. Для предотвращения вредоносных воздействий типа «Backdoors» целесообразно использовать математическое моделирование, в виде сетей Петри-Маркова, который в наибольшей степени отражает процесс реализации атаки во времени.

Ключевые слова: потенциальные атаки, вычислительная система, программная оболочка по сети, телекоммуникационная система, командный интерпретатор системы.

SAFETY OF BANK SYSTEM AT PENETRATION INTO IT OF HARMFUL INFLUENCES OF THE MALEFACTOR

B.A. Shermukhamedov

*Tashkent financial institut
Uzbekistan, Tashkent, abbas_sh@inbox.ru*

The summary. In article safety issues of telecommunication systems are considered at penetration into them of harmful influences of the malefactor. For prevention of harmful influences of type «Backdoors» it is expedient to use mathematical modeling, in the form of networks of Petri-Markova which to the greatest degree reflects process of realization of attack in time.

Keywords: potential attacks, the computing system, a program cover on a network, telecommunication system, the command interpreter of system.

Анализ частот потенциальных атак, типа Backdoors на телекоммуникационные системы наиболее высок в перечне потенциальных атак. Backdoors - это программы, позволяющие получить доступ к вычислительной системе в обход системных механизмов информационной безопасности [1]. Backdoors обеспечивают доступ к системе с точки зрения нарушителя, а не системного администратора и они не являются синонимом «троянского коня», хотя в литературе ряд авторов смешивают данные термины. Обычно «Троянские кони» используются специально для выполнения конкретного вредоносного функционала. Анализ показал, что «троянские кони» могут содержать Backdoor-компоненту. Backdoors, внедряясь в телекоммуникационную систему, присущей своей основной функции открывает доступ к нужной информации, искажает, удаляет или просто похищает необходимую информацию. Backdoors могут использоваться для выполнения индивидуальных удаленных команд, кроме того они могут открыть доступ к командному интерпретатору системы или даже предоставлять нарушителю удаленный доступ к оконному интерфейсу операционной системы. Чаще всего «Backdoors» внедряются нарушителями в вычислительной системе, и после первоначального проникновения в эту систему, с учетом уязвимости или ошибок настройки или конфигурации системы искажает или удаляет необходимую информацию.

Как альтернативный вариант установки рассматривается установка Backdoors администратором системы, введенного нарушителем в заблуждение пользователем.

Обычно Backdoors выполняются с полномочиями установившего его пользователя. Активация Backdoors может осуществляться различными способами: в зависимости от типа ОС, возможно включение программ Backdoors в ключи реестра запуска приложений, в папки автозапуска, в сценарии инициализации ОС и т.д.

Кроме того, запуск Backdoors может осуществляться по заданное время, с помощью Windows Task Scheduler, либо UNIXcron. Программное обеспечение по защите от Backdoors проводится на основе антивирусов, например anti spy ware в точках запуска основной программы.

Для Backdoors подходит программа netcat, перенаправляющая стандартные программы ввода и вывода на UDP и TCP порты.

Используя netcat, нарушитель может создать программную оболочку (shell), пассивно ожидающую сетевое соединение извне, либо наоборот активно передает такую программную оболочку по сети, в обход межсетевых экранов, блокирующих входящие соединения системы.

Признаком работы таких Backdoors являются передаваемые по сети, специфические для различных оболочек операционных систем, последовательности символов. Существует версия netcat, именуемая cryptcat, обеспечивающая шифрование передаваемых по сети данных симметричным алгоритмом шифрования.

Как показали наши исследования, в качестве мер защиты от программ от Backdoors применяются периметральные и персональные межсетевые экраны, но, необходимо периодическое сканирование открытых портов сети, а также необходим детальный просмотр открытых портов локальных хостов сети.

Но, эти меры, как показали исследования, являются неэффективными. Некоторые Backdoors обеспечивают управление удаленной ОС через мышь и клавиатурой. К таким относятся, например, модификации известного средства VNC.

В современных ОС такую функциональность можно считать избыточной, поскольку любые функции ОС выполнимы посредством интерфейса командной строки, использование которого влечет гораздо меньшие накладные расходы в сетевом трафике и вычислительной мощности системы. Основным методом противодействия обнаружению Backdoors является транспортный протокол, который использует не TCP или UDP, а ICMP. Другими методами противодействию атаки Backdoors являются активизация и выполнение команд, используют сетевые пакеты, получаемые путем прослушивания сети (sniffers). Поскольку при этом не используются порты протоколов, такие средства гораздо труднее обнаружить в банковской системе.

Специальные программы в банковских информационных системах, используют sniffers, работающие в «promiscuous»ом режиме, которую обнаружить чрезвычайно трудно, поскольку сетевые пакеты могут быть адресованы совсем не тем хостам, где установлены программы Backdoors. Sniffers могут также использоваться в коммутируемых сетях банковской системы путем использования технологии повреждения ARP-кэша (ARP cache poisoning). Для защиты от Backdoors возможно использовать так называемые запущенные процессы, с соответствующими привилегиями суперпользователя, использования системы обнаружения вторжений (СОВ), распознающие сигнатуры команд Backdoors. Как показали исследования, в процессе работы банковской информационно-коммутиционной системы выявление адаптеров, особенно в режиме promiscuous, с помощью команд операционной системы и приложений (ifconfig, ifstatus, iplink, Promiscdetect.exe), удаление Backdoors с помощью средств типа Sentinel является наиболее эффективным.

Библиографический список

1. Policy Review: Assuring a Trusted and Resilient Information and Communications ICyber Space nrastructure. - Washington D.C.: The White House, 2009.

УДК 65.012.8

ОРГАНИЗАЦИЯ СИСТЕМ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Т.А. Заяц

*Белорусский торгово-экономический университет потребительской кооперации,
Беларусь, Гомель, za-t-a@yandex.ru*

Аннотация. В работе проводится классификация угроз информационной безопасности деятельности предприятий. Рассматриваются аспекты проведения политики безопасности на предприятии. Приводятся примеры готовых программных решений, направленных на построение комплексной системы информационной безопасности предприятия.

Ключевые слова: информационная безопасность, угрозы информационной безопасности, способы защиты информации, модульные системы безопасности, DLP-системы.

ORGANIZATION OF INFORMATION SECURITY SYSTEMS

T.A. Zayats

*Belarusian University of Trade and Economics Consumer Cooperation,
Belarus, Gomel, za-t-a@yandex.ru*

The summary. The work classifies threats to information security of enterprises. Considers aspects of the implementation of security policy at the enterprise. Examples of ready-made software solutions aimed at building an integrated enterprise information security system are given..

Keywords: information security, information security threats, ways to protect information, modular security systems, DLP systems.

Если рассматривать понятие «безопасность» в рамках предприятия или организации, то оно включает, как минимум, такие составляющие как физическая безопасность, экономическая безопасность и информационная безопасность.

Под информационной безопасностью понимают защищенность информации и поддерживающей ее инфраструктуры от случайных или преднамеренных воздействий, которые могут нанести ущерб субъектам информационных отношений.

Угрозы информационной безопасности классифицируются [1]:

1. По объекту, на который направлены угрозы:

- угрозы конфиденциальности (неправомерный доступ к информации);
- угрозы целостности (неправомерное изменение данных);
- угрозы доступности (осуществление действий, делающих невозможным или затрудняющих доступ к ресурсам информационной системы).

2. По расположению источника угроз:

- внешние (несанкционированный доступ к информации извне: разработка и распространение вирусов, подделка электронных подписей, перехват информации);
- внутренние (преднамеренные действия и непреднамеренные внутри: ошибки персонала, отказы технических средств, сбои программного обеспечения).

3. По характеру происхождения угроз:

- стихийные (пожары, землетрясения, наводнения, ураганы);
- антропогенные (хакеры, персонал, представители служб защиты);
- техногенные (средства связи, некачественные технические и программные средства обработки информации).

При любом виде деятельности у каждой компании есть определенный набор сведений, которые являются основой существования фирмы. Эти сведения и связанный с ними документооборот являются коммерческой тайной компании, и, разумеется, требуют защиты от утечек и разглашения. Пренебрежение проблемой информационной защиты может привести к серьезным последствиям, вплоть до остановки деятельности компании вследствие финансовых потерь, сорванных сделок и утраты конфиденциальности коммерческой информации.

Для успешного построения системы информационной безопасности необходим анализ и аудит всей информационной деятельности компании, а также комплексный подход к решению этой проблемы.

Создание системы безопасности необходимо реализовывать в нескольких направлениях, таких как:

- правовая защита;
- организационная защита;
- программно-техническая защита.

Смысл правового обеспечения защиты вытекает из самого названия. Любая фирма, компания, организация должна уделять должное внимание политике безопасности – разработке руководящих и нормативно-методических документов, определяющих принятие мер по обеспечению безопасности информации; созданию перечней охраняемых сведений, мер ответственности лиц за нарушение порядка работы с конфиденциальной информацией и т.п.

Организационная защита включает в себя организацию системы охраны и режима работы объекта.

Под программно-технической защитой понимается совокупность инженерных, программных и других средств, направленных на исключение угрозы безопасности.

В качестве рекомендуемых способов обеспечения информационной безопасности можно предложить следующие [2]. Во-первых, обязательное использование межсетевого экрана (firewall-a). При этом необходимо выполнить настройку правил фильтрации пакетов данных. Правильная настройка правил фильтрации не позволит попадать в Интернет пакетам, передающимся по локальной сети, а также защитит локальную сеть от атак из Интернета. Правилами на межсетевом экране можно запретить подключения к сайтам-распространителям вредоносных программ.

Принять меры по защите электронной почты. Это, во-вторых. Рекомендуется обязательно иметь на корпоративном сервере электронной почты антивирусные программы и спам-фильтры. Они анализируют сообщения, проходящие через почтовые серверы, отсеивают сообщения массовой рассылки и удаляют из сообщений вредоносные вложения.

Активно использовать антивирусную защиту файлов. Файловая программа-антивирус блокирует выполнение операций записи файлов, скачиваемых с сети Интернет, выполнение вредоносного кода на компьютере, автоматически проверяет подключаемые съемные носители.

Совершенствовать систему аутентификации пользователей. Установка специального программного обеспечения, позволяющего хранить пароли в защищенной памяти электронных идентификаторов и в нужный момент извлекать их и предоставлять соответствующим системным или прикладным компонентам. Для повышения защищенности и исключения возможности подбора или перехвата пароля можно использовать двухуровневую авторизацию.

Использовать технологии шифрования данных. Для защиты данных от похищения при получении доступа к ним необходимо шифровать данные, размещенные на машинных носителях. Использовать для этого асинхронные системы шифрования [3].

Применять блокирование портов персонального компьютера. Для предотвращения несанкционированного подключения непроверенных носителей необходимо отключить в на-

стройках компьютеров использование внешних накопителей информации. Можно программным способом реализовать подключение только проверенных носителей.

Максимально ограничить доступ к сетевому оборудованию. Необходимо по возможности переместить сетевое и серверное оборудование в отдельную комнату с контролируемым доступом.

На рабочих местах установить уровень полномочий пользователей. Ограничить полномочия пользователей минимальным (не более требуемого) доступом к внесению изменений в систему, к сетевым ресурсам. При помощи SRP (Software Restriction Policies – политики ограничения запуска программ) можно разрешить запуск только ограниченного количества программ.

Принять за правило: отключать сетевой доступ для бывших сотрудников. Необходимо блокировать учетные записи уволенных сотрудников для исключения возможности входа в сеть.

По возможности, отказаться от беспроводных сетей. Беспроводные подключения стоит использовать только при невозможности организации проводных соединений. Беспроводные соединения гораздо более уязвимы к перехвату передаваемой информации и несанкционированному подключению.

Также рекомендуется уделить внимание подготовке и обучению персонала. Периодически необходимо проводить тренинги сотрудников, рассматривая новые виды угроз и способов использования социальной инженерии, используемых злоумышленниками для получения доступа или доставки вредоносного программного обеспечения.

Рассмотреть возможность использования в компании или на предприятии так называемых DLP-систем.

DLP-система (Data Leak Prevention) – это комплекс программных или программно-аппаратных средств, предотвращающий утечки конфиденциальной информации за пределы предприятия.

Команией *Spiceworks* [4] были проведены исследования, которые показали, что одним из основных источников возникновения угроз информационной безопасности являются конечные пользователи внутри предприятия. Необходимо тщательно контролировать доступ сотрудников к информации, контролировать содержание отправляемой корреспонденции.

Компания «Battling the Big Hack» подготовила доклад [4], итоги которого свидетельствуют о том, что самой значимой причиной активности инсайдеров и проникновений извне является недостаточная осведомленность и отсутствие бдительности конечных пользователей. Порядка 54% компаний, принимавших участие в опросе, очень озабочены распространением вредоносных программ, которые им сложно отслеживать. Около 53% обеспокоены угрозами программ-вымогателей (например, вирусов-шифровальщиков, требующих деньги за дешифрацию данных), 46% – обеспокоены проблемами, связанными с фишингом.

Только 18% компаний заявили, что у них не было обнаружено ни одной инсайдерской атаки за 2015 год.

Проанализировав источники угроз информационной безопасности, их можно ранжировать следующим образом: атаки инсайдеров (36%), организованных преступных группировок (25%), кибер-террористических групп (12%) и национальных/спонсируемых государством хакеров (12%).

Программные продукты для информационной безопасности бизнеса *SysWatchEnterpriseSuite* и *DLP Guard* реализуют такие функции как: авторизованный доступ, защита информации от взлома и заражения извне, полный контроль и мониторинг действий сотрудников. В них реализован весь необходимый перечень услуг по предотвращению утечек информации и источников угрозы безопасности: ошибок пользователей и персонала;

атак извне; обиженных или нечестных сотрудников; вирусов; проблем физической безопасности [4].

Также предотвратить и минимизировать утечки информации можно с помощью DLP-системы *SecureTower*, разработки компании «Тэксод Технолоджиз». Она представляет собой программный продукт, позволяющий решить две основные задачи: обеспечивать защиту корпоративных данных от утечек и осуществлять постоянный мониторинг деятельности персонала на рабочих местах. Используя принципы комплексного подхода к вопросам защиты данных, *SecureTower* позволяет не только предотвратить утечки конфиденциальной информации, но и повысить эффективность работы всего предприятия в целом.

Система *SecureTower* также выполняет контроль каналов коммуникации (мессенджеров, электронной почты, внешних устройств, принтеров и т. д.).

Угрозы информационной безопасности предприятия совершенно реальны, их нельзя недооценивать. При выборе средств защиты следует строить надежную модульную систему безопасности, закрытую от рисков вторжения извне и позволяющую осуществлять контроль и мониторинг за потоком информации внутри компании.

Также руководству предприятий необходимо осуществить и провести правовые мероприятия – создать в организации нормативно-правовую базу информационной безопасности, разработать на основе законодательных актов необходимые руководящие и нормативно-методические документы, перечни охраняемых сведений, меры ответственности лиц за нарушение порядка работы с конфиденциальной информацией.

Библиографический список

1. Ярочкин, В. И. Информационная безопасность : учеб. пособие для вузов. – М. : Академ. проект, 2006. – 544 с.
2. Шаньгин, В.Ф. Защита компьютерной информации. Эффективные методы и средства / В. Ф. Шаньгин. – М. : ДМК Пресс, 2010. – 544 с.
3. Петров, А. А. Компьютерная безопасность: криптографические методы защиты / А. А. Петров. – М. : ДМК Пресс, 2014. – 250 с.
4. «Battling the Big Hack: Inside the ring and out... IT pros plan to land some blows in 2016 // Spiceworks.com [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.spiceworks.com/marketing/itsecurity/report>. – Дата доступа : 18.09.2018.

УДК 004.9; ГРНТИ 20.51.19

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ВНЕДРЕНИЯ ОСНОВНЫХ ФУНКЦИЙ PDM-СИСТЕМ В ПЛАТФОРМЫ СОВРЕМЕННЫХ ПРОГРАММ БУХГАЛТЕРСКОГО УЧЕТА

М.В. Жаров

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Московский авиационный институт» (национальный исследовательский университет),
Российская Федерация, Москва, MaximZharov@mail.ru*

Аннотация. В работе рассматривается возможность внедрения основных функций современных PDM-систем в технологическую платформу программ 1С. Разработана технология формирования элементов системы, а также совокупность справочников, перечислений, метаданных и наборов прав и инструментов.

Ключевые слова: информационная система, документооборот, функции PDM-систем, совокупность справочников, информационные связи между объектами

STUDY OF TECHNOLOGY OF INTRODUCTION OF THE MAIN FUNCTIONS OF PDM-SYSTEMS IN THE PLATFORM OF MODERN ACCOUNTING PROGRAMS

M.V. Zharov

Federal state budgetary educational institution of higher education

«Moscow Aviation Institute» (National Research University),

Russia, Moscow, MaximZharov@mail.ru

Abstract. The paper considers the possibility of introducing the basic functions of modern PDM-systems into the technological platform of 1C programs. A technology has been developed for the formation of system elements, as well as a set of tables, listings, data and sets of rights and tools.

Keywords: the information system, a workflow, functions of PDM-systems, a set of reference books, information links between objects

Введение

На современном этапе широкое распространение получают так называемые PDM-системы. PDM-системы (от английского *product data management* – управление данными об изделии) обеспечивают хранение и структурирование всех данных об изделии, с помощью этих систем осуществляется отслеживание больших объемов данных, инженерно-технической информации необходимых при проектировании, строительстве или производстве, а так же для поддержки эксплуатации и утилизации техники. Такой массив данных, об одном изделии который структурирован в PDM-системе, называется цифровым макетом. PDM-системы работают с текстом, геометрическими моделями, а так же с программами, предназначенными для функционирования автоматических линий и станков с числовым программным управлением [1, 2]. По сути дела любая PDM-система является техническим средством для реализации процессов управления технологической подготовкой производства. Одновременно PDM-система является базовым средством, с помощью которого реализуется единое информационное пространство как для сферы технологической подготовки производства, так и для других этапов жизненного цикла изделия [3]. С помощью PDM-систем можно создавать отчеты о конфигурации выпускаемых систем, маршрутах прохождения изделий, частях или деталях, а также составлять списки материалов. Все эти документы при необходимости могут отображаться на экране монитора производственной или конструкторской системы из одной и той же базы данных. Одной из целей PDM-систем и является обеспечение возможности групповой работы над проектом, то есть, просмотра в реальном времени и совместного использования фрагментов общих информационных ресурсов предприятия [3, 4].

1. Постановка цели и задач исследования

Отметим, что целью проведенных исследований является рассмотрение возможности и целесообразности внедрения ряда функций современных PDM-систем в программы бухгалтерского учета функционирующих на основе технологических платформ 1С.

Для достижения поставленной цели необходимо решить несколько основных задач:

1. Рассмотреть основные функции современных PDM-систем.
2. Исследовать наиболее ярких и успешных представителей PDM-систем представленных на отечественном рынке, выяснить алгоритмы их функционирования.
3. Рассмотреть вопросы целесообразности внедрения функций PDM-систем в бухгалтерские системы 1С. в первую очередь для снижения затрат на программное обеспечение и переподготовку кадров для малых предприятий.

2. Преимущества применения PDM-систем

PDM-системы используются в качестве центрального хранилища данных для истории процессов и продуктов и способствует интеграции и обмену данными между всеми бизнес-пользователями, включая менеджеров проектов, инженеров, продавцов, покупателей и групп обеспечения качества. В настоящее время внедрили и широко используют PDM-системы в своем производстве предприятия за рубежом, которые в свою очередь получили финансовый прирост, основанный на исключении упущенной выгоды. На Российских предприятиях опыт по внедрению в эксплуатацию систем PDM, к большому сожалению, не достаточно большой. Продолжительный, сложный и многоэтапный процесс внедрение такого специфического очень сложного программного продукта, как PDM-система. Для этого необходимо произвести анализ существующей деятельности на предприятии, естественно это инжиниринг движения документации. Базовые, основные требования к системе уже известны:

- программный продукт должен быть гибким, масштабирующим и иметь максимальную функциональность;
- система должна содержать средства интеграции с системами CAD, CAF, CAM, ERP, офисными и другими системами;
- продукт должен включать средства для тонкой настройки информационной модели предприятия;
- производимый продукт не должен быть слишком дорогим.

Для составления схемы электронного движения документооборота внутри системы инжиниринг также позволяет определить количество необходимых рабочих мест системы.

С помощью PDM – системы значительно сокращаются затраты предприятия на организацию подготовки и производство продукции в части:

- уменьшение времени отведенного на реализацию изменений в производстве продукта минимум на 35%;
- уменьшение времени цикла разработки на 20%;
- уменьшение стоимости на инженерную разработку производимых продуктов на 10% [5].

3. Внедрение технических функций PDM-систем в программы 1С

Таким образом, основные функции PDM-систем включают в себя:

- организацию и ведение распределенных архивов конструкторской, технологической и управленческой документации,
- контроль версий документов,
- ведение протокола работы с документами, листов регистрации изменений,
- распределение прав доступа к информации между отдельными участниками,
- поиск необходимой информации в проекте на основании запросов.

Кроме того, можно сделать вывод о том, что PDM-система является многопользовательской и работает в компьютерной сети. Однако все эти функции применительно к особенностям ведения бухгалтерского учета на предприятиях уже реализованы в прикладных программах 1С. Кроме того, необходимо учитывать тот факт, что программы 1С, для ведения бухгалтерского учета, приняты к использованию практически на каждом предприятии, работающем в Российской Федерации. Поэтому на любом предприятии, более или менее крупном уже стоит программа 1С: Предприятие. Учитывая тот факт, что администрировать систему 1С или изменять ее очень легко, то нет ничего сложного для введения новых алгоритмов управления технической документацией. Кроме того, в бухгалтерскую систему уже введены определенные данные, которые могут пригодиться в формировании упрощенной PDM-системы. В частности в любом случае в программе бухгалтерского учета 1С уже сдела-

ны следующие справочники и уже введены данные такие справочники как Подразделения; Номенклатура продукции; Основное технологическое оборудование; Вспомогательное оборудование и транспортные средства; Запасы в виде сырья, полуфабрикатов, комплектующих; их количество на складах и в производстве; Себестоимость продукции; Подразделения; Должности; Сотрудники, в том числе должностные лица которые могут быть привязаны к разработке или утверждению документации; Контрагенты, поставщики и покупатели и т.д.

Кроме того, программы, созданные на платформе в 1С или модифицированные программы могут подгружать или выгружать различные документы (как видно на примере ИА-СУ МАИ). Кроме того, основные связи взаимодействия и возможности передачи данных уже реализованы в группе автоматизированных систем, и в частности в системах автоматизации бухгалтерского учета. Таким образом, имеются определенные предпосылки не приобретать новые PDM-системы, а модифицировать существующую и имеющуюся программу. Очевидно целесообразным является использование самой технологической системы программы 1С:Предприятие для реализации вопросов информационной поддержки жизненного цикла изделия. Это достигается путем создания системы новых справочников, новых документов, новых отчетов, новых диалоговых окон и новых данных, нужных скорее технологу, чем бухгалтеру. Закрывать ненужные для технолога данные, связанные с реализацией процессов бухгалтерского учета возможно с применением системы ограничения прав, индивидуального интерфейса программы и через систему паролей. Данные вопросы в качестве наглядного примера были решены применительно к листоштамповочному и горячештамповочному производству на базе системы 1С:Предприятие версия 7.7 редакция 4.2.

Далее целесообразно описать комплекс действий по модернизации информационной системы. В первую очередь необходимо внести определенные изменения в конфигурацию системы, создать новых пользователей, настроить для них интерфейсы программы, пункты меню и панели инструментов. Это возможно при открытии системы в режиме Конфигуратора. Ограничение доступа к бухгалтерским элементам программы достигается ограничением прав пользователя банальным снятием маркера в соответствующем окне.

Для внедрения функций систем в технологическую платформу программ 1С была предложена целая система справочников. В качестве примера она представлена списком на рисунке 1. На рисунке 2, в качестве примера, представлен алгоритм формирования нового справочника в виде диалогового окна формирования нового справочника "Требуемые материалы".

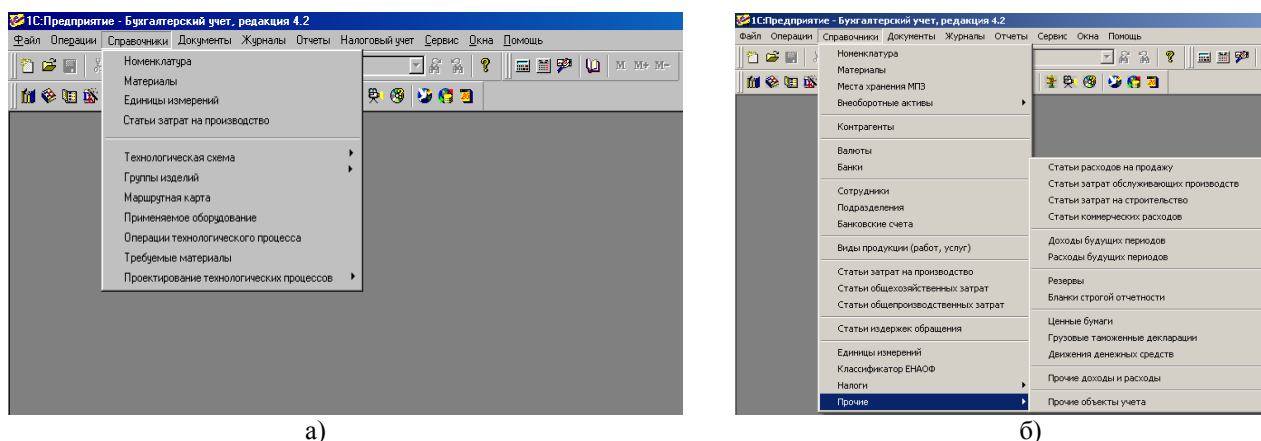
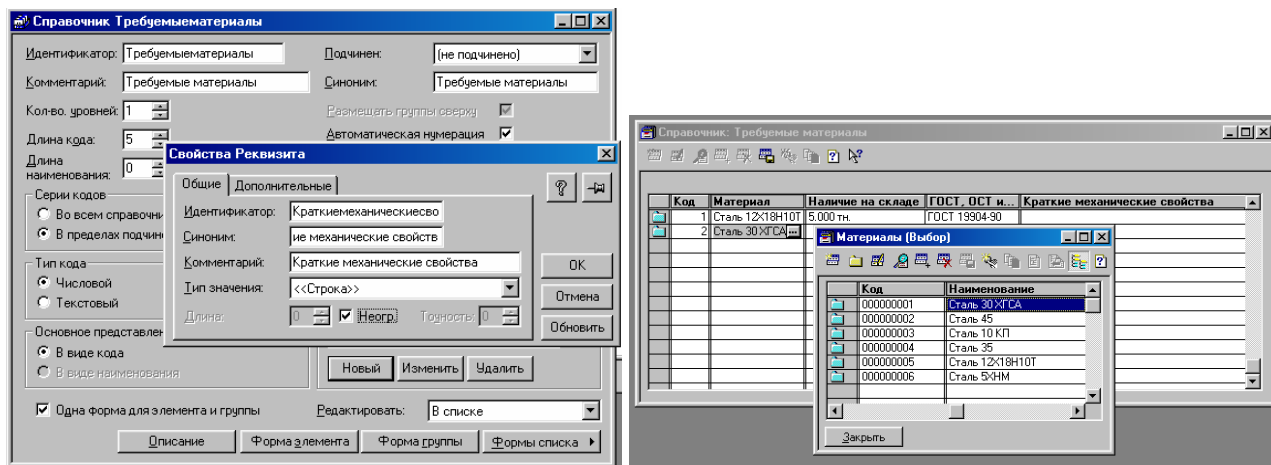


Рис. 1. Модифицированный пункт главного меню "Справочники" в режиме доступа технолога (а) и базовый вариант пункта меню "Справочники" в режиме доступа бухгалтера (б)

При проектировании функций информационной системы необходимо четко понимать разность между объектами проектирования. Например, довольно часто при разработке по-

добного вида систем используются метаданные в виде списка или перечислений. Далее эти данные как бы выбираются из списка перечисления. Важно помнить, что перечисление не может нести никакой привязанной информации. Оно только позволяет выбрать объект из конечного, ограниченного списка данных. Перечисление в прикладных программах 1С создается крайне просто путем введений нового объекта перечисления.

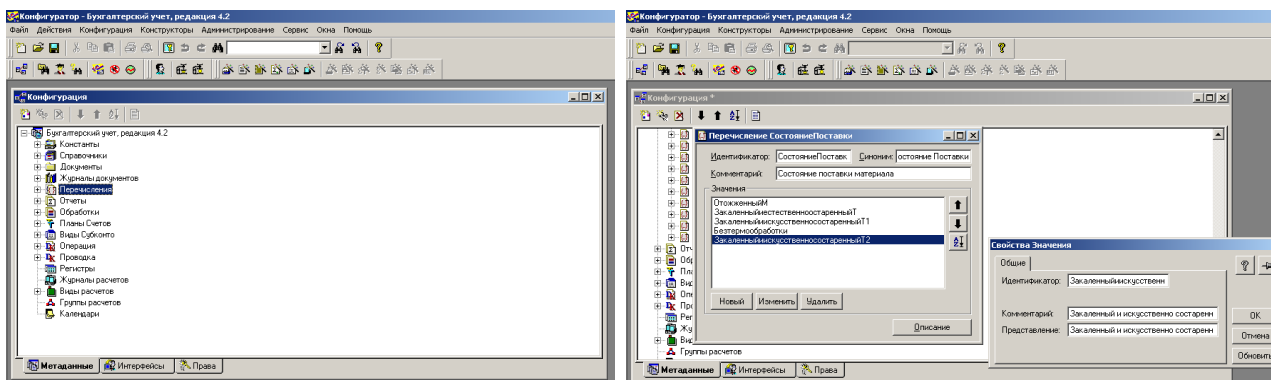


а) б)
Рис. 2. Диалоговое окно создания справочника "Требуемые материалы" (а)
и пример практического использования справочника "Требуемые материалы" (б)

Предположим, необходимо создать перечисление в виде списка состояния поставки листового материала. Могут применяться следующие варианты поставки:

- отожженное (М);
- закаленное и естественно состаренное (Т);
- закаленное и искусственно состаренное (Т1);
- закаленное и искусственно состаренное по смягчающему режиму (Т2);
- закаленное и искусственно состаренное смягчающему режиму (Т3);
- без термообработки.

При открытии пункта меню "Конфигурация" в режиме "Конфигуратор" становится доступно ниспадающее динамическое меню, в котором необходимо выбрать пункт "Открыть конфигурацию". В появившемся диалоговом окне необходимо выбрать раздел "Перечисления", где необходимо ввести новый вид перечисления. Пример создания перечисления "Состояние поставки" представлен на рисунке 3.



а) б)
Рис. 3. Внешний вид конфигурации системы (а)
и пример создания нового перечисления "Состояние поставки" (б)

При работе с массивами данных гораздо перспективнее, но с другой стороны и на порядок сложнее, работать с данными в виде документов и справочников. На рисунке 4 представлена последовательность действий при создании принципиально нового справочника "Материалы". Отдельно стоит остановиться на проблеме внедрения в систему чертежей изделий, подгрузки графических систем и формировании сборок изделий с выдачей сборочного чертежа и спецификации. Данная технология является самой сложной в исследуемом процессе. Подгрузка чертежей деталей, выполненных в виде изображения в формате pdf, tiff, gif или jpeg не вызывает проблем. Они подшиваются ссылкой на нужные файлы. А вот подключение редактируемых или утверждаемых чертежей в графических системах или системах твердотельного моделирования стало определенной проблемой.

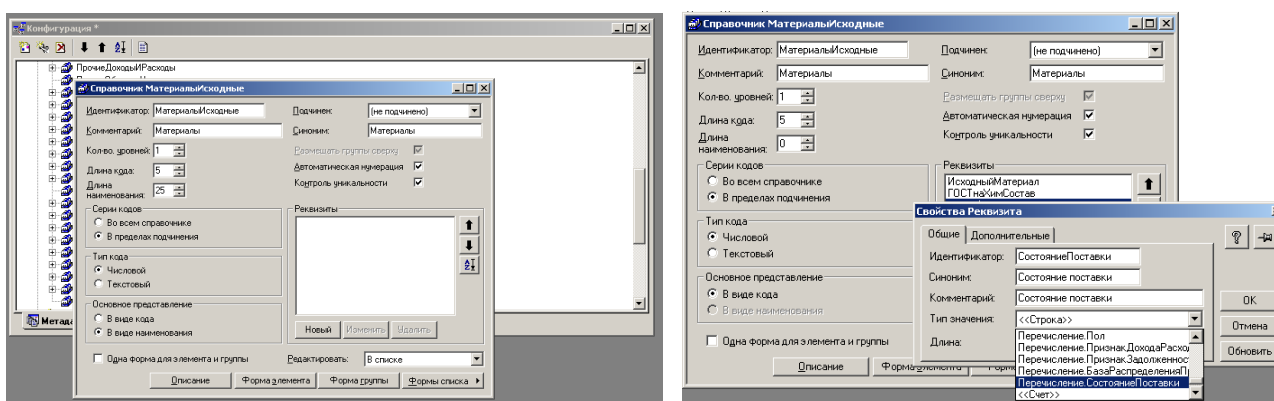


Рис. 4. Создание справочника "Материалы" (формирование вводимых метаданных, включая перечисление "Состояние поставки")

Код	Исходный материал	ГОСТ на хим. состав	Вид материала	Характеристика...	ГОСТ, 0...	Состояние поставки
1	Сталь Ст10	ГОСТ 1050-74	Листовой	Лист 1х550х1500	ГОСТ 19904	Отжженный М
2	Сталь Ст25	ГОСТ 1050-74	Листовой	Лист 1х550х2000	ГОСТ 19904	Закаленный и естественно состаренный Т
3	Сталь Ст40	ГОСТ 1050-74	Листовой	Лист 1х550х1500	ГОСТ 19904	Закаленный и искусственно состаренный Т1
						Закаленный и искусственно состаренный Т2
						Закаленный и искусственно состаренный Т3

Рис. 5. Применение справочника "Материалы" (стадия использования перечисления "Состояние поставки")

Для облегчения работы и сложности разрабатываемой системы было принято решение при ссылке на редактируемые графические файлы автоматически открывать чертеж в соответствующей графической системе, такой как AUTOCAD, КОМПАС или программе твердотельного моделирования SolidWorks. На рисунке 6 представлено диалоговое окно формирования нового элемента справочника "Деталь" в редакторе системы "Конфигуратор" и его использование при проектировании технологического процесса.

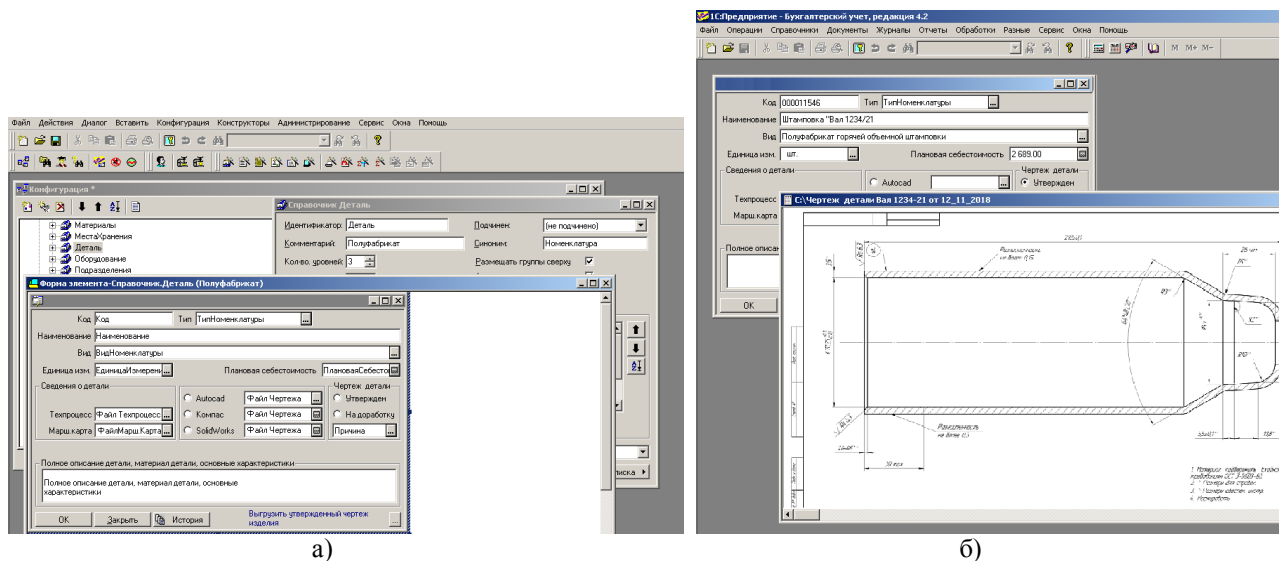


Рис. 6. Механизм диалогового окна создания нового элемента справочника "Деталь" (а) и использование смоделированного диалогового окна при проектировании реального технологического процесса (б)

Выводы

1. Проанализированы основные функции PDM-систем, определены цели их внедрения и использования, определены преимущества использования PDM-систем на предприятии.
2. Определена возможность использования платформы 1С для создания внутренних информационных PDM-систем предприятия.
3. Выполнены проектные работы по разработке элементов PDM-системы на примере производственного предприятия специализирующегося на кузнечно-штамповочном и листоштамповочном производстве изделий в серийном и мелкосерийном масштабе.
4. Определена трудоемкость разработки данной системы, которая составляет 50 часов.
5. Доказано, что разработкой данной системы может заниматься пользователь со средними знаниями в области создания баз данных и владеющего основными методиками работы в программах платформы 1С.

Библиографический список

1. Олейник А.В. Интеллектуальное сопровождение CALS-технологий/ Качество, инновации, образование. – 2003. – №2. С.54-58.
2. Тихонов А.Н., Полянский Ю.В., Кузнецова Л.В., Скуратов А.К., Николаев А.В., Кондратьева А.С., Максимова О.И., Рутковский И.С., Глухов А.Е., Черников М.А./ Особенности внедрения ИПИ-технологий на предприятиях России/Монография./– Ульяновск: УлГУ, 2006. – 224 с.
3. Белов А., Курочкин С., Марьин С. и др. "Внедрение PDM на ОАО "МПП имени В.В. Чернышева (первые шаги)". Журнал "Двигатель" № 2 (38) 2005. Интернет-версия.
4. Николаев А.В., Кузнецова Л.В., Максимова О.И., Глухов А.Е./Способы оптимизации бизнес-процессов для автоматизации управления компанией./Известия высших учебных заведений Поволжский регион. Технические науки. № 3, 2008 г. Раздел Информатика. Вычислительная техника и управление. г. Пенза. ПГУ, 73-81 с.
5. Сычев Р.В., Жаров М.В. "Внедрение элементов PDM-систем в программу "1С:Предприятие" с целью создания автоматизированных систем по обеспечению информационной поддержки производства изделий. В сборнике научно-прикладных трудов Института Современной Экономики. "Прикладная информатика в помощь: социуму, бизнесу, образованию". Вып. 3. М.: Издательство ИСЭ, 2009. с. 317-323.

УДК 004.056.5; ГРНТИ 81.93.29

ПОДХОДЫ К ОЦЕНИВАНИЮ КАЧЕСТВА ШУМА ГЕНЕРАТОРОВ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ЗАШУМЛЕНИЯ

А.Б. Батыргалиев

*Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева,
Республика Казахстан, Алматы, askhat.b.b@gmail.com*

Аннотация. В работе рассматриваются подходы к оцениванию качества шума генераторов пространственного электромагнитного зашумления.

Ключевые слова: генератор пространственного зашумления, побочные электромагнитные излучения, электромагнитный шум, маскирующий шум, средство активной защиты, качество шума.

APPROACHES TO THE QUALITY ASSESSMENT OF NOISE OF SPATIAL ELECTROMAGNETIC NOISE GENERATORS

A.B. Batyrgaliyev

*The Kazakh National Research Technical University name after K.I. Satpaev,
Republic of Kazakhstan, Almaty, askhat.b.b@gmail.com*

The summary. The paper discusses approaches to assessing the noise quality of spatial electromagnetic noise generators.

Keywords: spatial noise generator, side electromagnetic radiation, electromagnetic noise, masking noise, means of active protection, noise quality.

Одним из наиболее опасных технических каналов утечки информации на объектах информатизации является канал утечки информации, возникающий вследствие информативных (опасных) побочных электромагнитных излучений (ПЭМИ) технических средств ее обработки и передачи.

Защита средств вычислительной техники (СВТ) от утечки по каналам ПЭМИ, может быть достигнута с применением активных средств защиты, таких как, генераторы пространственного электромагнитного зашумления (ГЭМШ) [1-4].

При этом под электромагнитным шумом, согласно ГОСТ Р ИСО/МЭК 19762-4-2011, понимается изменяющееся во времени электромагнитное явление, которое не содержит информации и может налагаться на или объединяться с полезным сигналом.

Из этого следует, что применение ГЭМШ должно препятствовать или приводить к невозможности перехвата информативных ПЭМИ для последующего их анализа и восстановления исходной информации или значительному усложнению этого процесса.

Однако, зашумлённые информативные ПЭМИ могут быть подвергнуты фильтрации и в случае некачественного их маскирования противник может получить доступ к защищаемой информации. В этой связи возникает важная задача, связанная с оценкой качества шумового сигнала, порождаемого ГЭМШ [5].

Для определения оценочных характеристик маскирующего шума используются информационные (неэнергетические или статистические) и энергетические методы. Информационные методы рассматривают статистические параметры шумовых сигналов во временной области и позволяют непосредственно определить числовой коэффициент качества шума. На основе расчёта математического ожидания, дисперсии и энтропии мгновенных значений временных отсчётов и их огибающей вычисляется степень приближения к некоторым эталонным распределениям. Они направлены на нахождение степени неопределённости мгновенных значений шумовых сигналов, выражаемых, например, через энтропийный коэффициент качества маскирующего шума. При использовании этого метода активной маскировки ГЭМШ излучается специальный маскирующий сигнал (помеха) со спектром, аналогичном спектру информативных ПЭМИ. При этом спектральная плотность маскирующей помехи должна быть выше спектральной плотности ПЭМИ, а ее уровень не должен превосходить уровни ПЭМИ [5-7].

Энергетический метод для защиты информации использует постулат о необходимости превышения энергетики шума над ПЭМИ во всем диапазоне частот. Поэтому с целью проверки качества шума используются интегральные показатели, учитывающие превышение уровня шума над уровнем информативного сигнала [5-7].

Учитывая изложенное, к основным характеристикам ГЭМШ можно отнести [1, 8, 9]:

- диапазон генерируемых частот шумов;
- спектральную плотность мощности шума;
- коэффициент подавления;
- защитное отношение;
- структуру шумов (энтропийный коэффициент качества шума, энтропия плотности распределения вероятностей мгновенных значений амплитуд шумов, энтропийная мощность реального шума);
- вид излучаемой помехи (шумовая, импульсная, синхронная, сигналоподобная, кодированная, широкополосная, детерминированная и др.);
- уровень генерируемых шумов (по электрической и магнитной составляющей электромагнитного поля);
- соответствие уровня создаваемых шумов допустимым значениям, установленным нормативными документами (по электромагнитной совместимости, промышленным радиопомехам, санитарно-эпидемиологическим требованиям и др.).

Методы оценивания качества маскирующего шума описаны в [5, 8, 10-16]. При этом необходимо отметить, что в указанных источниках для оценки качества шума приводятся расчеты его энтропийных показателей эффективности.

В настоящей статье предлагается проводить измерения генерируемого шума одновременно в двух или более диапазонах частот и проводить их сравнение с целью определения наличия возможной корреляции между ними.

Это связано с тем, диапазон частот маскирования ПЭМИ разбивается на поддиапазоны. В каждом из поддиапазонов частот имеется свой канал формирования шумового сигнала либо используется умножитель частоты [1, 17].

В случае, когда генерируемый шум в разных поддиапазонах будет иметь одинаковые параметры за исключением частоты, возможно его вычитание в диапазонах, в которых информативные ПЭМИ имеют большую амплитуду (мощность) и дальнейшее восстановление защищаемой информации. В данном случае также имеет значение наличие дополнительных факторов, таких как, повторяемость исходного информативного сигнала, его амплитуда (мощность) и др.

Также, помимо определения наличия корреляции генерируемого шума в разных поддиапазонах необходимо проводить расчеты по оценке качества самого шума в соответствии с [5, 8, 10-16].

Таким образом, будет обеспечена полнота оценивания качества шума генераторов пространственного электромагнитного зашумления.

В дальнейшем планируется провести необходимые исследования в указанном направлении.

Библиографический список

1. Хорев, А.А. Способы защиты объектов информатизации от утечки информации по техническим каналам: пространственное электромагнитное зашумление// Специальная техника. – М.: 2012. – № 6 – С. 37 – 57.
2. Васильев, И.В., Козин, И.Д., Федулina, И.Н. Защита информации. Учебное пособие. – Алматы: АУЭС, 2010.
3. Технические средства и методы защиты информации. Учебник для вузов / А.П. Зайцев, А.А. Шелупанов, Р.В. Мещеряков. Под ред. А.П. Зайцева и А.А. Шелупанова. – 7-е изд., испр. – М.: Горячая линия – Телеком, 2017. – 442 с.: ил.

4. Бузов, Г.А. Защита информации ограниченного доступа от утечки по техническим каналам. – М.: Горячая линия – Телеком, 2017. – 586 с., ил.
5. Гаврилов, И.В. Методика оценивания качества маскирующего шума // Труды СПИИРАН. – 2015. Вып. 6(43). – С.179 – 190.
6. Технические средства и методы защиты информации. Учебник для вузов / А.П. Зайцев, А.А. Шелупанов, Р.В. Мещеряков. Под ред. А.П. Зайцев и А.А. Шелупанова. – 7-е изд., испр. – М.: Горячая линия – Телеком, 2017. – 442 с.: ил.
7. СТ РК 1698-2007 Защита информации. Защита информации от технических разведок от ее утечки по техническим каналам на объекте средств вычислительной техники.
8. Пашук, М.Ф., Паньчев, С.Н., Суровцев, С.В. Универсальный показатель для оценки эффективности маскирующих и имитационных радиопомех. – Режим доступа: <http://www.ntc-reb.ru/article13.html>. – Дата доступа: 04.02.2019.
9. СТ РК 34.021-2006 Защита информации. Технические средства защиты информации. Генераторы пространственного зашумления. Общие технические требования.
10. Глушенко, Е.Н., Паньчев, С.Н., Питолин, В.М., Самоцвет, Н.А. Универсальный показатель эффективности маскирующих и имитационных помех для защиты речевой информации. // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2015. Том: 11. Номер: 4. – С.85 – 89.
11. Патент РФ № 2346390, МПК H04B1/69. Способ оценки качества маскирующих частотно-модулированных шумовых помех / Тупота В.И., Герасименко В.Г., Бортников А.Н., Бурмин В.А., Самсонов А.А., Петигин А.Ф.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное учреждение Государственный научно-исследовательский испытательный институт проблем технической защиты информации Федеральной службы по техническому и экспортному контролю. - № 2007127237/09; заявл. 16.07.2007; опубл. 10.02.2009, Бюл. № 4. – 6 с.
12. Патент РФ № 2351076, МПК H04B17/00. Способ оценки качества маскирующих амплитудно-модулированных шумовых помех / Тупота В.И., Герасименко В.Г., Бортников А.Н., Бурмин В.А., Самсонов А.А., Петигин А.Ф.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное учреждение Государственный научно-исследовательский испытательный институт проблем технической защиты информации Федеральной службы по техническому и экспортному контролю. - № 2007127156/09; заявл. 16.07.2007; опубл. 27.03.2009, Бюл. № 9. – 6 с.
13. Патент РФ № 2353057, МПК H04B1/713. Способ оценки качества маскирующих прямошумовых помех / Тупота В.И., Герасименко В.Г., Бортников А.Н., Бурмин В.А., Самсонов А.А., Петигин А.Ф.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное учреждение Государственный научно-исследовательский испытательный институт проблем технической защиты информации Федеральной службы по техническому и экспортному контролю. - № 2007127227/09; заявл. 16.07.2007; опубл. 20.04.2009, Бюл. № 11. – 9 с.
14. Патент РФ № 2550353, МПК H04B17/00. Способ оценки качества маскирующего шума [Текст] / Гаврилов И.В., Гребенев Д.В., Басов О.О., Васечкин Е.А., Корнилов А.А.; заявитель и патентообладатель ГКОУ ВПО «Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации» (Академия ФСО России). - № 2014130567/07; заявл. 22.07.2014; опубл. 10.05.2015, Бюл. № 13. – 13 с.
15. Патент РФ № 2111527, МПК H04B17/00. Устройство для контроля параметров генератора маскирующих шумовых сигналов / Железняк В.К., Комаров В.Ф., Тараканов М.С.; заявитель и патентообладатель Железняк В.К., Комаров В.Ф., Тараканов М.С. - № 93014951/07; заявл. 22.03.1993; опубл. 20.05.1998. – 7 с.
16. Патент РФ № 2350023, МПК H04B17/00. Способ оценки качества маскирующего акустического (вибро-акустического шума) / Тупота В.И., Герасименко В.Г., Бортников А.Н., Бурмин В.А., Самсонов А.А., Петигин А.Ф., Железняк В.К.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное учреждение Государственный научно-исследовательский испытательный институт проблем технической защиты информации Федеральной службы по техническому и экспортному контролю. - № 2007127289/09; заявл. 16.07.2007; опубл. 20.03.2009, Бюл. № 8. – 4 с.
17. Землянухин П.А. Многоканальный адаптивный генератор шума для маскирования ПЭМИН // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2016. – Сент. – С. 82–93.

УДК 004

ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И ПУТИ ЕЕ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ В РЕСПУБЛИКЕ УЗБЕКИСТАН

А. Кабулов

*Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, Ташкентский Филиал,
Узбекистан, Ташкент, Kabulov51@mail.ru*

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы, связанные с обеспечением информационной безопасности государства, конституционных прав и свобод человека и гражданина в области получения информации, пользования ею в целях защиты конституционного строя, суверенитета и территориальной целостности. Говорится о том, что развитие сферы информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) рассматривается как одно из приоритетных направлений государственной политики и модернизации экономики Узбекистана.

Ключевые слова: информационная безопасность, компьютерные системы, «киберпреступность», «кибербезопасность», «киберугрозы», интернет-ресурсы, информационно-коммуникационные системы.

INFORMATION SECURITY AND WAYS OF ITS IMPROVEMENT IN THE REPUBLIC OF UZBEKISTAN

A. Kabulov

*Tashkent Branch of Russian Economic University after G.V. Plekhanov,
Uzbekistan, Tashkent, Kabulov51@mail.ru*

Abstract. In the article there considered issues related to ensuring information security of the state, constitutional rights and freedoms of a person and citizen in the sphere of obtaining information, using it to protect constitutional order, sovereignty and territorial integrity. It is said that development of information and communication technologies (ICT) is regarded as one of priority direction of state policy and modernization of economy of Uzbekistan.

Keywords: information security, computer systems, "cybercrime", "cyber security", "cyber threats", Internet resources, information and communication systems.

В разработанной по инициативе Президента Республики Узбекистан Ш.М. Мирзиёева стратегии действий по пяти приоритетным направлениям развития страны в 2017-2021 годах в главе V «Приоритетные направления в сфере обеспечения безопасности, религиозной толерантности и межнационального согласия, а также осуществления взвешенной и конструктивной внешней политики, в параграфе 5.1, говорится: «Совершенствование системы обеспечения информационной безопасности и защиты информации, своевременное и адекватное противодействие угрозам в информационной сфере» [1, с. 15].

Доступность, конфиденциальность и целостность – это три основных образующих структуру защиты информационных сведений. Доступность информации называют беспрепятственное получение информационных сведений по запрашиваемому вопросу за короткий промежуток времени.

Мы прекрасно знаем как это важно для множества сфер – распространение авиа- и железнодорожных билетов, банковские и другие услуги, где недоступность людей к информации в течении даже непродолжительного периода времени может привести не только моральному, но и материальному ущербу.

Целостностью сведений принято называть востребованность и непротиворечивость информационного продукту, а также надежность и безопасность от незаконного изменения или разрушения.

Целостность информации необходима при транзакциях, для выявления дублирования сообщений, кражи или переупорядочения, при анализе потока финансовых сообщений. Она также важна и в других сферах, таких как медицина, точное описание технологических процессах, характеристики комплектующих для техники и многое другое. Подделка, искажение или нарушение целостности текста, например, лекарственных рецептов или процедур, может привести даже к летальному исходу. Недопустимо искажение текстов законов, постановле-

ний, либо веб-страниц правительственных организаций. Значит целостность информации это важнейшее определяющее условие, когда речь идет прямо в руководстве к действию.

Конфиденциальность информации представляет собой ограничение в доступе к информации или услугам без разрешения создателя, автора или правообладателя.

В современных условиях добиться стопроцентной конфиденциальности информации представляется очень сложным. Это вызвано проблемами с точки зрения технической оснащенности в организациях, законодательной и правовой ответственности.

Использование информационно-коммуникационных технологий влечет за собой появления всевозможных угроз связанных с защищенностью различной информации. Для решения этих и других похожих проблем необходимо определить интересы и потребности субъектов информационных отношений.

Как уже было сказано выше у потребителей и правообладателей информационных сведений может быть совершенно различное отношение к трактовке проблем, связанных с информационной безопасностью. Так, например, в Узбекистане, режимные государственные органы чаще всего несут урон от неразрешенного вышестоящими инстанциями получения тех или иных информационных материалов. Вместе с тем, что касается учебных заведений, они мало заботятся о закрытости информации. Для руководства ВУЗов основными требованиями, предъявляемыми к компьютерным технологиям, предъявляемым к компьютерным технологиям, является их нормальное и бесперебойное функционирование.

Среди интересов потребителей важнейшим является доступность информации, затем целостность, т.к. искажение информации теряет смысл, потом идет конфиденциальность сведений, которая является одним из главных аспектов, как для организаций, так и для отдельных потребителей.

Вообще, термин «Информационная безопасность», означает защищенность информационной среды общества от несанкционированного вмешательства.

В данной статье мы хотели обратить внимание на информационную безопасность как важном элементе сохранения и передачи информации в защищенном формате, используемым только предназначенным пользователем. Информационная безопасность – это создание, обработка, передача и хранение информации независимо от источника, языка кодировки и психологического влияния воздействующего на людей.

Необходимо сконцентрироваться на защищенности информационного материала и поддерживающей его инфраструктуре, на искусственном и естественном воздействии, способном нанести непоправимый урон, как пользователям, так и правообладателям информационных сведений или поддерживающей их инфраструктуре.

Информационная безопасность зависит не только от компьютерных систем, где хранится информация, но и от поддерживающей ее инфраструктуры. Как мы все знаем в состав поддерживающей инфраструктуры входят такие компоненты как системы электроснабжения, средства связи, обслуживающий персонал. От слаженности работы перечисленной выше систем зависит качество функций, выполняемых информационными сервис структурами. Слабым звеном здесь выступает, как показывает практика, человеческий фактор.

Наиболее часто встречающимися угрозами на практике, выступают ошибки программного обеспечения, качество электропитания, технические средства, доступ посторонних лиц к оборудованию или информации.

Условно, угрозы можно разделить по следующим показателям:

1. По сути информационной защищенности: конфиденциальность, доступность, целостность информации.
2. По элементам информационных систем: поддерживающая сервис система, техническое оборудование, программное обеспечение.
3. По способу воздействия: преднамеренное или неумышленное, техногенное или природное.

4. По местоположению источника атаки: внутренние и внешние.

Поэтому, для повышения уровня информационной безопасности необходим комплексный, систематический подход.

По вероятности реализации, в сферах человеческой деятельности, классификация угроз безопасности может быть применена во всем. Значительная часть экономической безопасности страны может оказаться под угрозой при условии непринятия мер по нейтрализации и недопущения этих угроз.

Ниже, на рисунке, представлена предлагаемая нами схема Государственной информационной политики (ГИП) Республики Узбекистан.

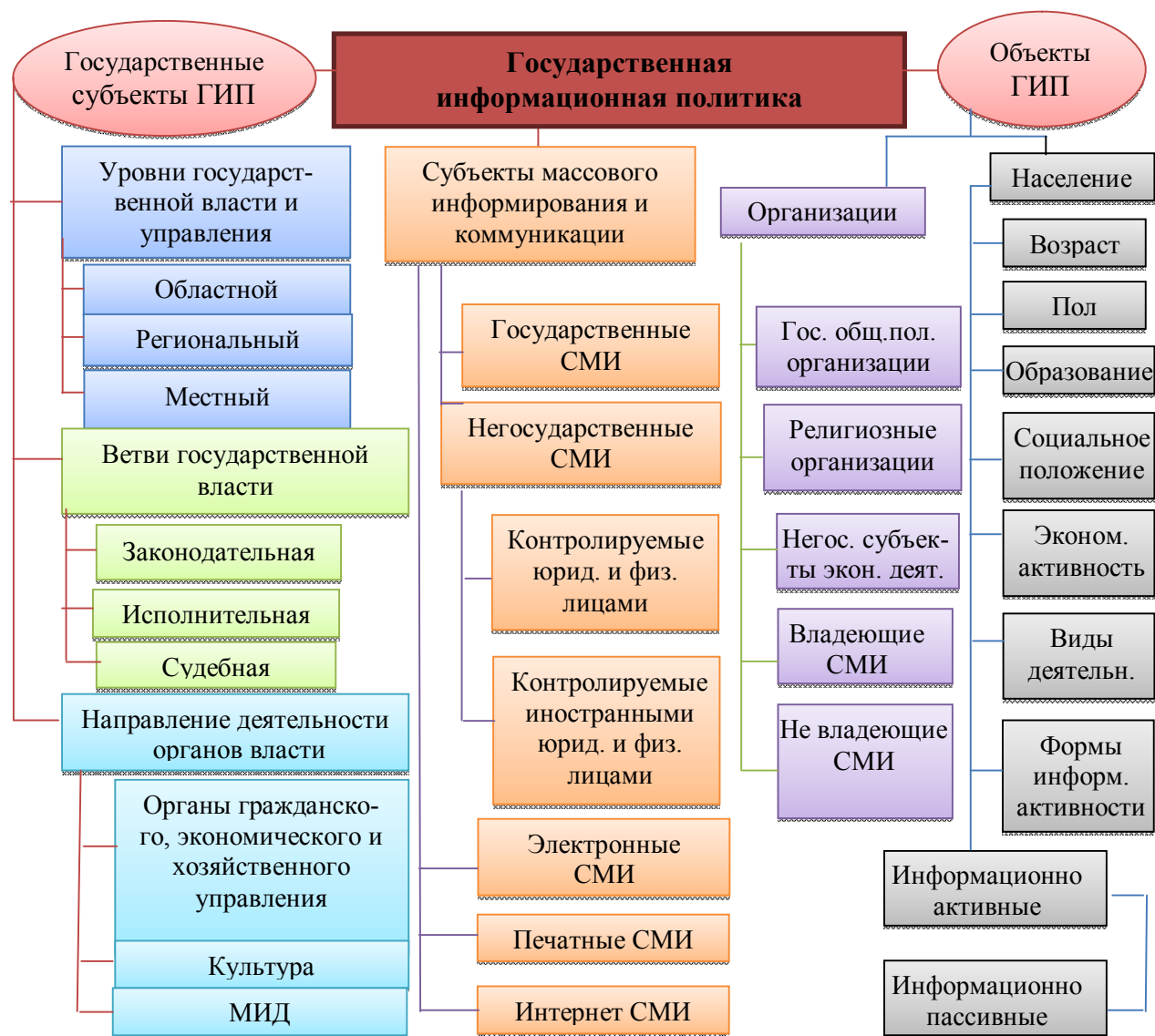


Рис. Схема Государственной информационной политики (ГИП) Республики Узбекистан

Системой охвачены почти все структуры, которые обмениваются информацией, как это мы видим на приведенной схеме.

В связи с расширением информатизации и компьютеризации в последнее десятилетие проблема стала действительно острой, и решать ее необходимо.

Важным и нужным механизмом в обеспечении экономической безопасности в Узбекистане является комплексный и системный подход. Предупреждение внутренних и внеш-

них угроз информационной безопасности является в настоящее время насущным вопросом в деятельности правительства и других структур республики.

В результате утвержденных различных правовых документов в стратегии национальных интересов в области экономики, показателей и компонентов экономической и информационной безопасности Республики Узбекистан разрабатываются меры и механизмы по решению этих вопросов.

В данном случае под системой информационной безопасности в нынешних условиях в Узбекистане понимается структура специальных органов и служб, методов и мероприятий по обеспечению защиты интересов личности, общества, государства, как от внешних, так и внутренних информационных угроз.

Без информационной безопасности и защиты информации невозможно решить экономическую и информационную безопасность, которая в условиях глобализации национальной экономики в Узбекистане является одной из главных задач социально-экономического развития государства.

Для классификации угроз могут быть использованы математические методы анализа. В этом случае угрозы могут быть подразделены на маловероятные и высоковероятные. Необходимо разрабатывать механизмы для того, чтобы на практике выявить основные направления противодействия экономическим угрозам, характеризующимся по классификационным признакам, что дает возможность определить их действия. Используя методы системного анализа, для выявления сущности элементов угрозы, к которым относят: вид воздействия, природу возникновения угрозы, объект посягательства, результаты реализации угрозы, величину нанесения вреда, способ защищенности и т.д.

В результате широкого внедрения и использования в нашей стране информационно-коммуникационных технологий все больше организаций и учреждений создают собственные веб-сайты, автоматизированные базы данных, растут масштабы компьютеризации, внедряются современные мобильные и сетевые технологии. Все это создает необходимость обеспечения конфиденциальности данных, предотвращения их утечки и пресечения несанкционированного доступа к ценной информации.

Поэтому обеспечение информационной безопасности государства требует использования комплексного подхода, включающего как организационные, технические, программные, так и социальные механизмы. Они способны реализовать конституционные права и свободы человека и гражданина в области получения информации, права пользования ею в целях защиты конституционного строя, суверенитета и территориальной целостности страны, политической, экономической, социальной стабильности, законности и правопорядка, а также развития взаимовыгодного международного сотрудничества в сфере информационной безопасности [2, с. 21].

Обеспечение информационной безопасности нашей страны одна из важнейших нынешних задач в условиях глобализации и века информационных войн. Стратегией действий, принятая в Узбекистане, предусмотрена разработка нормативно-правовых материалов, направленных на отражение и недопущение киберугроз, обеспечение информационной безопасности. Все это будет способствовать укреплению мира, свобод и согласия, стабильности, обеспечению безопасности личности, общества, а значит и государства.

Итак, решение вопросов информационной и экономической безопасности, защиты информации на сегодняшний день в Узбекистане, да и во всем мире, весьма актуальная тема.

Библиографический список

1. Стратегия действий по пяти приоритетным направлениям развития Республики Узбекистан в 2017-2021 годах. Газета «Народное слово» №28 (6692) от 8 февраля 2017 г.
2. Материалы Центра обеспечения информационной безопасности при Министерстве по развитию информационных технологий и коммуникаций Республики Узбекистан.
3. Статистические данные. Электронная версия. Режим доступа: <http://www.securitylab.ru/analytics/417176.php>

УДК 004.4; ГРНТИ 50.49.37

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ГРУЗОВОЙ АВИАКОМПАНИЕЙ

Д.А. Скуров

*Рязанский государственный радиотехнический университет,
Россия, Рязань, d.skurov@yandex.ru*

Аннотация. В статье рассматривается подход к проектированию информационной системы (далее - ИС) для автоматизации работы промышленной компании на примере грузовой авиакомпании.

Ключевые слова: проектирование, информационные системы, грузовая авиакомпания.

DEVELOPMENT OF INFORMATION MANAGEMENT SYSTEM OF CARGO AIRLINES

D.A. Skurov

*Ryazan State Radio Engineering University,
Russia, Ryazan, d.skurov@yandex.ru*

Abstract. The article discusses the approach to the design of an information system for automating the work of an industrial company on the example of a cargo airline.

Keywords: design, information system, cargo airline.

Введение

Авиаперевозки занимают важное место в системе быстрой доставки различных грузов. В настоящее время сложно представить современную авиакомпанию, в которой не применялись бы информационные технологии. Одним из ключевых компонентов ИТ являются информационные системы (ИС). В условиях жёсткой конкуренции использование ИС является ключевым фактором повышения качества предоставляемых услуг, обеспечения сокращения сроков поставок и в конечном итоге увеличения прибыли компании. Клиенты в свою очередь получают надёжный и качественный сервис.

Цель статьи

Целью данной статьи является получение основных сведений о функционировании и в дальнейшем разработке ИС на примере грузовой авиакомпании.

Создание и использование информационной системы для любой современной компании направлено на решение следующих задач:

1. Удобный поиск и хранение информации, которая постепенно накапливается в процессе деятельности компании и представляет для неё несомненную значимость и ценность;
2. Осуществления анализа имеющейся информации с целью оптимизации бизнес-процессов и повышения качества предоставляемых услуг;

3. Предоставление различным категориям работников компании удобных и эффективных инструментов обработки информации и повышения производительности их труда.

В авиакомпании по перевозке грузов необходимо сопоставлять информацию о грузах, поставляемых для перевозки, и ресурсах, имеющихся в распоряжении у авиакомпании. Также, для работников авиакомпании актуален вопрос временного сопоставления грузов для перевозки и возможных дат вылета. Помимо решения производственных и технологических вопросов, система должна обеспечивать удобный доступ и управление кадровыми и финансовыми ресурсами компании.

Проектируемая ИС предназначена для следующих категорий сотрудников авиакомпании: операторов диспетчерской службы, оказывающих услуги грузовых авиаперевозок физическим и юридическим лицам, и позволяет им повысить эффективность своей работы за счет систематизации и быстрого поиска нужной информации; сотрудников отдела планирования, в целях удобного доступа к статистической информации о деятельности компании и составления необходимых отчетов; сотрудников управленческого звена. Такой подход позволяет снизить нагрузку работников компании, что позволит повысить качество предоставляемых услуг, так как все рутинные операции будут обрабатываться автоматизировано.

Описание проблемной области

Авиаперевозки грузов — это способ транспортировки грузов при помощи воздушных судов. Существуют следующие основные типы авиаперевозок [1]:

- *Простые (генеральные) авиаперевозки* - обеспечивают транспортировку генерального груза в пункт назначения, а заказчиком такой услуги является владелец перевозимых товаров. Характеризуются высокой оперативностью.
- *Попутные авиаперевозки* - подразумевают использование свободных самолётов, следующих в требуемом направлении. Характеризуются наиболее низкой стоимостью.
- *Сборные авиаперевозки* — самый распространенный формат транспортировки штучных грузов, при котором товары различных отправителей накапливаются на складе и отправляются по мере накопления оптимального объема. Характеризуются невысокой стоимостью транспортировки.

В зависимости от партии самолёт может заполняться одним типом груза, либо комплектоваться разными типами со схожими условиями транспортировки и хранения. При необходимости для отдельных категорий грузов могут создаваться особые условия. Стоит учитывать тот факт, что одна партия, представляющая один договор с заказчиком, может быть размещена на различных самолётах ввиду своих габаритов.

Основным документом, регламентирующем перевозки грузов на воздушном транспорте, является «Руководство по грузовым перевозкам на внутренних воздушных линиях» (РГП-85).

Основным документом для операторов является авианакладная (Air Waybill) — это накладная на перевозку товаров воздушным транспортом.

В целом любая перевозка грузов проходит серию последовательных этапов:

1. Перевозка груза со склада отправителя до аэропорта;
2. Оформление документов на экспорт;
3. Собственно, сама авиаперевозка;
4. Размещение груза на таможенном терминале;
5. Оформление документов на импорт;
6. Перевозка груза до склада заказчика.

Основные функции системы

Разрабатываемая система должна обеспечивать решение следующих задач:

1. Хранение и обработка данных для осуществления грузовых авиаперевозок (информация о грузах и их типах, самолётах и закреплённых за ними пилотах, маршрутах и самое главное грузовых авианакладных), а также другой информации, необходимой для функционирования предприятия в целом. Под обработкой также понимается поиск и сортировка данных;
2. Хранение и обработка данных вспомогательных отделов, например, аналитического и финансового отделов;
3. Обеспечение безопасности взаимодействия с системой. В качестве механизма защиты выступает разграничение прав доступ для различных категорий пользователей. Только системный администратор получает прямой доступ к наиболее важным аспектам ИС. Кроме того, вся информация о пользователях хранится в зашифрованном виде;
4. Хранение и обработка отчётов о деятельности авиакомпании. К таким отчётам можно отнести отчёт о совершённых авиаперевозках, отчёт о финансовом положении компании и другие.

Архитектура ИС и средства разработки

Одним из важнейших компонентов любой ИС является её архитектура. Существует несколько видов архитектур, например, многослойная, объектно-ориентированная, клиент-серверная и т.д. Для разработки данной ИС выбрана распределенная трезвенная клиент-серверная архитектура на базе тонкого клиента. Вся бизнес-логика реализуется на стороне сервера, а клиент служит для отображения интерфейса и взаимодействия с системой [2].

Приложение-клиент формирует запрос к серверу, на котором расположена БД, на языке SQL. Удаленный сервер принимает запрос и переадресует его серверу БД. Сервер обеспечивает интерпретацию запроса, его выполнение в базе данных, формирование результата выполнения запроса и выдачу его приложению-клиенту. При этом программный код, реализующий обработку, оформляется в виде хранимых процедур и триггеров. Клиенту остается лишь в удобной и понятной пользователю форме представить эти результаты.

Не менее важной задачей является выбор модели хранилища данных. В этом плане можно выделить два основных направления: нереляционные и реляционные системы управления базами данных (далее - СУБД). Нереляционные СУБД хорошо подходят для хранения больших объёмов неструктурированной информации, и не накладывает ограничений на типы хранимых данных. С другой стороны, реляционные СУБД обеспечивают целостность данных. С учетом того, что данные должны иметь жёсткую структуру, была выбрана свободно распространяемая реляционная СУБД Microsoft SQL Server 2017 Express.

В качестве языка программирования был выбран ЯП высокого уровня C#. Он содержит все необходимые методы и функция для взаимодействия с выбранной СУБД с помощью технологии ADO.NET. Разработка клиентского приложения ведется в IDE (интегрированная среда разработки) Microsoft Visual Studio 2017. Данная IDE содержит все необходимые компоненты для работы с базами данных, что заметно упрощает написание приложения.

Структура разрабатываемой ИС представлена ниже (рисунок).

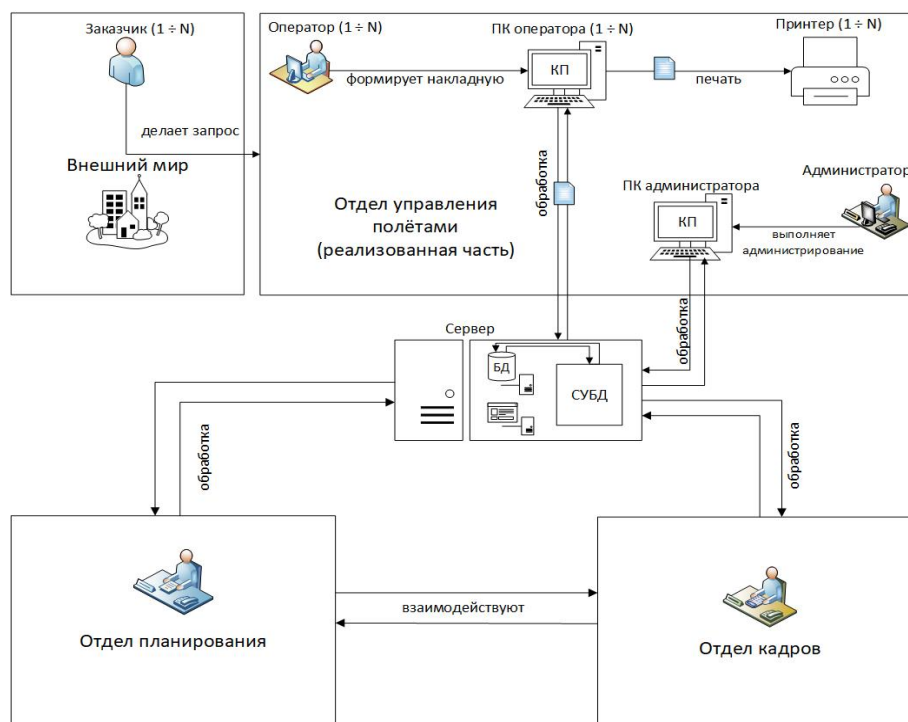


Рис. Структура разрабатываемой ИС

Основные отделы авиакомпании, такие как отдел планирования, отдел кадров и другие отделы по регулированию процессов управления ресурсами компании, располагаются в головном офисе. В свою очередь отдел управления полётами (операторский отдел) размещается в локальных узлах (офисах в других городах). Операторы взаимодействуют с системой при помощи компактных ПК (тонкий клиент), имеющих лишь набор необходимых периферийных устройств (монитор, клавиатура, мышь), а вся информация обрабатывается на удалённом (центральном) сервере. Такой подход позволяет легко масштабировать систему и добиться существенного снижения затрат на приобретение и модернизацию новых ПК. Помимо этого, достигается повышение уровня защищённости данных. Администратор обеспечивает разграничение прав доступа к различным компонентам системы. Весь сетевой трафик шифруется для достижения максимального уровня защиты.

Выводы

В заключение можно сказать, что разработка информационной системы является трудоёмким процессом, как с точки зрения кадровых ресурсов, так и с точки зрения финансов. В рамках выпускной работы бакалавра была реализована ключевая часть ИС грузовой авиакомпании – отдел планирования полётов, так как именно автоматизации работы сотрудников этого отдела существенно повышает эффективность работы компании в целом. Задачей ВКР магистра является расширение возможностей системы, а именно реализация отдела планирования, занимающегося в большей степени процессами управления другими отделами. Также важным вопросом является обеспечение безопасности системы.

Библиографический список

1. «Руководстве по грузовым перевозкам на внутренних воздушных линиях Союза ССР» (РГП-85), 2011. — 157с.
2. Избачков Ю., Петров В., Телина И., Васильев А. Информационные системы. — СПб. Питер, 2010. — 544 с.

УДК 004.65; ГРНТИ 20.23

ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ БАЗЫ ДАННЫХ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ «УЧЕТ ОКАЗАНИЯ УСЛУГ В СТОМАТОЛОГИЧЕСКОЙ КЛИНИКЕ»

Ю.Б. Щенёва, О.А. Бодров

Рязанский государственный радиотехнический университет,

Российская Федерация, Рязань, Shenyoa@yandex.ru, bodrov.o.a@rsreu.ru

Аннотация. В работе рассматриваются особенности проектирования реляционной модели базы данных. Проводится анализ бизнес–процесса, дается описание сущностей и взаимосвязей между ними, определяются атрибуты и первичные ключи, выполняется нормализация информационной модели и дается ее физическое описание.

Ключевые слова: реляционная модель, база данных, атрибут, первичный ключ, сущность, нормальная форма.

FEATURES OF THE DEVELOPMENT DATABASE FOR AUTOMATED INFORMATION SYSTEMS «ACCOUNTING SERVICES IN THE DENTAL CLINIC»

Y. B. Sheneva, O. A. Bodrov

Ryazan State Radio Engineering University,

Russia, Ryazan, Shenyoa@yandex.ru, bodrov.o.a@rsreu.ru

The summary. The paper deals with the design features of a relational database model. The analysis of business process is carried out, the description of entities and relationships between them is given, attributes and primary keys are defined, the information model is normalized and its physical description is given.

Keywords: relational model, database, attribute, primary key, entity, normal form.

В настоящее время работу любой организации трудно представить без автоматизированной информационной системы, ведь с помощью автоматизации процессов организации можно добиться получения быстрых и точных результатов. Постоянное развитие автоматизированных систем позволяет снизить долю вмешательства человека в их функционирование до необходимого минимума. В связи с этим ежегодно разрабатываются программы, призванные решать возникающие проблемы.

В современном мире, огромным спросом пользуются стоматологические услуги. Сотрудникам стоматологической клиники приходится выполнять ряд повторяющихся операций при работе с клиентами: оформление договора на оказание платных услуг, расчет стоимости оказанных услуг, оформление оплаты по договору с выдачей квитанции, предоставление информации об услугах и ценах на них, оформление гарантии на услуги. Для эффективной работы стоматологической клиники также необходимо формирование расписания работы специалистов, возможность вести запись на прием к конкретному специалисту, и, кроме этого, автоматизированная система должна помочь в проведении анализа оказанных услуг по запросу пользователя за конкретный период. Основная работа должна выполняться программными средствами, которые будут оперативно обрабатывать информацию. При этом необходимо учитывать наглядное представление данных, автоматическое заполнение документов, широкие возможности при обработке данных.

Структура базы данных зависит не только от задач, которые будет выполнять информационная система, но и от среды разработки проекта [1]. Среда разработки позволяет спроектировать наиболее оптимальную с точки зрения реализации модель базы данных.

Анализ бизнес–процесса

Все услуги стоматологической клиники должны быть формализованы и должен быть составлен их список с полным описанием и указанием стоимости, а также гарантии на некоторые из них. При обращении клиента в клинику он может ознакомиться с прайс–листом предоставляемых услуг и расписанием работы специалистов клиники. Если клиент собирается воспользоваться услугами стоматологической клиники, то в базу данных заносится кон-

тактная информация о нем. Администратор клиники осуществляет его регистрацию, фиксируя стандартные данные, и записывает на прием к специалисту. После оказания определенного перечня услуг с пациентом заключается договор на оказание платных услуг. В договоре указывается: дата заключения договора, перечень оказанных услуг определенной категории, количество услуг каждой категории, стоимость услуги, гарантия, автоматически рассчитывается итоговая сумма договора с учетом скидки клиента. Также в договоре указываются все необходимые данные о пациенте и специалистах, которые оказывали платные услуги по данному договору. В рамках одной сделки клиенту может быть оказано несколько услуг. Стоимость каждой услуги фиксирована. В клинике предусмотрена система скидок, в зависимости от категории клиента. Вся информация, хранящаяся в базе данных, периодически дополняется, редактируется и сохраняется.

При разработке информационной системы для автоматизации работы в стоматологической клинике по учету услуг в качестве средства разработки выбрана среда программирования MS Visual Studio и СУБД Microsoft SQL Server.

Исходя из краткого описания бизнес-процесса стоматологической клиники, функциями будущей информационной системы будут являться:

- регистрация клиентов стоматологической клиники;
- ведение каталога услуг и формирование прайс-листа;
- оформление договоров на оказание платных услуг;
- расчет стоимости по договору;
- формирование квитанций, гарантийных талонов к договору;
- начисление скидки;
- формирование расписания специалистов;
- возможность осуществлять запись на прием к определенному специалисту.
- поиск информации в базе данных по критериям;
- формирование отчетов по запросам пользователя.

Построение информационной модели

Анализ бизнес-процесса позволяет построить информационную модель данных стоматологической клиники. Диалоговое окно системы позволяет определить перечень информации, который будет храниться в базе данных. При построении информационной модели необходимо выполнение нескольких основных этапов, которые рассматриваются ниже.

На первом этапе определяют начальное количество сущностей и их атрибутов. Сущности и взаимосвязи между ними могут быть представлены в виде диаграммы «сущность–связь» (рис. 1).

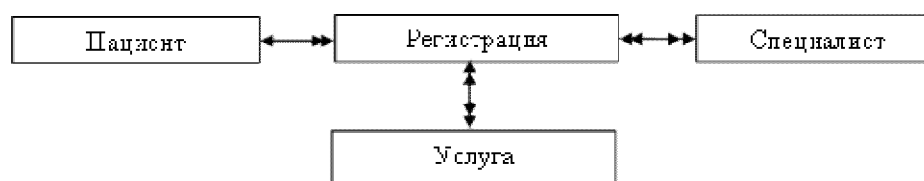


Рис. 1. Диаграмма «сущность – связь»

Рассмотрим связи, которые используются в данной диаграмме.

1. Между сущностями «Пациент» и «Регистрация» используется связь «один-многим», поскольку один пациент может быть указан в нескольких регистрациях (договорах), но в одной регистрации (договоре) может быть выбран только один пациент.

2. Между сущностями «Специалист» и «Регистрация» используется связь «многие-ко-многим», так как один специалист может быть выбран в нескольких регистрациях (договорах), а в одной регистрации (договоре) могут быть указаны несколько специалистов для одного пациента.

3. Между сущностями «Услуга» и «Регистрация» используется связь «многие-ко-многим», поскольку одна услуга может быть указана в нескольких регистрациях (договорах), а в одной регистрации (договоре) могут быть указаны несколько услуг разных категорий.

Далее на основе полученной диаграммы (рис. 1) разрабатывается модель базы данных, которую необходимо довести до третьей нормальной формы.

Полученную модель данных необходимо преобразовать, исключив из нее связь «многие-ко-многим», так как в реляционной базе данных не должен присутствовать такой тип связи, ведь понятие нормализации применимо только к реляционным базам данных. Для этого требуется добавить еще одну сущность, получив новый вариант диаграммы, представленный на рисунке 2.



Рис. 2. Диаграмма «сущность-связь» после преобразования

На втором этапе определяются атрибуты для каждой сущности информационной модели, которые будут храниться в базе данных. Результат представлен в таблице 1.

Таблица 1. Структура информационной модели

Сущность	Первичный ключ	Атрибуты
Пациент	№ пациента Код вида пациента	№ пациента ФИО пациента Телефон пациента Адрес пациента Код вида пациента Вид пациента Условия обслуживания
Регистрация	№ регистрации	№ регистрации Дата регистрации Сумма договора № пациента Тип оплаты
Специалист	Код специалиста, Код специализации, № кабинета, № дня недели, № смены	Код специалиста ФИО специалиста Телефон специалиста Фото специалиста Код специализации Специализация № кабинета Название кабинета № дня недели День недели № смены Название смены Время приема

Продолжение таблицы 1

Услуга	Код услуги, Код категории	Код услуги Услуга Цена Гарантия Код категории Категория
Состав регистрации	—	№ регистрации Код услуги Код специалиста Количество услуг Сумма за позицию

Нормализация информационной модели

Исходя из требований первой нормальной формы [3], необходимо преобразовать атрибуты: «ФИО пациента» и «Адрес пациента» в сущности «Пациент», «ФИО специалиста» в сущности «Специалист» так, чтобы получить неделимые атрибуты. Результат преобразования может быть представлен в виде диаграммы первой нормальной формы (рис. 3).

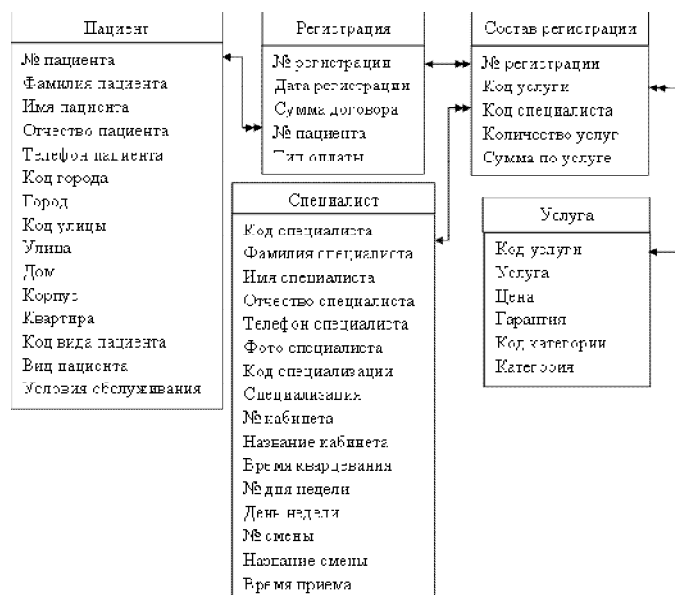


Рис. 3. Диаграмма первой нормальной формы

Приведем модель базы данных ко второй нормальной форме, соблюдая условия второй нормальной формы [3]. В сущности «Пациент» атрибуты «Вид пациента», «Город», «Улица» зависят только от части составного первичного ключа. Поэтому отношение «Пациент» не находится во второй нормальной форме и его следует преобразовать, выделив отдельные сущности: «Вид пациента», «Город», «Улица».

В сущности «Специалист» атрибуты «Специализация», «Название кабинета», «День недели», «Название смены» зависят только от части составного первичного ключа. Поэтому отношение «Специалист» не находится во второй нормальной форме и его следует преобразовать, выделив отдельные сущности: «Специализация», «Кабинет», «День недели», «Смена».

В сущности «Услуга» атрибут «Категория» зависит только от части составного первичного ключа. Поэтому отношение «Услуга» не находится во второй нормальной форме и его следует преобразовать, выделив отдельную сущность: «Категории услуг».

Диаграмма взаимосвязей во второй нормальной форме представлена на рис. 4.

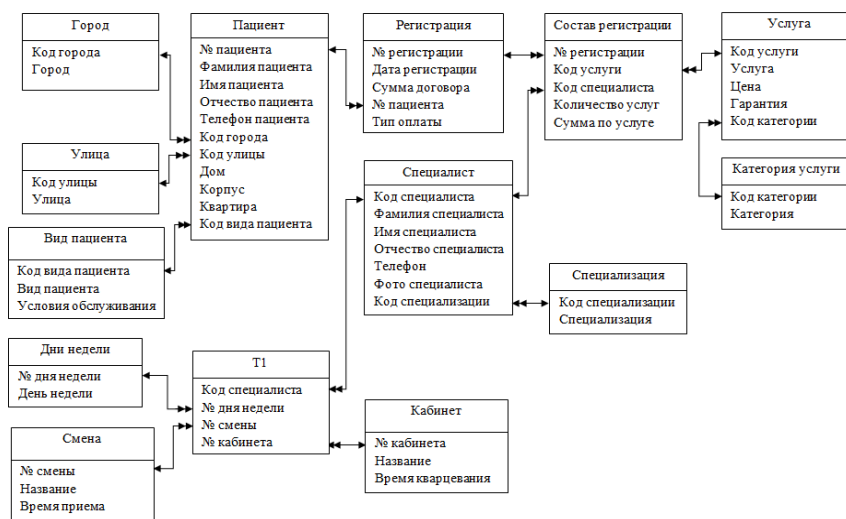


Рис. 4. Диаграмма второй нормальной формы

Учитывая условия третьей нормальной формы [3], преобразуем полученную модель к нужному виду, для этого в сущности «Состав регистрации» удалим атрибут «Сумма по услуге», который зависит от атрибута «Количество услуг» этой же сущности. Создадим на соответствующей форме поле, вычисляемое по формуле:

$$\text{Сумма по услуге} = \text{Цена} * \text{Количество услуг}, \quad (1)$$

где Цена – атрибут сущности «Услуги», который определяет стоимость услуги; Количество услуг – атрибут сущности «Состав регистрации», который определяет количество оказанных услуг.

Диаграмма взаимосвязей между атрибутами сущностей в третьей нормальной форме представлена на рис. 5.

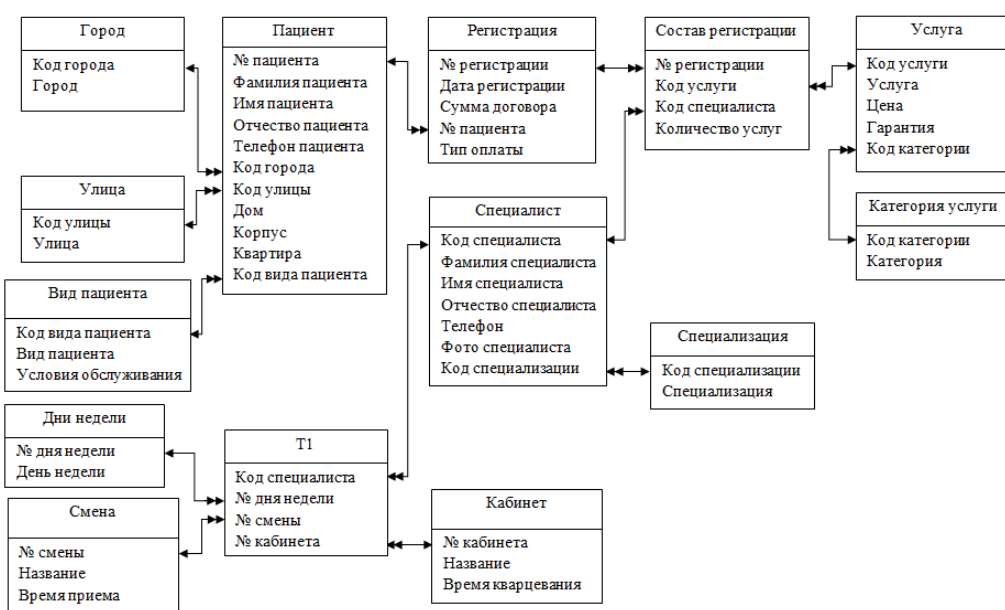


Рис.5. Диаграмма третьей нормальной формы

Заключительный этап проектирования представляет собой физическое описание модели. На этом этапе создаются проекты таблиц (структуры), которые будут в дальнейшем реализовываться в конкретной системе управления базами данных на машинных носителях информации.

Таким образом, при проектировании базы данных необходимо выполнить описание бизнес-процесса, а также определить и описать сущности и взаимосвязи между ними, задать первичные ключи, определить атрибуты сущностей, построить диаграмму «сущность–связь», провести нормализацию информационной модели базы данных до 3 нормальной формы. Результатом выполненных процессов станет информационная система, которая позволит автоматизировать основные процессы по учету услуг в платной стоматологической клинике.

Библиографический список

1. Агальцов В.П. Базы данных. Учебник. В 2-х книгах. Книга 1: Локальные базы данных. – М.: Форум, 2018. – 352 с.
2. Илюшечкин В.М. Основы использования и проектирования баз данных. Учебник для академического бакалавриата. – М.: Юрайт, 2018. – 213 с.
3. Основы проектирования баз данных: учеб.пособие / О.Л. Голицына, Т.Л. Партыка, И.И. Попов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Инфра-М, 2018. – 416 с.

УДК 004.043; ГРНТИ 20.53.19

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ IN-MEMORY ПОДХОДА К АНАЛИЗУ ИНФОРМАЦИИ

Д.В. Аникеев, А.В. Маркин, А.В. Пудова

*Рязанский государственный радиотехнический университет,
Россия, Рязань, anna.pudova1997@gmail.com*

Аннотация. Рассматривается возможность обработки и анализа информации с помощью In-Memory систем управления базами данных и реляционных СУБД, использующих In-Memory подход, на примере Tarantool и Microsoft SQL Server. Проведен сравнительный анализ СУБД Tarantool и Microsoft SQL Server как без применения, так и с использованием In-Memory подхода к анализу информации. Сделан вывод о применимости, рассматриваемых видов СУБД в зависимости от объема и представления обрабатываемых данных.

Ключевые слова: In-Memory СУБД, анализ информации.

RESEARCHING THE APPLICATION IN-MEMORY APPROACH TO ANALYSIS OF INFORMATION

D.V. Anikeev, A. V. Markin, A. V. Pudova

*Ryazan state radio engineering University,
Russia, Ryazan, anna.pudova1997@gmail.com*

Abstract. The possibility of information processing and analysis using in-Memory database management systems and relational DBMS using In-Memory approach is considered on the example of Tarantool and Microsoft SQL Server. Comparative testing of Tarantool and Microsoft SQL Server DBMS both without application and with use of In-Memory approach to information analysis is carried out. The conclusion is made about the applicability of the considered types of DBMS depending on the volume and presentation of the processed data.

Keywords: In_Memory DBMS, information analysis.

Введение

В последнее время среди постреляционных систем управления базами данных более исследуемыми становятся NewSQL или In-Memory СУБД [1]. Указанные СУБД отличаются от реляционных и NoSQL систем новым принципом хранения данных и выполнения пользо-

вательских запросов. In-Memory СУБД обрабатывают все запросы в оперативной памяти и не обращаются к жесткому диску и другим системам хранения. Все произведенные изменения (модификации) фиксируются в журнале транзакций, расположенном на жестком диске.

Все это повышает интерес к NewSQL СУБД и заставляет рассматривать возможность их использования. Однако, несмотря на это и другие преимущества нового подхода к хранению БД, при создании информационных систем выбор падает на традиционные, а не на NewSQL БД [2], в связи с недостаточной осведомленностью разработчиков.

Технология In-Memory активно используется и в реляционных СУБД. Обработка данных в оперативной памяти позволяет оптимизировать работу с данными, при этом обеспечивая сохранность и целостность данных. Для активации указанной возможности используются специальные команды. После их выполнения выделяется область оперативной памяти под хранение и обработку данных. Примерами реляционных СУБД, использующих In-Memory подход, являются MS SQL Server и Oracle 12c [3].

Целью настоящей работы является рассмотрение In-Memory подхода к обработке и хранению данных, возможности использования данной технологии в информационных системах, а также ее применение в традиционных решениях.

Преимущества In-Memory подхода к анализу информации:

- 1) увеличение скорости выполнения операций с данными, за счет получения данных из оперативной памяти;
- 2) уменьшение нагрузки на сервер БД и канал связи, за счет записи информации только о транзакциях без модификации данных;
- 3) уменьшение объема занимаемой памяти БД.

Недостатком In-Memory подхода к анализу информации является вероятность потери данных при совершении модификации данных.

Устранить указанный недостаток можно используя In-Memory подход в реляционных СУБД, позволяющих хранить данные в традиционном табличном формате на сервере БД.

Для определения наиболее подходящей из рассматриваемых СУБД проведено тестирование.

Тестирование

Целью тестирования является оценка возможностей In-Memory подхода к обработке и хранению данных. Проведено сравнение основных параметров производительности NewSQL СУБД и SQL системами управления базами данных.

Исходные данные для тестирования:

- 1) тестирование проводилось на одной машине;
- 2) тестирование проводилось в многопользовательском режиме;
- 3) тестирование проводилось с помощью СУБД, представленных в таблице 1.

Таблица 1. Программные средства

Тестовая СУБД	Версия	Разрядность операционной системы
Tarantool	1.10	64-х разрядная
Microsoft SQL Server	2017	64-х разрядная

Параметры тестирования СУБД:

- 1) throughput – количество обрабатываемых запросов сервером в секунду;
- 2) latency – время получения ответа от сервера;
- 3) memory footprint – разница между объемом данных и местом отведенным под их хранение.

Тестирование проводилось на основе количественных характеристик, описывающих состояние лицевого счета абонента ЖКУ. К серверу БД обращалось одновременно от 10 до 100 абонентов с запросами на получение информации о проведенных оплатах и начислениях по нескольким услугам.

Полученные результаты тестирования представлены в виде таблиц с результатами измерения контрольных точек и графиков зависимости времени, затраченного на обработку данных, от объемов полученных данных. По каждой контрольной точке проведено 15 замеров и в таблице представлено среднее значение.

В таблице 2 и на рисунке 1 представлены результаты измерения параметра throughput.

Таблица 2. Результаты измерения параметра throughput

Тестовая СУБД	Время, с	Количество запросов на чтение, тыс.
Tarantool	~ 2,26	50
	~ 11,55	250
	~ 25,8	500
MS SQL Server с In-Memory технологией	~ 2,39	50
	~ 12,1	250
	~ 26,3	500
MS SQL Server без In-Memory технологии	~ 3,41	50
	~ 14,7	250
	~ 31,8	500

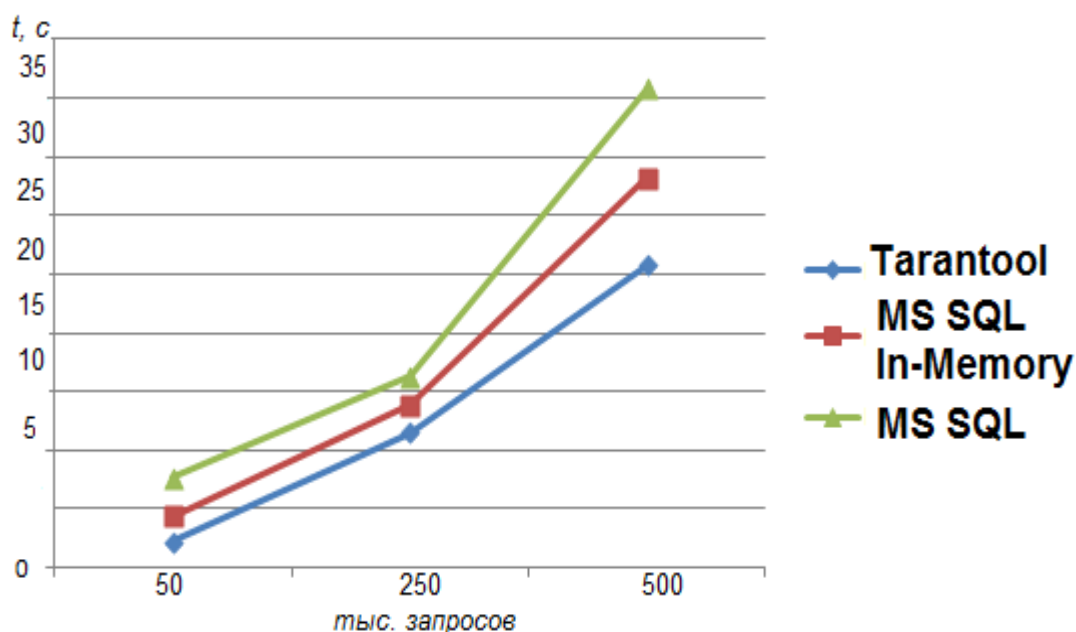


Рис. 1. Результаты измерения параметра throughput

В ходе сравнения результатов измерения параметра throughput тестовых СУБД выявлено, что одно и то же количество запросов на чтение СУБД, использующих In-Memory подход, выполняется быстрее. Это обусловлено основными преимуществами In-Memory подхода к обработке и хранению данных, обеспечивающих высокую производительность, работа с

оперативной памятью и параллельная обработка запросов, благодаря чему отсутствует задержка, связанная с чтением или записью данных на диск.

В таблице 3 и на рисунке 2 представлены результаты измерения параметра latency.

Таблица 3. Результаты измерения времени latency

Тестовая СУБД	Время, с	Количество запросов на чтение, тыс.
Tarantool	~ 3,18	50
	~ 13,61	250
	~ 29,6	500
MS SQL Server с In-Memory технологией	~ 3,41	50
	~ 12,9	250
	~ 30,2	500
MS SQL Server без In-Memory технологии	~ 3,62	50
	~ 14,3	250
	~ 31,8	500

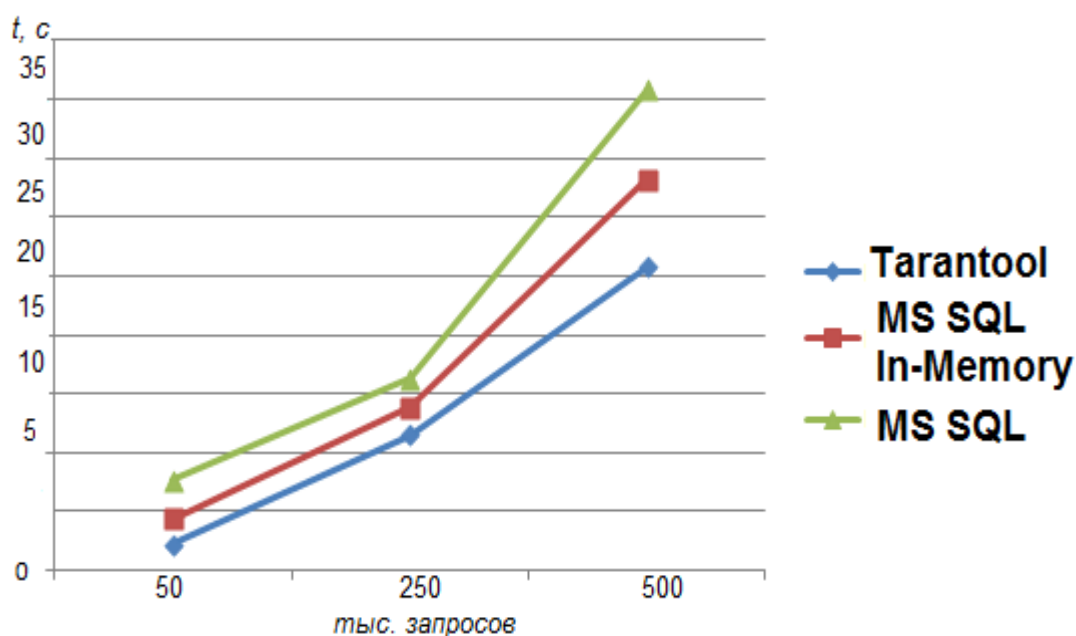


Рис. 2. Результаты измерения параметра latency

В ходе сравнения результатов измерения параметра latency тестовых СУБД выявлено, что наименьшим временем получения ответа от сервера обладает Tarantool, использующий In-Memory подход не только к обработке, но и к хранению данных. In-Memory СУБД, в отличие от реляционных, поддерживает поатрибутное хранение данных и использует алгоритмы сжатия информации.

При построчном хранении атрибуты записей хранятся последовательно. Поэтому выполняя выборку нужно считывать атрибуты всех записей и затем отфильтровать нужные, что приводит к избыточному количеству операций.

Поатрибутный способ хранения предоставляет доступ к атрибутам по отдельности. Поэтому запросы по выборке, агрегированию и вычислению выражений выполняются эффективнее, что особенно актуально при анализе информации.

Результаты измерения параметра memory footprint представлены на рис. 3.

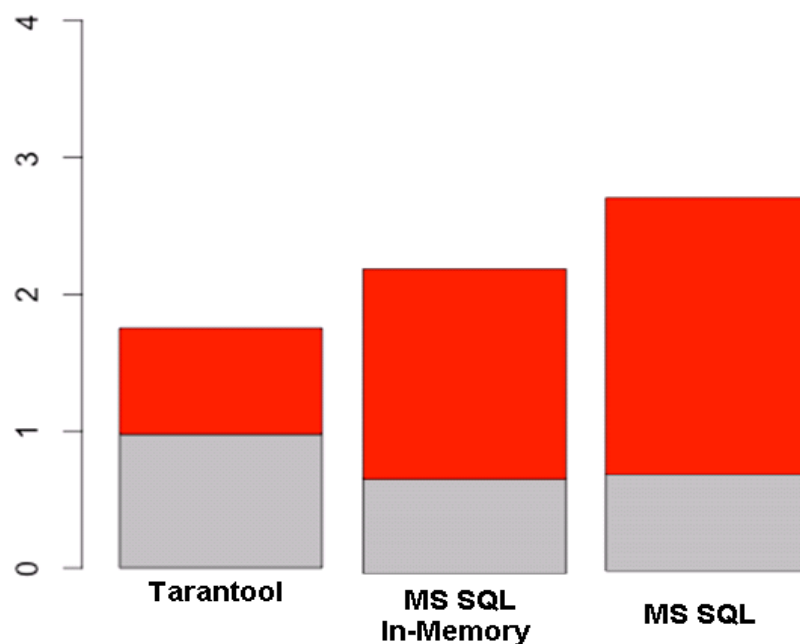


Рис. 3. Результаты измерения параметра memory footprint

На рисунке 3 серым цветом обозначен объем потребления оперативной памяти, а красным объем занимаемый БД на диске.

Сжатие информации предоставляет возможность по хранению данных больших объемов, а также увеличению производительности обработки данных. Увеличение оперативности в процессе сжатия достигается кодированием данных в виде целых чисел, с которыми процессор работает быстрее.

Надежность сохранения изменений, внесенных в данные, в In-Memory СУБД обеспечивается за счет журнала транзакций. Транзакции поступают в журнал транзакций последовательно в строго упорядоченном порядке. При этом диск, на котором хранится журнал, работает достаточно быстро, поскольку записывает данные в конец файла со скоростью до 100 Мбайт/с, что позволяет фиксировать до 1 млн. записей в журнале транзакций за 1 секунду.

Выводы

Для получения значений количественных характеристик проведено тестирование дисковой СУБД и In-Memory СУБД. В ходе анализа результатов сравнительного тестирования Tarantool, MS SQL Server In-Memory и MS SQL выявлено, что, в производительности Tarantool выигрывает на 7,56 %, по сравнению с MS SQL In-Memory. При этом все рассмотренные СУБД подходят для обработки и хранения больших объемов данных. Однако использование In-Memory подхода является более эффективным методом при обработке больших объемов данных, в различных задачах и областях применения. К таким задачам можно отнести: электронную коммерцию, аналитику и различные вычислительные задачи.

Библиографический список

1. Ю.П. Парфенов. Постреляционные хранилища данных. — Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2016. — 120 с.
2. С.А. Мартишин, В.Л. Симонов, М.В. Храпченко. Базы данных практическое применение СУБД SQL и NOSQL – типа для проектирования информационных систем. - Москва: ИД «Форум»: ИФРА – М, 2016. – 368 с.

3. А.В. Маркин, В.А. Шуваев. Анализ средств NoSQL для построения распределенных баз данных в сфере ЖКХ Международная научно-техническая и научно-методическая конференция «Современные технологии в науке и образовании». - Рязань: сб. тр. обл. науч. Конф. Том 3, 2016. - С. 65-68.

УДК 004.056; ГРНТИ 81.96.00

ЗАЩИЩЕННЫЕ ОПЕРАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ: ИСТОРИЯ И ПРИМЕНЕНИЕ

Ю.Г. Шамина, Ю.М. Кузьмин, Т.И. Калинкина

Рязанский государственный радиотехнический университет,

Российская Федерация, Рязань, shaminaulia@yandex.ru

Аннотация. В работе рассматриваются защищенные операционные системы, использующиеся в России и других странах мира.

Ключевые слова: операционная система, защищенная операционная система, угроза, средства защиты.

PROTECTED OPERATING SYSTEMS: HISTORY AND USAGE

U.G. Shamina, U.M. Kuzmin, T.I. Kalinkina

Ryazan State Radio Engineering University,

Russia, Ryazan, shaminaulia@yandex.ru

The summary. The paper considers protected operating systems used by Russia and some other countries of the world.

Keywords: operating system, protected operating system, threat, security features.

Защищенной операционной системой (ОС) считается такая ОС, которая включает средства защиты от основных угроз безопасности (конфиденциальности, целостности и доступности) информации с учетом особенностей использования конкретного экземпляра операционной системы [1]. Наличие встроенных в ОС защитных средств часто избавляет пользователей от необходимости закупки и установки каких-либо дополнительных программных средств защиты программ и данных. Распространенность ОС в настоящее время широчайшая - от персональных компьютеров и серверов до телефонов, телевизоров, холодильников и т.п. Поэтому необходимость оснащения ОС встроенными средствами защиты информации становится чрезвычайно актуальной.

Первой защищенной ОС была отечественная ОС «Феникс». Ее разработчиком был Зегжда П.Д. - зав. кафедрой «Информационная безопасность компьютерных систем» Санкт-Петербургского государственного политехнического университета [2].

Из существующих защищенных ОС можно отметить такие как KalynOS (Китай), RedStar (Северная Корея), EduBOSS (Индия), Solaris, AIX, Tails (США), российские MCBC, СОКОЛ, Заря, Роса и другие.

Рассмотрим далее защищенные ОС MCBC [3] и Astra Linux [4], так как одна из них активно используется в Вооруженных Силах, а другая - в государственных структурах Российской Федерации.

Название MCBC расшифровывается как «Мобильная система Вооруженных Сил». Разработана она на основе дистрибутива RedHatLinux. MCBC может работать и в режиме командной строки и с использованием графического интерфейса, использоваться в качестве серверной ОС и на рабочей станции.

MCBC была принята к использованию в Вооруженных Силах Российской Федерации в 2002 году. Разработана во ВНИИНС им. В.В. Соломатина. Существует два варианта этой ОС: MCBC 3.0 и MCBC 5.0.

MCBC 3.0 включает средства защиты информации от несанкционированного доступа, такие как дискреционное и мандатное управление доступом, разграничение доступа на основе ролей, средства аудита. Механизм квотирования позволяет ограничивать дисковое про-

странство, занимаемое пользователями, а также ограничивать количество запускаемых пользовательских процессов и объем выделяемой им памяти. На базе МСВС можно создавать автоматизированные системы, способные обрабатывать сведения, составляющие государственную тайну со степенью секретности до «совершенно секретно».

На замену защищенной ОС МСВС в настоящее время приходит ОС «Заря». Она также основана на дистрибутиве RedHatEnterpriseLinux. У ОС «Заря» есть несколько вариантов, различающихся назначением:

- ОС «Заря» (базовый вариант);
- ОС «Заря» (специальный вариант исполнения);
- ОС «Заря РВ» (для систем реального времени);
- «Заря-ЦОД» (для использования в ЦОД).

Защищенная ОС Astra Linux предназначена для использования в силовых ведомствах, спецслужбах и государственных органах Российской Федерации. Она обеспечивает степень защиты обрабатываемой информации до уровня государственной тайны степени «совершенно секретно» включительно. Имеются сертификаты Минобороны России, ФСТЭК России и ФСБ России. В ближайшее время персональные компьютеры, смартфоны и планшеты, используемые в организациях, подведомственных Министерству Обороны Российской Федерации, будут полностью переведены на AstraLinux.

Существует две версии AstraLinux:

- Astra Linux Common Edition (общего назначения);
- Astra Linux Special Edition (специального назначения).

Astra Linux Common Edition (AstraLinuxCE) предназначена, в основном, для среднего и малого бизнеса, а также образовательных учреждений.

Astra Linux Special Edition (AstraLinuxSE) предназначена для использования в автоматизированных системах в защищенном исполнении. Она построена на дистрибутиве AstraLinuxCE в соответствии с требованиями по защите информации. AstraLinuxSE выпущена в виде нескольких вариантов:

- Смоленск (рабочие станции и серверы);
- Новороссийск (мобильные устройства и встраиваемые компьютеры);
- Севастополь (настольные и мобильные устройства, сетевое оборудование);
- Керчь (высокопроизводительные серверы);
- Мурманск (отказоустойчивые серверы);
- Ленинград (вычислительные комплексы «Эльбрус»).

Astra Linux Special Edition имеет следующие особенности.

1. Идентификация и аутентификация

Здесь используется механизм РАМ (набор API высокого уровня для аутентификации пользователей), который позволяет создавать приложения, использующие свою собственную схему аутентификации пользователей. С другой стороны с помощью РАМ можно запретить программе аутентифицировать пользователей и уведомлять о попытке аутентификации. Имеются средства двухфакторной аутентификации.

2. Дискреционное разграничение доступа

Здесь реализован механизм дискреционного управления доступом, включающий списки управления доступом (ACL), с помощью которых можно для каждого объекта доступа ОС задать определенные права доступа по отношению к нему со стороны каждого субъекта ОС.

3. Мандатное разграничение доступа

Здесь принятие решения о разрешении или запрете доступа субъекта к объекту происходит на основе типа операции (чтение/запись/исполнение), уровня доступа к информационному объекту (метки доступа), уровня допуска пользователя

4. Ролевая модель контроля и управления доступом

Используется сущностно-ролевая ДП-модель управления доступом (Д) и информационными потоками (П). Реализованная в AstraLinuxSE модель разграничения доступа не основана на SELinux [5].

5. Защита от эксплуатации уязвимостей

В состав ядра ОС входит набор изменений PaX, который обеспечивает работу пользователей и процессов в режиме наименьших привилегий и защиту от эксплуатации уязвимостей в программном обеспечении. В числе прочих используются следующие механизмы защиты:

- запрет записи в исполняемую область памяти;
- запрет создания исполняемой области памяти;
- запрет перемещения в памяти сегментов программного кода;
- запрет создания исполняемого стека;
- используется случайный механизм распределения адресного пространства процесса.

Сравнительный анализ некоторых защищенных ОС представлен в таблице 1.

Таблица 1.

Сравнительный анализ защищенных ОС

Наименование	Организация-разработчик	СЗИ	Состояние разработки	Степень секретности	Приказ о принятии на снабжение ВС РФ	Наличие сертификатов		
						МО	ФСТЭК	ФСБ
Astra Linux	АО «НПО РусБИТех»	ОР	завершена	совершенно секретно	есть (2013 г.)	сс	сс	сс
ОС МСВС 3.0	ЗАО «концерн ВНИИНС»	ОР	завершена	совершенно секретно	есть (2001 г.)	сс	-	-
ОС МСВС 5.0	ОАО «ВНИИНС»	ОР	завершена	совершенно секретно	нет	сс	-	-
ОС «Заря»	ФГУП «ЦНИИ ЭИСУ»	ЗП	завершена	совершенно секретно	нет	ео	-	-
ALT Linux	ООО «ALT Linux»	ЗП	завершена	секретно	нет	-	сс	-
РОСА	ООО «НТЦ ИТ Роса»	ЗП	завершена	секретно	нет	ео	сс	-

В таблице использованы следующие сокращения:

- СЗИ: средства защиты информации,
- ОР: отечественная разработка,
- ЗП: на основе зарубежного прототипа,
- сс: сертифицированная серия,
- ео: сертифицирован единичный образец (партия).

Необходимо отметить тот факт, что госкомпании в России обязали перейти на российское программное обеспечение к 2022 году, в том числе и на российские ОС, серверы приложений, офисные программы, антивирусы. «Данная законодательная инициатива... соз-

даст более справедливые условия конкуренции на глобальном рынке приложений для устройств мобильной коммуникации, что позитивно отразится на развитии российской индустрии разработки программного обеспечения. Министерству следует проработать вопрос технологической реализации данной инициативы, чтобы требование по установке российских продуктов не привело к росту стоимости смартфонов, покупаемых российскими потребителями», - заявил председатель Комитета Государственной Думы по информационной политике, информационным технологиям и связи Леонид Левин [6].

Библиографический список

1. Проскурин В.Г. Защита в операционных системах. - М.: "Горячая линия – Телеком", 2014. 192 с.
2. Зегжда Д.П., Ивашко А.М. Основы безопасности информационных систем. – М.: "Горячая линия – Телеком", 2000. 452 с.
3. Операционная система MCBC 3.0. Системное администрирование: учеб. пособие: Москва, 2006. 204 с.
4. Буренин П.В. и др. Безопасность операционной системы специального назначения Astra Linux Special Edition: учеб. пособие для вузов. - М.: Горячая линия - Телеком, 2016. 312 с.
5. Бакланов В.В. Защитные механизмы операционной системы Linux: учеб. пособие / Екатеринбург, УрФУ, 2011. 354 с.
6. Софт для чиновников: российскую ОС оценили в миллиарды [Электронный ресурс] / URL: <https://news.rambler.ru/tech/40493789-soft-dlya-chinovnikov-rossiyskuyu-os-otsenili-v-milliard>.

СЕКЦИЯ "МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ"

УДК 330.4; ГРНТИ 27.43.87

АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РЫНКА ТРУДА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

И.П. Щукина

*Рязанский государственный университет имени С.А. Есенина,
Российская Федерация, Рязань, i.shukina@365.rsu.edu.ru*

Аннотация. В данной статье исследуется влияние ряда экономических факторов на трудовую привлекательность регионов России. Показателем трудовой привлекательности выбрана плотность рабочей силы – отношение среднегодовой численности занятых в экономике к среднегодовой численности населения. Проанализирована динамика изменения количества факторов, влияющих на трудовую привлекательность.

Ключевые слова: эконометрическое моделирование, множественная регрессия, множественная корреляция, рынок труда, трудовая привлекательность региона.

THE ANALYSIS OF INDICATORS'S DYNAMICS OF THE RUSSIAN FEDERATION'S LABOUR MARKET

I.P. Schukina

*S.A. Esenin Ryazan State University,
Russia, Ryazan, i.shukina@365.rsu.edu.ru*

The summary. This article examines the impact of a number of economic factors on the labor attractiveness of Russian regions. Labor force density is chosen as an indicator of labor attractiveness – the ratio of the average annual number of employed in the economy to the average annual population. The dynamics of changes in the number of factors affecting labor attractiveness is analyzed.

Keywords: econometric modeling, multiple regression, multiple correlation, labor market, labor attractiveness of the region.

1. Постановка задачи

Изучение рынка труда является одной из актуальных задач экономического исследования, которому посвящено достаточно большое количество работ. Обзор подходов к определению рынка труда как экономической категории представлен в статье [1]. Направления математического моделирования в исследованиях рынка труда представлены в [2]. Различные модели прогнозирования рынка труда предложены в статьях [3–5].

В связи с тем, что продолжительность жизни увеличивается, а рождаемость сокращается, в России происходит сокращение работоспособного населения. Для обеспечения трудовой мобильности необходимо выявить факторы, которые влияют на трудовую привлекательность регионов. Предлагаемая работа продолжает исследования, начатые в [6].

Целью данного исследования является выявление влияния различных экономических факторов на трудовую привлекательность регионов Российской Федерации. В качестве индикатора трудовой привлекательности (эндогенной переменной) выбран показатель Y – плотность рабочей силы, равная отношению среднегодовой численности занятых в экономике к среднегодовой численности населения. В качестве экономических экзогенных факторов были выбраны следующие показатели:

X_1 – инвестиции в основной капитал на душу населения (руб./чел.);

X_2 – валовой региональный продукт (ВРП) на душу населения (руб./чел.);

X_3 – фондовооружённость (руб./чел.);

X_4 – общая площадь жилых помещений, приходящаяся в среднем на одного жителя (кв.м./чел.);

X_5 – среднемесячная номинальная начисленная заработная плата работников организаций (руб./чел.);

X_6 – плотность свободных рабочих мест – отношение числа свободных рабочих мест, заявленных работодателями к среднегодовой численности населения (шт./чел.);

X_7 – стоимость основных фондов на душу населения (руб./чел.);

X_8 – плотность предприятий и организаций – отношение количества предприятий и организаций, зарегистрированных в регионе к среднегодовой численности населения (шт./чел.).

Задача данного исследования – проследить, какие из выбранных факторов оказывали статистически значимое влияние на трудовую привлекательность регионов за период с 2010 по 2016 годы.

Источником статистических данных для исследования является статистический сборник «Регионы России. Социально-экономические показатели» за 2011–2017 годы [7]. Исследование было выполнено средствами табличного процессора MSExcel. Вычисления проводились на уровне значимости 0,05.

2. Результаты исследования

Оценка взаимосвязи количественно измеренных переменных осуществлялась на основе парного линейного коэффициента корреляции Пирсона с использованием инструмента «Анализ Данных. Корреляция» табличного процессора MSExcel., а также – на основе построения уравнения множественной линейной регрессии по кросс-данным для каждого года рассматриваемого периода с использованием инструмента «Анализ Данных. Регрессия»:

$$Y = a_0 + \sum_{i=1}^8 a_i X_i + \varepsilon, \quad t = \overline{2010; 2016}. \quad (1)$$

На основе проведенных вычислений были выявлены статистически значимые в каждом году факторы, влияющие на показатели трудовой привлекательности (см. табл. 1). Были вычислены коэффициенты детерминации R^2 уравнений множественной регрессии (1) для каждого года по всем факторам, коэффициенты детерминации уравнений множественной регрессии, составленных по значимым факторам в каждом году, и коэффициенты детерминации уравнений множественной регрессии, составленных по постоянным значимым факторам X_4 и X_5 в каждом году.

Таблица 1. Динамика статистически значимых факторов и коэффициентов детерминации R^2

Год	Показатель Y			
	R^2 для всех факторов	Значимые факторы	R^2 для значимых факторов	R^2 для факторов X_4, X_5
2010	0,502	X_2, X_3, X_4, X_5, X_7	0,486	0,416
2011	0,498	X_2, X_3, X_4, X_5, X_7	0,482	0,382
2012	0,716	X_4, X_5	0,669	0,669
2013	0,722	X_4, X_5	0,684	0,684
2014	0,668	X_4, X_5, X_8	0,647	0,617
2015	0,67	X_4, X_5, X_8	0,639	0,6
2016	0,672	X_4, X_5	0,6	0,6

Из таблицы 1 следует, что среди исследуемых экономических факторов стабильное статистически значимое влияние на плотность рабочей силы оказывает общая площадь жилых помещений, приходящаяся в среднем на одного жителя (X_4), и среднемесячная номинальная начисленная заработная плата работников организаций (X_5).

На трудовую привлекательность регионов Российской Федерации также периодически оказывают влияние стоимость основных фондов на душу населения (X_7), плотность предприятий и организаций (X_8) и ВРП на душу населения (X_2). Такие показатели, как инвестиции в основной капитал на душу населения (X_1) и плотность свободных рабочих мест (X_6) не влияют на плотность рабочей силы.

Таким образом, после исключения статистически незначимых факторов и факторов, значимых в отдельные годы, регрессионное уравнение трудовой привлекательности от общей площади жилых помещений, приходящейся в среднем на одного жителя (X_4), и среднемесячной номинальной начисленной заработной платы работников организаций (X_5) принимает вид:

$$Y = a_0 + a_3 X_3 + a_4 X_4 + \varepsilon, \quad t = \overline{2010; 2016}. \quad (2)$$

На рис. 1 представлена динамика коэффициентов детерминации R^2 уравнений множественной регрессии (1) для каждого года по всем факторам, коэффициенты детерминации уравнений множественной регрессии, составленных по значимым факторам в каждом году, и коэффициенты детерминации уравнений множественной регрессии (2), составленных по постоянным значимым факторам X_4 и X_5 в каждом году.

Из таблицы 1 и рисунка 1 видно, что влияние факторов X_4 и X_5 на плотность рабочей силы было низким в послекризисные 2010 и 2011 годы. При этом кризис 2014 года существенного влияния на степень влияния факторов X_4 и X_5 .

Перспективы дальнейшего исследования

Анализ динамики плотности рабочей силы для России в целом в период с 2010 по 2016 годы (рис. 2) показывает, что плотность рабочей силы в период с 2010 по 2016 год имеет нисходящую тенденцию, и резко снизилась в 2014 году. При этом анализ динамики плотности рабочей силы регионов Центрального федерального округа показывает (см. рис. 3), что для некоторых регионов этот показатель снижается (например, Липецкая, Московская, Рязанская области), а для некоторых регионов растёт (например, г. Москва, Воронежская, Белгородская, Тульская области). Для некоторых регионов этот показатель остаётся стабильным с небольшими колебаниями.



Рис. 1. Динамика коэффициента детерминации R^2 наилучших уравнений множественной регрессии

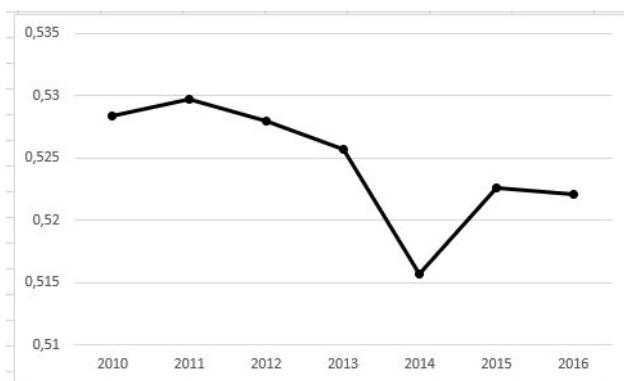


Рис. 2. Динамика плотности рабочей силы России в целом

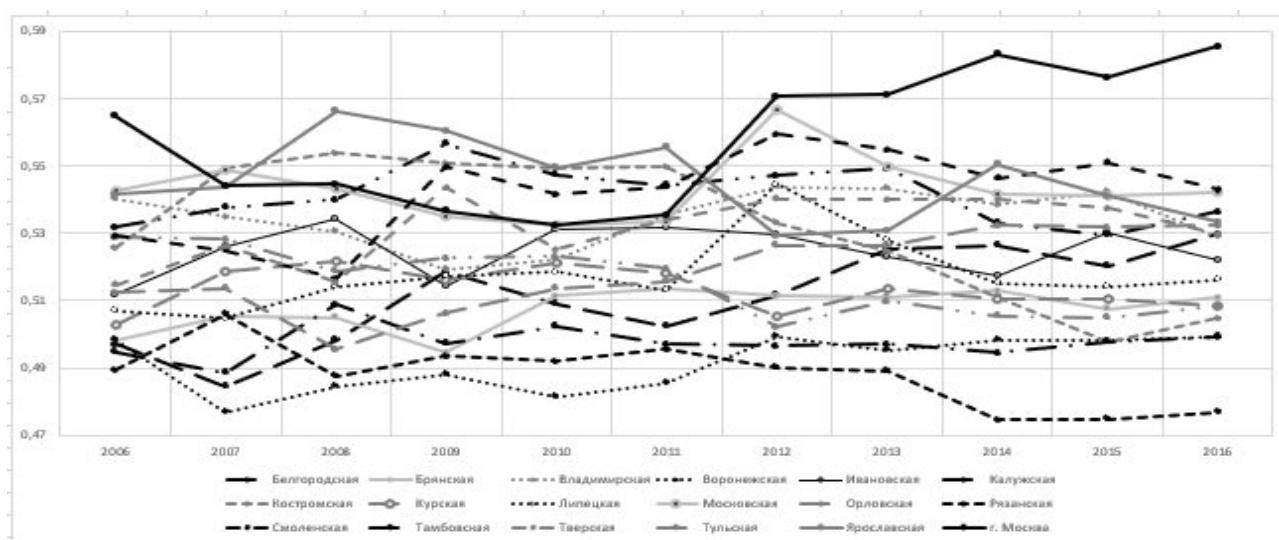


Рис. 3. Динамика плотности рабочей силы регионов Центрального федерального округа

Аналогичный анализ этого показателя для других регионов России показывает те же самые тенденции. Поэтому в дальнейшем требуется провести панельный анализ влияния выявленных факторов на плотность рабочей силы Российской Федерации с целью выявления региональных эффектов.

Библиографический список

1. Королев Д.Ю. Рынок труда: дискуссионные моменты [Электронный ресурс] / Д.Ю. Королев // ПСЭ. 2013. №3 (47). С. 140–142. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/rynok-truda-diskussionnye-momenty> (дата обращения: 17.11.2018).
2. Гладышева А. В. Математическое моделирование как инструмент исследования рынка труда [Электронный ресурс] // Социально-экономические явления и процессы. 2008. №2 (010). С. 11–14. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/matematicheskoe-modelirovanie-kak-instrument-issledovaniya-rynka-truda> (дата обращения: 22.01.2019).
3. Хацкевич В.Л. Эконометрическое моделирование показателей регионального рынка труда [Электронный ресурс] / В.Л. Хацкевич, Г.Н. Безрядина, Н.В. Концевая // Современная экономика: проблемы и решения, [S.l.]. 2015. Т. 10. С. 192–199. Режим доступа: <https://meps.econ.vsu.ru/index.php/meps/article/view/500>. (дата обращения: 22.01.2019).
4. Курятков В.А. Прогнозирование рынка труда методами системной динамики / В.А. Курятков, К.О. Коношевская // Вестник РЭУ. 2012. № 9. С. 94–100.
5. Шеломенцева М.В. Экономико-статистические модели формирования трудовых ресурсов: ретроспективный аспект [Электронный ресурс] // Интернет-журнал «Науковедение». 2013. № 3. Режим доступа: <https://naukovedenie.ru/PDF/56evn313.pdf> (дата обращения: 22.01.2019).
6. Лискина Е. Ю., Щукина И.П. Моделирование трудовой привлекательности регионов Российской Федерации // Математика и естественные науки. Теория и практика: Межвуз. сб. науч. тр. Вып. 14. – Ярославль: Издат. дом ЯГТУ, 2019.
7. Регионы России. Социально-экономические показатели : статистический сборник 2006–2017 гг. [Электронный ресурс] // Федеральная служба государственной статистики. Режим доступа: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/doc_1138623506156 (дата обращения 14.01.2019 г.).

УДК 330.4; ГРНТИ 27.43.87

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОМЫШЛЕННОГО ПОТЕНЦИАЛА РЕГИОНА

А.С. Андреев, Е.Ю. Лискина

Рязанский государственный университет имени С.А. Есенина,
Российская Федерация, Рязань, artem.andreev@inbox.ru, e.liskina@365.rsu.edu.ru

Аннотация. Предполагается, что характеристиками промышленного потенциала региона являются валовой региональный продукт (ВРП) на душу населения и величина ввода основных фондов обрабатывающих производств на душу населения. В статье определены статистически значимые факторы финансового, трудового и инфраструктурного потенциалов региона, влияющие на характеристики промышленного потенциала.

Ключевые слова: эконометрическое моделирование, экономическое развитие, промышленный потенциал, множественная регрессия, множественная корреляция.

MODELING OF THE REGION'S INDUSTRIAL POTENTIAL

A.S. Andreev, E.Ju. Liskina

S.A. Esenin Ryazan State University,

Russia, Ryazan, artem.andreev@inbox.ru, e.liskina@365.rsu.edu.ru

The summary. It is assumed that the characteristics of the industrial potential of the region are gross regional product (GRP) per capita and value of fixed assets's input of processing industries per capita. In the article we have identified statistically significant factors of financial, labor and infrastructure potentials of the region, affecting the characteristics of industrial potential.

Keywords: econometric modeling, economic development, industrial potential, multiple regression, multiple correlation.

1. Введение

Экономическое развитие региона определяется уровнем его промышленного потенциала [1]. Промышленный потенциал региона состоит из производственного, финансового, инфраструктурного и человеческого потенциалов. Мы предполагаем, что характеристиками промышленного потенциала региона являются валовой региональный продукт (ВРП) на душу населения и величина ввода основных фондов на душу населения. В работе [2] мы определили статистически значимые факторы производственного потенциала, влияющие на характеристики промышленного потенциала. Цель настоящей работы – оценка влияния факторов финансового, трудового и инфраструктурного потенциалов на характеристики промышленного потенциала.

2. Постановка задачи

В соответствии с анализом, проведённым в работе [1], в таблице 1 представим экзогенные факторы, определяющие производственный потенциал региона.

В качестве эндогенных переменных примем следующие экономические показатели:

Y_1 – валовой региональный продукт (ВРП) на душу населения (млн. руб. / тыс. чел.),

Y_2 – ввод основных фондов обрабатывающих производств на душу населения (млн. руб. / тыс. чел.).

Задача исследования – выявить значимые и незначимые факторы финансового, трудового и инфраструктурного потенциалов региона, а также проследить изменение значимых факторов за период времени с 2010 по 2016 год. Данный период времени был выбран как стабильный относительно состава федеральных округов (республика Крым и г. Севастополь не учитывались, так как данные по ним есть только с 2014 года). Источником числовых данных являются статистические сборники [3]. Вычисления выполнены с помощью пакета «Анализ данных» табличного процессора MS Excel на уровне значимости 0,05.

3. Результаты исследования.

На первом этапе исследования факторов потенциалов для каждого года рассматриваемого периода были проанализированы диаграммы рассеяния и построены корреляционные матрицы признаков (X_i, Y_j) , $i = \overline{1; k}$, $j = \overline{1; 2}$. Затем были оценены коэффициенты уравнений множественной линейной регрессии вида

$$Y_1 = a_0 + \sum_{i=1}^k a_i X_i + \varepsilon_1, \quad t = \overline{2010; 2016},$$

$$Y_2 = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i X_i + \varepsilon_2, \quad t = \overline{2010; 2016},$$

где $k = 4$ для финансового и человеческого потенциалов;

$k = 3$ для инфраструктурного потенциала.

Была оценена их значимость по t-критерию Стьюдента и вычислены коэффициенты R^2 для уравнений регрессии каждого года. На основе проведенного анализа были выявлены факторы, влияющие на переменные Y_1 и Y_2 для каждого вида потенциала (см.табл. 2–4).

Таблица 1. Факторы, определяющие промышленный потенциал региона

№ п/п	Обозначение переменной	Экономический показатель	Единица измерения	Потенциал
1.	X_1	Доля инвестиций в ВРП	%	Финансовый
2.	X_2	Объём иностранных инвестиций на душу населения	Тыс. руб./ тыс. чел.	
3.	X_3	Объём инвестиций в основной капитал обрабатывающих производств на душу населения	Тыс. руб./ тыс. чел.	
4.	X_4	Внутренние затраты на научные исследования и разработки по отношению к ВРП	-	
5.	X_5	Численность персонала, занятого исследованиями и разработками на 100 тыс. чел.	-	Человеческий
6.	X_6	Доля работников с высшим образованием в общей численности занятых	%	
7.	X_7	Доля работников со средним профессиональным образованием в общей численности занятых	%	
8.	X_8	Доля занятых в обрабатывающих производствах в общей численности занятых	%	
9.	X_9	Плотность железнодорожных путей общего пользования	Км на 10000 км ² территории	Инфраструктурный
10.	X_{10}	Плотность автомобильных дорог с твердым покрытием	Км на 1000 км ² территории	
11.	X_{11}	Мощность электростанций	Млн. кВт	

Таблица 2. Динамика статистически значимых факторов финансового потенциала для переменных Y_1 и Y_2 и коэффициентов детерминации R^2

Год	Показатель Y_1			Показатель Y_2		
	R^2 для всех факторов	Значимые факторы	R^2 для X_2	R^2 для всех факторов	Значимые факторы	R^2 для X_1
2010	0,296	X_2	0,275	0,680	X_1, X_4	0,677
2011	0,531	X_2	0,509	0,525	X_1	0,490
2012	0,351	X_2, X_3	0,287	0,711	X_1, X_3	0,588
2013	0,326	X_2	0,286	0,676	X_1, X_3	0,555
2014	0,564	X_1, X_2, X_3	0,481	0,163	X_3	0,088
2015	0,568	X_2, X_3	0,525	0,205	X_1	0,167
2016	0,379	X_2	0,362	0,417	X_1	0,376

На втором этапе были исключены статистически незначимые факторы, были оценены коэффициенты уравнений регрессии, содержащих только значимые факторы, и вычислены коэффициенты детерминации R^2 для уравнений регрессии каждого года.

Из таблицы 2 следует, что на переменную Y_1 (ВРП на душу населения) на протяжении рассматриваемого периода оказывает слабое влияние фактор X_2 (объем иностранных инвестиций на душу населения), причём влияние этого фактора становится умеренным в кризисном 2014 году и в 2015 году. На переменную Y_2 (ввод основных фондов обрабатывающих производств на душу населения) на протяжении рассматриваемого периода оказывает умеренное влияние фактор X_1 (доля инвестиций в ВРП), причём влияние этого фактора становится слабым в кризисном 2014 году и в 2015 году (рис. 1, 2).

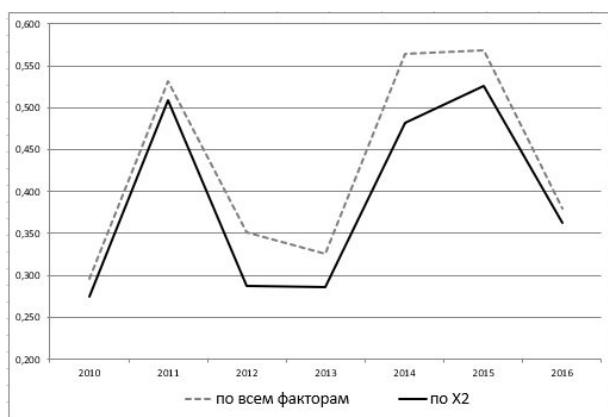


Рис. 1. Динамика коэффициента R^2 для Y_1 для финансового потенциала

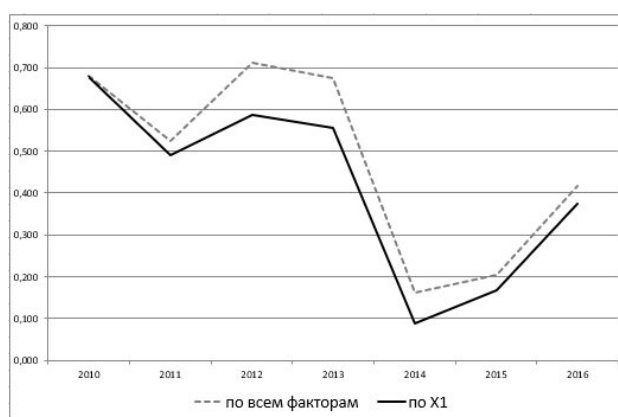


Рис. 2. Динамика коэффициента R^2 для Y_2 для финансового потенциала

Таблица 3. Динамика статистически значимых факторов человеческого потенциала для переменных Y_1 и Y_2 и коэффициентов детерминации R^2

Год	Показатель Y_1			Показатель Y_2		
	R^2 для всех факторов	Значимые факторы	R^2 для X_8	R^2 для всех факторов	Значимые факторы	R^2 для X_8
2010	0,150	X_8	0,087	0,680	X_8	0,677
2011	0,137	X_8	0,089	0,525	X_8	0,490
2012	0,138	X_8	0,093	0,711	X_8	0,588
2013	0,146	X_8	0,100	0,676	X_8	0,555
2014	0,215	X_7, X_8	0,113	0,163	X_8	0,088
2015	0,210	X_7, X_8	0,119	0,205	X_8	0,167
2016	0,252	X_7, X_8	0,133	0,417	X_8	0,376

Из таблицы 3 следует, что на переменную Y_1 (ВРП на душу населения) на протяжении рассматриваемого периода оказывает весьма слабое влияние фактор X_8 (доля занятых в обрабатывающих производствах в общей численности занятых), причём влияние этого фактора возрастает к концу периода. На переменную Y_2 (ввод основных фондов обрабатывающих производств на душу населения) на протяжении рассматриваемого периода также оказывает умеренное влияние фактор X_8 , причём влияние этого фактора становится весьма слабым в кризисном 2014 году и в 2015 году (рис. 3, 4).

Из таблицы 4 следует, что на протяжении рассматриваемого периода нет факторов, оказывающих значимое влияние на переменную Y_1 . На переменную Y_2 на протяжении рассматриваемого периода также оказывает слабое влияние фактор X_{11} (мощность электростанций), причём этот фактор перестаёт быть значимым в кризисном 2014 году (рис. 5).

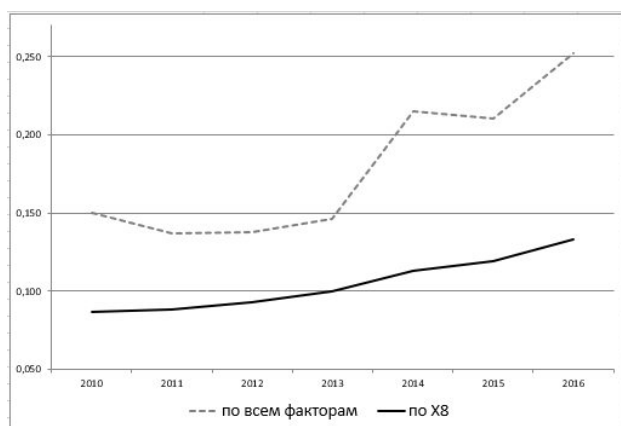


Рис. 3. Динамика коэффициента R^2 для Y_1 для человеческого потенциала

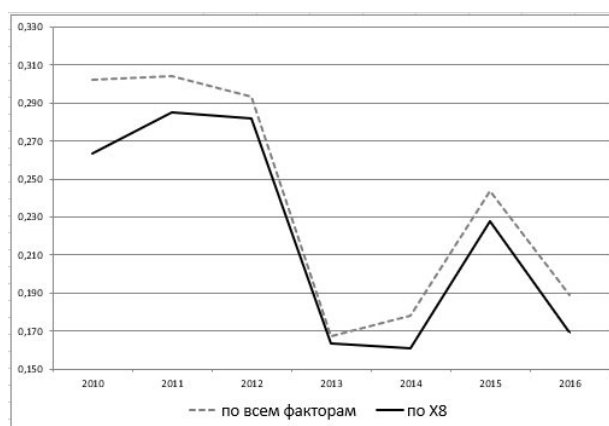


Рис. 4. Динамика коэффициента R^2 для Y_2 для человеческого потенциала

Таблица 4. Динамика статистически значимых факторов инфраструктурного потенциала для переменных Y_1 и Y_2 и коэффициентов детерминации R^2

Год	Показатель Y_1			Показатель Y_2		
	R^2 для всех факторов	Значимые факторы	R^2 для X_{10}	R^2 для всех факторов	Значимые факторы	R^2 для X_{11}
2010	0,220	X_9, X_{10}	0,143	0,109	X_{11}	0,082
2011	0,221	X_9, X_{10}	0,155	0,324	X_{10}, X_{11}	0,272
2012	0,073	-	-	0,164	X_{11}	0,148
2013	0,103	-	-	0,076	X_{11}	0,068
2014	0,060	-	-	0,106	X_{11}	0,062
2015	0,073	-	-	0,017	X_9	0,008
2016	0,138	-	-	0,171	X_{11}	0,145

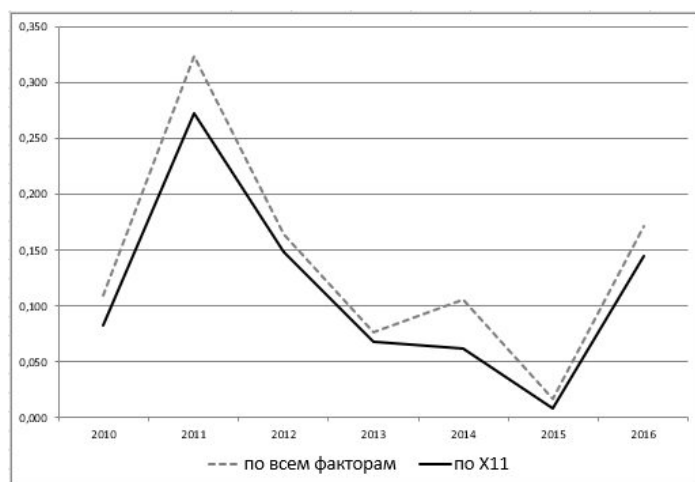


Рис. 3. Динамика коэффициента R^2 для Y_1 для человеческого потенциала

4. Выводы

Из 11 рассмотренных факторов производственного потенциала на ВРП на душу населения (Y_1) на протяжении всего рассматриваемого периода значимо влияют следующие факторы:

- объём иностранных инвестиций на душу населения (X_2),
- доля занятых в обрабатывающих производствах в общей численности занятых (X_8),

На величину ввода основных фондов обрабатывающих производств (Y_2) значимо влияют следующие факторы:

- доля инвестиций в ВРП (X_1),
- доля занятых в обрабатывающих производствах в общей численности занятых (X_8),
- мощность электростанций (X_{11}).

При этом влияние некоторых факторов в 2014 году снижалось вследствие экономического кризиса.

5. Перспективы дальнейшего исследования

В работе [2] авторами установлено, что на величину ВРП на душу населения статистически значимое сильное влияние оказывают факторы стоимость основных фондов обрабатывающих производств на душу населения и фондоотдача обрабатывающих производств. А на величину ввода основных фондов на душу населения – стоимость основных фондов обрабатывающих производств на душу населения и степень износа основных фондов обрабатывающих производств. Использование всего массива значимых факторов позволит в дальнейшем исследовать региональные различия в развитии промышленного потенциала регионов Российской Федерации, а также составить корректный рейтинг регионов по уровню развития промышленного потенциала.

Библиографический список

1. Ларионов А.О. Оценка промышленного потенциала региона // Проблемы развития территорий. – 2015. – Вып. 2 (78). – С. 45–61.
2. Андреев А.С., Лискина Е.Ю. Моделирование влияния факторов производственного потенциала на экономическое развитие регионов России // Математика и естественные науки. Теория и практика: Межвуз. сб. науч. Тр. Вып. 14. – Ярославль: Издат. дом ЯГТУ, 2019.
3. Регионы России. Социально-экономические показатели: статистический сборник. 2011–2018 гг. [Электронный ресурс] // Федеральная служба государственной статистики. – URL: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/doc_1138623506156 (дата обращения 18.01.2019 г.).

УДК 519.766.26; ГРНТИ 27.03.33

ФУНКЦИЯ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ НЕЧЕТКОГО МНОЖЕСТВА: ПСИХОФИЗИЧЕСКИЙ ПОДХОД

К.В. Бухенский, А.Н. Конюхов, А.Б. Дюбуа, А.С. Сафoshкин
*Рязанский государственный радиотехнический университет,
Россия, Рязань, chronos@bk.ru*

Аннотация. Обсуждается возможность применения психофизических закономерностей для построения функций принадлежности нечетких множеств.

Ключевые слова: нечеткое множество, интуитивная функция принадлежности, психофизика, закон Вебера-Фехнера, закон Стивенса.

A MEMBERSHIP FUNCTION OF A FUZZY SET: PSYCHOPHYSICAL APPROACH

K.V. Bukhensky, A.N. Konyukhov, A.B. Dubois, A.S. Safoshkin
*Ryazan state radio engineering university,
Russia, Ryazan, chronos@bk.ru*

Abstract. The possibility of applying psychophysical laws in order to obtain a fuzzy set membership function is under discussion.

Keywords: fuzzy set, intuitive membership function, psychophysics, Weber-Fechner's Law, Stevens' Law.

Теория нечетких множеств и нечеткая логика, активно развиваемые в последние десятилетия, представляют собой фундамент для моделирования предметных областей, связанных с «расплывчатым» характером человеческого восприятия и мышления. Еще к началу прошлого столетия накопилась «критическая масса» новых вызовов к классической математической науке, суть которых по Чарльзу Пирсу заключается в том, что в современной логике недопустимо не учитывать неопределенность (vagueness), подобно тому как в реальной механике нельзя пренебрегать трением [1]. Пионерами в области создания математического

аппарата для решения подобных задач стали польский математик Ян Лукасевич, предложивший трехзначную логику, а также американский математик Лотфи Заде, расширивший бинарную логику до континуальной [2].

Напомним, что нечетким множеством (НМ) называется совокупность всех пар вида $\tilde{A} = \{ \langle x, \mu_{\tilde{A}}(x) \rangle \}$, где $x \in U$ – универсальное множество или «универсум», а $\mu_{\tilde{A}}(x)$ – функция принадлежности (ФП) элементов x множеству $\tilde{A}$, причем $0 \leq \mu_{\tilde{A}}(x) \leq 1$. Значение функции принадлежности $\mu_{\tilde{A}}(x)$ на конкретном элементе $x \in U$ называется *степенью принадлежности* элемента x нечеткому множеству $\tilde{A}$ [2].

Ключевой проблемой теории нечетких множеств является обоснование функции принадлежности в каждом конкретном случае, так как именно она является единственным исчерпывающим дескриптором НМ. Анализируя источники, несложно понять, что здесь вряд ли реализуемы единые подходы.

Среди многочисленных публикаций, посвященных методам оценки ФП, стоит отметить сборник фундаментальных исследований по проблемам теории нечетких множеств под редакцией Д.Дюбуа и Г.Прада [3]. Авторы раздела «Measurement of membership functions: theoretical and empirical work» отмечают, что различие понимания исследователями нечеткости как сущности приводит к вариациям в интерпретации самой функции принадлежности. Отсюда многообразие способов описания нечеткости и построения ФП.

Так, если процесс описания ФП НМ связать с особенностями человеческого восприятия и оценки моделируемого объекта, представляется естественным поискать возможные решения в сфере наук о человеке. В частности в *психофизике*, изучающей взаимосвязь между физическими характеристиками стимулов (раздражителей) и особенностями восприятия этих стимулов человеком. Строго говоря, психофизика считается разделом нейробиологии – науки, исследующей функции нервной системы, опосредующие связь между стимулами окружающей среды и эмоциональными, мыслительными, поведенческими реакциями организма (в более общем смысле – раздел *neuroscience*) [4].

Некоторые психофизические аспекты оценки ФП со стороны индивидуума кратко обобщаются в работе А.Пегат [5]. В ней введено понятие «*интуитивной функции принадлежности*», то есть ФП, формируемой человеком «подсознательно» в процессе интерпретации и классификации окружающих объектов, а также сформулированы несколько предположений относительно их свойств в виде так называемых *аксиом Шваба* (Schwab's axioms).

Аксиома 1. Интуитивные ФП нечетких множеств $\mu_{\tilde{A}}(x)$ должны быть непрерывными на всей своей области определения.

Аксиома 2. Первая производная интуитивной ФП по x является непрерывной на всей своей области определения.

Аксиома 3. Вторая производная интуитивной ФП по x является непрерывной на всей своей области определения.

Аксиома 4. Интуитивная ФП имеет минимальное значение кривизны в классе возможных ФП [5].

А.Пегат приводит следующие доводы в пользу перечисленных аксиом, опираясь на исследования в области классификации решений (К. фон Альтрок, 1993) [6]. Во-первых, субъективная оценка человеком степени принадлежности элемента x нечеткому множеству $\tilde{A}$ не изменяется скачкообразно при бесконечно малом изменении x . Во-вторых, сказанное справедливо и в отношении скорости изменения субъективной оценки x . Вместе с тем отсутствует убедительное обоснование аксиом 3 и 4, поэтому их можно считать просто некими эмпирическими соотношениями.

В качестве интуитивных ФП А.Пегат предлагает использовать гладкие (т.е. непрерывно-дифференцируемые) функции типа гауссовой, сигмоидной, гармонической, полино-

миальной порядка $k \geq 2$ [5]. Однако с точки зрения простоты оперирования нечеткими множествами зачастую предпочтительнее использовать кусочно-линейные ФП, особенно в условиях дефицита информации о моделируемом объекте. Это чаще всего треугольные

$$tr[a; m; b](x) = \max\left(\min\left(\frac{x-a}{m-a}, \frac{x-b}{m-b}\right), 0\right)$$

и трапециевидные

$$tz[a; m; n; b](x) = \max\left(\min\left(\frac{x-a}{m-a}, 1, \frac{x-b}{n-b}\right), 0\right)$$

функции [2]. Следует придерживаться правила: в конкретной ситуации соблюдать паритет между сложностью ФП и точностью модели.

В ряде случаев простейшие психофизические закономерности позволяют быстро построить кусочно-линейную функцию принадлежности. Для примера опишем ФП нечеткого множества «Спелые бананы». Выделим основной физический стимул, определяющий первичное восприятие объекта. Это цвет кожуры банана (длины волн отраженного света). Безусловно, психофизика цветового зрения весьма сложна, однако в данном примере ограничимся упрощенными рассуждениями. Глаз человека воспринимает электромагнитное излучение в диапазоне длин волн λ приблизительно от 400 до 800 нм. Тем самым определен универсум U , на котором будет задано НМ $\tilde{A}$ – «Спелые бананы». Носителем множества будет промежуток значений λ от 550 до 590 нм (длины волн различных оттенков желто-зеленого и желтого). Ядром множества будет диапазон λ от 575 до 585 нм (длины волн разных оттенков желтого).

Для простоты составим трапециевидную ФП следующего вида:

$$\mu_{\tilde{A}}(\lambda) = tz[550; 575; 585; 590](x) = \begin{cases} \frac{\lambda - 550}{25}, & \text{если } 550 \leq \lambda \leq 575 \\ 1, & \text{если } 575 < \lambda \leq 585 \\ \frac{590 - \lambda}{5}, & \text{если } 585 < \lambda \leq 590 \\ 0, & \text{в остальных случаях.} \end{cases}$$

Если мы хотим обеспечить большее соответствие аксиомам Шваба, можно сконструировать, например, гауссову функцию с ограниченным носителем [2].

Существует ряд более сложных психофизических характеристик и закономерностей восприятия, которые также можно использовать при построении интуитивных ФП. Во-первых, это *пороговость* ощущений, то есть существование наименьшей величины физической интенсивности стимула, воспринимаемого человеком (так называемый *нижний абсолютный порог* чувствительности). Во-вторых, наличие *верхнего абсолютного порога* чувствительности, который характеризует предел физиологических возможностей сенсорных систем. В-третьих, *дифференциальный порог (порог различения)*, то есть способность уверенного чувственного различения двух стимулов одинаковой природы лишь с того момента, как разница физической интенсивности этих стимулов превзойдет некоторое пороговое значение. Именно последняя особенность восприятия человека представляет наибольший интерес для оценки интуитивных ФП.

В XIX веке физиолог Эрнст Вебер поставил перед собой задачу нахождения зависимости между сферой физических стимулов, действующих на человека, и сферой возникаю-

щих субъективных ощущений. Исследователь обнаружил, что *минимально ощутимое различие* (*just noticeable difference*, JND) массы предметов испытываемым составляло 20 и 21 граммов, но если исходный предмет имел массу 40 грамм, то 2 грамма [7]. Схожий характер зависимости был обнаружен и в экспериментах с другими физическими стимулами (звук, тепло, электрический ток и др.). Тем самым был обоснован эмпирический закон Вебера

$$\frac{\Delta S}{S} = k,$$

где S – базовый (исходный) уровень стимула;
 ΔS – минимально ощутимое различие уровней физического стимула;
 k – эмпирическая константа (отношение Вебера), зависящая от вида физического стимула (табл. 1) [8].

Таблица 1. Значения отношения Вебера для некоторых стимулов

Ощущение	Физический стимул	Отношение Вебера *
Высота звука	Частота, Гц	0,003
Яркость белого света	Яркость, кд/м ²	0,017
Вес предметов	Вес, Н или масса, кг	0,02
Громкость звука	Звуковое давление, Па	0,1
Давление на кожный покров	Давление, Па	0,14
Вкус раствора поваренной соли	Концентрация NaCl, г/л	0,33

*Приведенные константы могут меняться в зависимости от условий проведения эксперимента, возраста и иных особенностей респондентов.

Используя закон Вебера, можно достаточно просто строить функции принадлежности, придерживаясь сравнительного подхода П.Цисно [9]. Рассматривая отдельно взятого индивидуума как «измерительный прибор» и предполагая, что нечеткость оценки генерируется существованием дифференциального порога восприятия (JND), можно рассчитывать степени принадлежности элементов методом сравнения:

$$\mu_A(x) = \frac{1}{1 + f(d_x)},$$

где d_x – расстояние от элемента x до некоторого эталона сравнения x_0 ;
 $f(d_x)$ – некая функция расстояния между элементами x универсума.

Для построения ФП методом сравнения можно использовать известные психофизические законы. Так, например, из закона Вебера следует, что $\Delta x = kx$, то есть известен «квант» неопределенности, связанный с каждым конкретным элементом x . Далее из анализа предметной области можно обосновать соответствие между Δx и $\Delta \mu$, после чего выстраивать ФП, начиная с исходного x_0 .

Немецкий психофизиолог Густав Фехнер несколько «доработал» закон Вебера, заключив, что интенсивность ощущения P в неких условных единицах пропорциональна логарифму физической интенсивности стимула

$$P = k \ln \frac{S}{S_0},$$

где S_0 – нижнее пороговое значение интенсивности стимула;
 k – константа Вебера [8].

Данный закон отражает особенности функционирования сенсорного аппарата человека, способного интерпретировать физические раздражители в громадном диапазоне интенсивностей. Например, наш слуховой аппарат способен воспринимать уровни звукового давления от $2 \cdot 10^{-5}$ Па (нижний порог слышимости) до 200 Па (болевого порог).

Позднее в 1961 году американский психолог Стенли Стивенс обнаружил, что интенсивность ощущения хорошо описывается степенной функцией величины стимула. Исследователь исходил из тех же предположений, что и Вебер: $\Delta S / S = \text{const} = k_1$, но допустил, что $\Delta P / P = \text{const} = k_2$; ($k_2 \neq k_1$). Если обозначить $k_1 / k_2 = \alpha$, то получим

$$\alpha \frac{\Delta S}{S} = \frac{\Delta P}{P},$$

откуда интегрируя – психофизический закон Стивенса

$$P = cS^\alpha,$$

где c – некоторая константа интегрирования [10].

Подчеркнем, что описанные выше закономерности являются эмпирическими и имеют ограниченную область применения, в частности удовлетворительно выполняются лишь вдали от порогов восприятия. Вместе с тем они вполне могут служить теоретической базой для построения ФП нечетких множеств в некоторых случаях.

Предположим, необходимо описать термы лингвистической переменной (ЛП) «Слышимость» – «тихо», «комфортно», «громко».

Психофизические наблюдения показывают, что человек воспринимает звук в широком диапазоне звуковых давлений: от 20 мкПа (соответствует 0 дБ) до 140 дБ (граница физиологических возможностей слухового аппарата человека). Поэтому можно предложить описание термов ЛП в соответствии с законом Вебера-Фехнера, используя логарифмическую шкалу (в децибелах, дБ):

$$LV = (\text{Слышимость}, T, U, G, S),$$

где $T = \{\text{тихо, очень тихо, очень очень тихо, ..., комфортно, громко, очень громко, ...}\};$

$U = [0; 140]$ – универсум возможных значений уровней звукового давления, дБ;

$G: \text{тихо} \in G, \text{комфортно} \in G, \text{громко} \in G$. Если $x \in G$, то (очень x) $\in G$;

$S: T \rightarrow \mathcal{F}(U): S(\text{тихо}) = s_1$, где $s_1 = tz[0, 0, 25, 40]$;

$S(\text{комфортно}) = s_2$, где $s_2 = tr[30, 50, 60]$;

$S(\text{громко}) = s_3$, где $s_3 = tz[55, 70, 140, 140]$;

$S(\text{очень}^n \text{тихо}) = s_1^n, S(\text{очень}^n \text{громко}) = s_3^n, n = 2, 3, \dots$ [11].

Основные термы лингвистической переменной «Слышимость» изображены на рисунке 1.

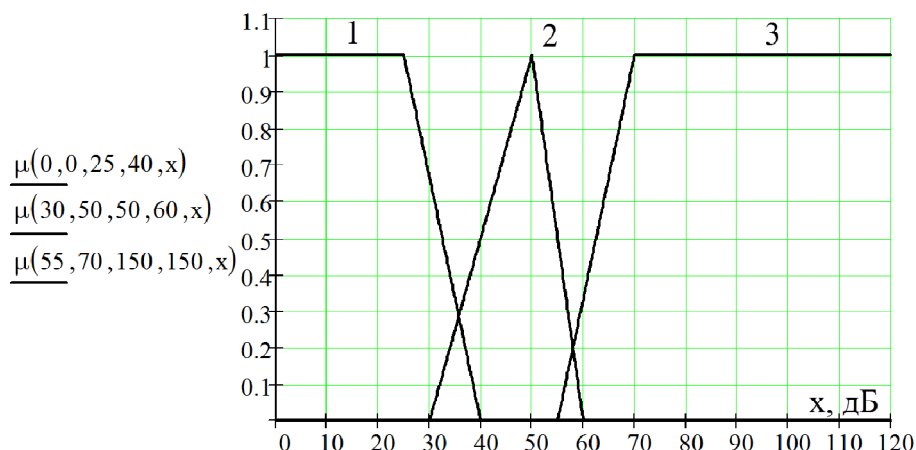


Рис. 1. Термы лингвистической переменной «Слышимость»:
1 – «Тихо», 2 – «Комфортно», 3 – «Громко»

Выводы

Психофизический подход к построению ФП целесообразен для нечетких множеств, описывающих градации интенсивности ощущений, например «холодно-комфортно-горячо», «тихо-комфортно-громко», «тускло-комфортно-ярко» и т.п. Можно предложить следующий алгоритм построения ФП на основе психофизического подхода:

- 1) выбор одной или нескольких физических характеристик объекта, определяющих ощущение;
- 2) выбор психофизической закономерности, устанавливающей связь между физической интенсивностью стимула и силой ощущения (восприятия);
- 3) установление зависимости степеней принадлежности от силы ощущения;
- 4) построение дискретной или непрерывной ФП в координатах «интенсивность стимула» – «степень принадлежности».

Библиографический список

1. Freeman, E. The Relevance of Charles Peirce. La Salle, Ill.: Monist Library of Philosophy, 1983, pp.157-158.
2. Основы теории нечетких множеств. Часть 1: учеб. пособие / А.Н.Конюхов, А.Б.Дюбуа, А.С.Сафошкин; Рязан. гос. радиотехн. ун-т. – Рязань, 2017. – 88 с.
3. Dubois, D., Prade, Henri M. Fundamentals of fuzzy sets. The Handbooks of Fuzzy Sets Vol. 7. Springer, 2000. – 672 p.
4. Roederer, J.G. The Physics and Psychophysics of Music: An Introduction. 4th edition. Springer Science+Business Media, 2008. – 228 p.
5. Piegat, A. Fuzzy modeling and control. Heidelberg, Physica-Verlag, 2010. – 728 p.
6. Altrock, C. Fuzzy logic. Band 1 Technologie. Munchen, BRD: R. Oldenburg Verlag GmbH, 1993. – 475 p.
7. Portugal, R., Svaite, B. (2011). Weber-Fechner Law and the Optimality of the Logarithmic Scale. Minds and Machines 21 (1): pp. 73-81.
8. Mishra, B.K. Psychology the study of human behaviour. PHI Learning Pvt. Ltd., 2016. – 644 p.
9. Zysno, P. (1981). Modeling membership functions, in B.B. Rieger (ed.), Empirical Semantics I, Vol. 1 of Quantitative Semantics, Vol. 12, StudienverlagBrockmeyer, Bochum, pp. 350–375.
10. Laming, D. The measurement of sensation. Oxford, UK: Oxford University Press, 1997. – 280 p.
11. Основы теории нечетких множеств. Часть 2: учеб. пособие / А.Н.Конюхов, А.Б.Дюбуа, А.С.Сафошкин; Рязан. гос. радиотехн. ун-т. Рязань, 2018. – 108 с.

УДК 378.4:004; ГРНТИ 89.15

БИБЛИОГРАФИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПО ПРОБЛЕМЕ МОНИТОРИНГА ОКОЛОЗЕМНОГО КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА. Статья 1. ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ МОНИТОРИНГА ОКОЛОЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА ОПТИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ

В.В. Миронов^{1*}, А.К. Муртазов², И.В. Усовик³¹Рязанский государственный радиотехнический университет

Российская Федерация, Рязань, mironov.v.v@rsreu.ru, (*correspondence author);

²Рязанский государственный университет,

Российская Федерация, Рязань, a.murtazov@365.rsu.edu.ru;

³Центральный научно-исследовательский институт машиностроения,

Российская Федерация, г. Королёв, Московская область, usovikiv@mail.ru .

Аннотация. Представлено библиографическое исследование под единым названием, состоящее из 7 самостоятельных статей (частей) под своими оригинальными названиями и содержащее **386** работ по системным вопросам мониторинга околоземного космического пространства, по различным аспектам практического использования методов контроля ближнего космоса. Перечислены публикации, в которых выявлены источники глобальной экологической опасности для околоземного космического пространства (ОКП), сформулированы основные цели мониторинга тел в околоземном пространстве. Проведен анализ моделей естественного и техногенного мусора в околоземном пространстве. Рассмотрены вопросы идентификации космических объектов, вопросы оценки воздействия космического мусора на состояние ОКП, биосферу и здоровье человека. Сформулированы новые актуальные задачи.

Ключевые слова: обзор библиографии, мониторинг космического пространства, наземные оптические и бортовые космические методы контроля, системный подход.

BIBLIOGRAPHIC RESEARCH ON THE NEAR-EARTH SPACE MONITORING PROBLEM. Article 1. OUTSTANDING PROBLEMS OF NEAR-EARTH SPACE OPTICAL MONITORING

V.V. Mironov^{1*}, A.K. Murtazov², I.V. Usovik³¹Ryazan State Radio Engineering University,

Russian Federation, Ryazan, mironov.v.v@rsreu.ru (*correspondence author)

²Ryazan State University,

Russian Federation, Ryazan, a.murtazov@365.rsu.edu.ru;

³Central Research Institute of Mechanical Engineering,

Russian Federation, Korolev, Moscow region, usovikiv@mail.ru.

The summary. A bibliographical research under a general title is presented. It consists of 7 separate articles (parts) under their original names and contains **386** papers on system issues of the near-Earth space monitoring, on various aspects of the near-Earth space control methods practical use. The publications identifying the sources of global environmental hazard for near-Earth space, formulating the main objectives of monitoring near-Earth bodies are listed. The analysis of near-Earth natural and technogenic debris models is carried out. The issues of space object identification, assessment of space debris impact on the NES state, biosphere and man's health are discussed. New up-to-date tasks are formulated.

Keywords: bibliography review, space monitoring, ground-based optical and airborne space control methods, system approach.

ВВЕДЕНИЕ КО ВСЕМУ ИССЛЕДОВАНИЮ

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

ИСЗ	—	искусственный спутник Земли
ГСО	—	геостационарная орбита
КА	—	космический аппарат
КО	—	космический объект
КМ	—	космический мусор

НОО	–	низкая околоземная орбита
ОКП	–	околоземное космическое пространство
СВО	–	средневысокая орбита
ПЗС	–	прибор с зарядовой связью

Учение академика В.И. Вернадского о биосфере и ноосфере – мировоззренческая база всего естествознания XX века – рассматривает мир в целом и Землю, в частности, как единую глобальную экосистему. Окружающей средой, естественным образом входящей в экосистему Земли, служит околоземное космическое пространство (ОКП), являющееся предметом неослабевающего внимания исследователей разных стран, включая и Россию.

Уже с начала космической эры (1957 г.) понятие окружающей среды закономерно стало включать в себя представление об околоземном космическом пространстве, которое тесно взаимодействует с составляющими «классической» среды обитания человека, осуществляя своеобразную связь между ними и космосом.

В связи с этим актуальной проблемой современной науки являются исследование засорения ОКП космическим мусором, изучение воздействия естественного и техногенного мусора на физическое состояние системы «ОКП – биосфера», в частности прямое воздействие мусора на биосферу Земли. За последние 40 лет зарегистрированы и занесены в международные каталоги свыше 16 000 случаев возвращения техногенных объектов в атмосферу Земли и их сгорания.

Масса техногенного мусора в ОКП заметно нарастает со временем, что создает реальную опасность как для космических аппаратов, в частности пилотируемых, так и непосредственно для биосферы Земли. Общее количество обнаруженных и сопровождаемых техническими средствами объектов с эквивалентным диаметром более 10 см превысило уже 14000. Среди этих объектов 94 % – это доля техногенного космического мусора.

Объем космического мусора растет за счет взаимных столкновений и взрывов космических аппаратов на орбитах. Так, 11.01.2007 г. на высоте 800 км китайская ракета уничтожила отработавший свой срок спутник Фэнъюнь, в результате чего появилось более 2000 новых обломков мусора размером в несколько см, и засорение ОКП увеличилось почти на 22 %. Позднее, 10.02.2009 г. на высоте около 790 километров зафиксирован первый случай столкновения двух ИСЗ. Спутник связи «Космос-2251», запущенный в 1993 году и выведенный из употребления, столкнулся с коммерческим спутником американской компании спутниковой связи «Iridium-33». В результате столкновения образовалось около 600 обломков, большая часть которых остается на прежней орбите.

Успешное освоение ОКП невозможно без знания его текущего состояния, без анализа источников и закономерностей существования и эволюции техногенного мусора. В свою очередь результаты исследований космического мусора теснейшим образом связаны с космодинамикой, геофизикой, экологией и безопасностью жизнедеятельности.

Кроме того, в последнее время в связи с разработкой проблемы «космической опасности» резко возрос практический интерес к засорению ОКП естественным мусором, к источникам этого засорения, к наличию в общем потоке метеороидов, опасных для Земли космических тел.

Известное Челябинское событие 2013 г. показало, что даже тела небольших размеров представляют опасность для биосферы и человека и способны вызвать региональную экологическую катастрофу.

Проблема развития метода оптического мониторинга объектов в геостационарной зоне околоземного пространства, опасных тел естественного происхождения в ближнем и дальнем космосе представляется в связи с этим весьма актуальной. В глобальном смысле проблема мониторинга ОКП обусловлена, с одной стороны, продолжающимся освоением ОКП, с другой - проблемами безопасности жизни на Земле.

Актуальность темы диктуется необходимостью получения детальной информации:

1) об оптических свойствах искусственных космических объектов для их идентификации;

2) об оптических свойствах поверхностей малых тел Солнечной системы (в том числе опасных) для решения проблемы их раннего обнаружения оптическими системами;

3) о содержании опасных тел в околоземном космическом пространстве для оценки риска функционирования космической техники и пилотируемой космонавтики.

Первые две проблемы связаны с решением основной задачи фотометрии астрономических объектов, которая впервые была сформулирована В.М. Григоревским (1976) и активно начала разрабатываться многими астрономическими и военными организациями страны с начала 80-х гг. XX века с развитием методов телевизионной астрономии. В решении проблемы принимали участие многие видные ученые из крупных организаций и отдельных обсерваторий и институтов.

Третья проблема весьма актуальна в связи с увеличивающейся метеороидной опасностью для космической техники при монотонно возрастающем числе объектов в ближнем космосе и свое развитие получила уже в XXI веке.

К тому же, несмотря на достаточно развитую сеть оптического мониторинга естественных и техногенных объектов в ОКП и сложившуюся систему контроля космического пространства, 35 лет назад отсутствовал единый подход к организации мониторинга ОКП оптическими средствами, который и разрабатывается в монографии.

Анализ проблемы показывал, что оптический мониторинг объектов в ОКП должен был основываться на единой методической базе и системном подходе и нуждался в усовершенствовании и оптимизации.

Таким образом, создание и системное развитие комплексной системы мониторинга естественных и техногенных объектов в околоземном пространстве оптическими средствами являются актуальной научной проблемой, имеющей важнейшее теоретическое и прикладное значение.

В работе решается крупная научно-техническая проблема, связанная с поиском, обнаружением и распознаванием тел различного происхождения в околоземном космическом пространстве (в том числе опасных космических тел) оптическими системами. Объектом исследования являются тела естественного и техногенного происхождения в околоземном космическом пространстве. Для специалистов в области мониторинга околоземного космического пространства, астрономов, преподавателей и аспирантов вузов с отделениями «Прикладная математика» или «Астрономия», или «Космические технологии».

Библиографическое исследование по первой части

В библиографии [1 - 60] перечислены публикации, в которых выявлены источники глобальной экологической опасности для околоземного космического пространства (ОКП), сформулированы основные цели мониторинга тел в околоземном пространстве. Проведен анализ моделей естественного и техногенного мусора в околоземном пространстве. Рассмотрены вопросы идентификации космических объектов, вопросы оценки воздействия космического мусора на состояние ОКП, биосферу и здоровье человека. Сформулированы новые актуальные задачи.

Околоземное космическое пространство (ОКП) представляет собой сложную открытую систему. Оно защищает биосферу от вредных корпускулярных и электромагнитных воздействий, препятствует проникновению в биосферу космической пыли и является важным звеном в сложной цепи солнечно-земных связей, определяющих климатические и экологические факторы окружающей среды.

Вместе с тем ОКП является источником глобальной экологической опасности:

- через ОКП на Землю проникают опасные космические тела (астероиды, ядра комет,

метеороиды), которые могут нанести невосполнимый урон биосфере и человечеству;

- техногенный мусор, образующийся в ОКП в результате космической деятельности и засоряющий его, при высоких концентрациях становится препятствием для космических исследований и опасным для биосферы;
- наличие в ОКП космических объектов военного назначения создает целый ряд специфических опасностей.

В связи с этим необходим мониторинг всех объектов естественного и техногенного происхождения в околоземном пространстве и в Солнечной системе с целью контроля и прогноза опасности для космической техники, биосферы и человека.

Как объект мониторинга ОКП может рассматриваться с различных аспектов в зависимости от исследуемых компонентов околоземной среды и методов мониторинга.

Однако основной целью мониторинга тел в околоземном пространстве является их поиск, обнаружение и идентификация, оценка всех видов опасности этих тел для космической деятельности и биосферы.

Мониторинг околоземного пространства с использованием оптических систем является одним из основных методов контроля его засорения.

Развитие методов и оптических систем позволило осуществлять мониторинг естественных и техногенных тел в ОКП, а также опасных в Солнечной системе.

Анализ моделей естественного и техногенного мусора в околоземном пространстве, вопросов идентификации космических объектов, вопросов оценки воздействия космического мусора на состояние ОКП, биосферу и здоровье человека, технических параметров оптических средств обнаружения и распознавания показал, что для системного решения основной задачи мониторинга ОКП оптическими системами необходима разработка:

- 1) общей концепции оценки физического состояния ОКП и его воздействия на биосферу;
- 2) методики идентификации тел естественного и искусственного происхождения в космическом пространстве по данным их мониторинга оптическими системами;
- 3) критериев обнаружения тел в ОКП и опасных тел в Солнечной системе оптическими средствами;
- 4) моделей риска в околоземном пространстве.

Библиографический список к первой части

1. Адушкин В.В., Козлов С.И., Петров А.В. Экологические проблемы и риски воздействий ракетно-космической техники на окружающую среду: справочное пособие. – М.: Анкид, 2000. – 638 с.
2. Агапов В.М. Прикладная математика и проблема космического мусора // ПулКОН. – 20.11.2008.
3. Бармин И.В., Кулагин В.П., Савиных В.П., Цветков В.Я. Околоземное космическое пространство как объект глобального мониторинга // Космонавтика и ракетостроение. – 2013. - № 4. – С. 4-9.
4. Багров А.В. Перспективы развития наземной сети станций оптических наблюдений // Столкновения в околоземном пространстве (космический мусор). – М.: Космосинформ, 1995. - С. 272-287.
5. Багров А.В., Выгон В.Г., Бондарь С.Ф. Задачи оперативных наблюдений тел естественного происхождения, движущихся через околоземное космическое пространство // Околоземная астрономия-2003. – СПб: 2003. - Т. 2. – С. 29-41.
6. Багров А.В. Метеорные исследования в начале нового столетия: международная конференция «Околоземная астрономия-2009». – Казань: 24-28 августа 2009.
7. Бусарев В.В., Шевченко В.В., Сурдин В.Г. Физические условия вблизи Луны и планет Солнечной системы // Модель космоса. Т. 1 / под ред. М.И. Панасюка. – М.: КДУ, 2007. – 63 с.
8. Вениаминов С.С., Червонов А.М. Космический мусор — угроза человечеству. – М.: ИКИ РАН, 2012. – 192 с.
9. Владимирский Б.М., Темурьянц Н.А., Мартынюк В.С. Космическая погода и наша жизнь. – Фрязино: Век-2, 2004. – 224 с.
10. Владимирский Б.М. Солнечно-биосферные связи. Полвека спустя после А. Л. Чижевского // История и современность. – 2009. Вып. №2(10).
11. Горшков В.Г. Физические и биологические основы устойчивости жизни. – М: ВИНТИ, 1995. - 470 с.
12. Ивлев Л.С. (Ред.) Экология космоса: материалы научных семинаров. – СПб: 2001. – 114 с.

13. Катасев Л.А. Исследование метеоров в атмосфере Земли фотографическим методом. - Л.: Гидрометеиздат, 1966.
14. Козлов А.И. Радиолокация. Физические основы и проблемы // Соросовский образовательный журнал. - 1996. - №5. - С. 70-78.
15. Копнин С.И., Попель С.И. Формирование нано- и микромасштабных частиц в атмосфере во время метеорных потоков и генерация инфразвуковых колебаний // Динамические процессы во взаимодействующих геосферах / под ред. С.Б. Турунтаева. - М.: ИДГ РАН, 2006. - С. 420-427.
16. Копнин С.И., Попель С.И., Минг Ю. Модуляционное возбуждение низкочастотных пылевых звуковых колебаний в нижней ионосфере Земли // Физика плазмы. - 2007. - Т. 33. - С. 323-336.
17. Лаврентьев В.Г., Олейников И.И. Автоматизированная система предупреждения об опасных ситуациях в ОКП (АСПОС ОКП). - 2011. Презентация.
18. Ларин И.К. Химия и алхимия озонового слоя // Наука и жизнь. - 2001. - N 1.
19. Лебединец В.Н. Пыль в верхней атмосфере и космическом пространстве. Метеоры. - Л.: Гидрометеиздат, 1980. - 247 с.
20. Логинов С.С., Пирогова А.М. Анализ технических возможностей различных средств получения информации о техногенной обстановке в околоземном космическом пространстве // Космонавтика и ракетостроение. - 2000. - №18. - С. 63-69.
21. Мазур И.И., Иванов О.П. Опасные природные процессы. - М.: Экономика, 2004. - 702 с.
22. Мешков М.Н. Радиолокационный комплекс контроля околоземного космического пространства «КО-БАЛБТ-РЛС» // Околоземная астрономия XXI века. - М.: ГЕОС, 2001. - С. 138-143.
23. Мещеряков С.А. Расчетные методы оценки риска повреждения КА вследствие столкновения с орбитальными частицами и метеороидами // Околоземная астрономия XXI века. - М.: ГЕОС, 2001. - С. 123-132.
24. Модель космоса. Т. 1, 2: Воздействие космической среды на материалы и оборудование космических аппаратов / под ред. М.И. Панасюка и Л.С. Новикова. - М.: КДУ, 2007.
25. Муртазов А.К. Экология околоземного космического пространства. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. - 304 с.
26. Муртазов А.К. Физические основы экологии околоземного пространства: учеб. пособие. - Рязань: РГУ имени С.А. Есенина, 2008. - 272 с.
27. Муртазов А.К. Мониторинг околоземного пространства оптическими средствами: монография. - Рязань: РГУ имени С.А. Есенина, 2010. - 248 с.
28. Муртазов А.К. Естественное загрязнение околоземного пространства как экологический фактор // Экологические системы и приборы. - 2011. - № 8. - С. 8-13.
29. Муртазов А.К., Багров А.В. Модели естественного загрязнения околоземного пространства // Экологические системы и приборы. - 2013. - № 1. - С. 28-34.
30. Муртазов А.К. Системный подход к организации мониторинга околоземного пространства оптическими средствами // Труды первого Рязанского международного экологического форума «Здоровая окружающая среда – основа безопасности регионов». - Рязань; 11-13 мая 2017 г. - С. 153-161.
31. Назаренко А.И. Построение высотно-широтного распределения объектов в околоземном космическом пространстве // Проблема загрязнения космоса (космический мусор). - М.: Космосинформ, 1993. - С. 92-100.
32. Назаренко А.И., Чернявский Г.М. Моделирование загрязнения космического пространства // Столкновения в околоземном пространстве (космический мусор). - М.: Космосинформ, 1995. - С. 104-129.
33. Назаренко А.И. Моделирование техногенного загрязнения околоземного космического пространства // Околоземная астрономия XXI века. - М.: ГЕОС, 2001. - С. 80-91.
34. Назаренко А.И. Оценка опасности столкновений элементов конструкции КА // Околоземная астрономия-2003. - СПб: ВВМ, 2004. - Т. 2. - С. 20-28.
35. Назаренко А. И. Моделирование космического мусора. М.: ИКИ РАН, 2013. - 216 с.
36. Намгаладзе А.А., Юрик Р.Ю. Математическое моделирование возмущений верхней атмосферы Земли. - М. РФФИ, 1998. - 10 с.
37. Новиков Л.С. Основы экологии околоземного космического пространства: учеб. пособие. - М.: Университетская книга, 2006. - 84 с.
38. Новиков Л.С. Воздействие твердых частиц естественного и искусственного происхождения на космические аппараты: учеб. пособие. - М.: Университетская книга, 2009. - 104 с.
39. Обрубов Ю.В. Взаимосвязь астероидов, комет и метеорных потоков // Соросовский образовательный журнал. - 2000. - №2. - С.107-112.
40. Плазменная гелиогеофизика. В 2 т. / под ред. Л.М. Зеленого, И.С. Веселовского. - М.: Физматлит, 2008.
41. Пудовкин О.Л. Основы теории оценки состояния техногенной космической обстановки. - М., 1997. - 214 с.
42. Рыхлова Л.В. Проблемы околоземной астрономии // Околоземная астрономия (космический мусор). - М.: Космосинформ, 1998. - С. 8-16.
43. Рыхлова Л.В. Засоренность околоземного пространства объектами техногенного происхождения // Околоземная астрономия-2003. - СПб: ВВМ, 2004. - Т. 2. - С. 11-19.

44. Рыхлова Л.В., Баканас Е.С. Околоземное космическое пространство: мусор искусственный и мусор естественный. – М.: Инасан, 2008. – Препринт. – 9 с.
45. Смирнов Н.Н. Эволюция космического мусора в околоземном пространстве // Успехи механики. – 2002. – № 2. – С. 37-104.
46. Сорока С.А., Калита Б.И., Мезенцев В.П., Каратаева Л.М. Инфразвук в атмосфере и его связь с космическими и геосферными процессами. – 2004. <http://isnlviv.ua>.
47. Хабарова О.В. Биоэффективные частоты и их связь с собственными частотами живых организмов // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. – 2002. – №5. – С. 56- 66.
48. Шематович В.И. Математическое моделирование процессов образования и эволюции техногенных частиц в окружающем космическом пространстве // Проблема загрязнения космоса (космический мусор). – М.: Космосинформ, 1993. – С. 105-113.
49. Юрасов В.С., Шаргородский В.Д. Локализация зон обзора космического мусора на низких орбитах при наблюдениях оптическими средствами: международная конференция «Околоземная астрономия-2009». – Казань, 24-28 августа 2009.
50. Cour-Palais B. G. Meteoroid Environment Model-1969. - NASA SP-8013, 1969.
51. Dikarev V., Grün E., Baggaley J., Galligan D., Landgraf M., Jehn R. The new ESA meteoroid model // Advances in Space Research. – 2005. - Vol. 35, Issue 7. – P. 1282-1289.
52. Drolshagen G., Dikarev V., Landgraf M., et al. Comparison of Meteoroid Flux Models for Near Earth Space // Earth, Moon, and Planets. – 2008. - V. 102, Issue 1-4. – P. 191-197.
53. Goldstein R.M., Goldstein S.J. Flux of Millimetric Space Debris // The Astronomical Journal. – 1995. - N110. - P. 1392-1396.
54. Grun A.F., Zook H.A., Fechtig H., Giese R.H. Collisional Balance of the Meteoritic Complex // Icarus. – 1985. - V. 62. – P. 224-227.
55. Jenniskens P. Meteor Stream Activity – II. Meteor Outbursts // Journal of Astronomy and Astrophysics. - 1995. - V. 295. - P. 206-235.
56. Jones J., Brown P. The Radiant Distribution of Sporadic Meteors // Planetary and Space Sciences. – 1994. - V. 42. - N 2. – P. 123-126.
57. Jones J., Brown P., Ellis K.J., Webster A.R., Campbell-Brown M., Krzeminski Z., Wery R.J. The Canadian Meteor Orbit Radar: system overview and preliminary results // Planetary and Space Science. – 2005. - V. 53. - Issue 4. – P. 413-421.
58. Koskinen H., Tanskanen E., Pirjola R., Pulkkinen A., Dyer C., Rodgers D., Cannon P., Mandeville J.-C., Boscher D. Space Weather Effects Catalogue // ESA Space Weather Study. – 2001. - Issue 2.2. - January 2. – 41 p.
59. Smith D. S., Scalo J., Wheeler J. C. Importance of Biologically Active Aurora-like Ultraviolet Emission: Stochastic Irradiation of Earth and Mars by Flares and Explosions. - astro-ph/0307543. – 2003. – 21 p.
60. Thomas B. C., et al. Gamma-Ray Bursts and the Earth: Exploration of Atmospheric, Biological, Climatic and Biogeochemical Effects // astro-ph/0505472. – 2005. - 68 p.

УДК 378.4:004; ГРНТИ 89.15

БИБЛИОГРАФИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПО ПРОБЛЕМЕ МОНИТОРИНГА ОКОЛОЗЕМНОГО КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА

Статья 2. ТЕЛА В ОКОЛОЗЕМНОМ ПРОСТРАНСТВЕ И ИХ МОНИТОРИНГ ОПТИЧЕСКИМИ СРЕДСТВАМИ

В.В. Миронов¹, А.К. Муртазов², И.В. Усовик³

¹Рязанский государственный радиотехнический университет
Российская Федерация, Рязань, mirosov.v.v@rsreu.ru;

²Рязанский государственный университет,
Российская Федерация, Рязань, a.murtazov@365.rsu.edu.ru;

³Центральный научно-исследовательский институт машиностроения,
Российская Федерация, г. Королёв, Московская область, usovikiv@mail.ru.

Аннотация. Для оптимального управления, принятия решений и обработки информации в оптических системах контроля космического пространства созданы модели и каталоги ожидаемых фотометрических параметров КО известной формы, конструкции и оптических свойств поверхности, позволяющие повысить эффективность распознавания космических объектов. Создан банк данных фотометрических характеристик материалов, которыми покрываются поверхности различных конструкций искусственных космических объектов. Представлен общий подход к решению обратной задачи фотометрии КО, опирающийся на

вероятностное сравнение экспериментальных кривых его блеска с кривыми блеска моделей из каталога. Проанализированы процессы излучения света опасными космическими телами и оценен ожидаемый блеск опасных космических тел. Проведена оценка ожидаемого блеска метеоров, вызываемых метеороидами различной массы и скорости входа в атмосферу. Разработаны методика определения геометрических условий освещения Солнцем и методика регистрации светового потока, рассеянного безатмосферными телами Солнечной системы и искусственными космическими объектами в околоземном пространстве, позволяющие оперативно учитывать условия их видимости и наблюдений. Определены геометрические условия мониторинга пролета метеорных частиц в атмосфере. Исследованы особенности приема и обработки информации в оптическом диапазоне спектра. Исследована проблема оптимизации оптических средств мониторинга космических объектов в околоземном пространстве. Проанализированы характеристики оптических средств мониторинга космических объектов. Оценены минимальные параметры приемных систем в оптическом мониторинге и потоки тел в ОКП, которые доступны для регистрации такими системами. Разработаны методика измерения и методика учета ошибок измерений.

Ключевые слова: обзор библиографии, методические основы, мониторинг космического пространства.

BIBLIOGRAPHIC RESEARCH ON THE NEAR-EARTH SPACE MONITORING PROBLEM

Article 2. OBJECTS IN NEAR-EARTH SPACE AND ITS' OPTICAL MONITORING

V.V. Mironov¹, A.K. Murtazov², I.V. Usovik³

¹Ryazan State Radio Engineering University,
Russian Federation, Ryazan, mironov.v.v@rsreu.ru;

²Ryazan State University,
Russian Federation, Ryazan, a.murtazov@365.rsu.edu.ru;

³ Central Research Institute of Mechanical Engineering,

Russian Federation, Korolev, Moscow region, usovikiv@mail.ru.

The summary. For optimal control, decision making, and information processing in the space control optical systems, built models and catalogs of expected space object photometric parameters of a certain shape, surface structure and optical properties, which makes it possible to raise the space object identification efficiency. The photometric performance database of materials coating the surfaces of variously structured artificial space objects is built up. A general approach to the space object photometry reverse problem solution is presented, which is based on the probable comparison of its experimental light curves with the light curves of the catalog models. The processes of dangerous space body light emission are analyzed, as well as the dangerous space body expected brightness is assessed. The expected brightness of meteors caused by meteoroids of different weight and their atmosphere entry velocity are assessed. The methods of defining the Solar illumination geometric conditions, as well as the methods of recording the light flux scattered by the Solar system atmosphereless bodies and near-Earth artificial bodies are developed, which makes it possible to quickly take account of their visibility and observation conditions. The geometric conditions of the meteor particles flight in the atmosphere are defined. The peculiarities of information reception and processing in the spectrum visual range are studied. The problem of optimizing near-Earth space object monitoring optical instrumentation is studied. The space object monitoring optical instrumentations' characteristics are analyzed. The minimum parameters of the receiving systems in the optical monitoring are assessed, as well as near-Earth body showers, which are available for registration by such systems. The methods of measuring and measuring error recording are developed.

Keywords: bibliography review, methodological foundations, monitoring of outer cosmic space.

Библиографическое исследование по второй части

В библиографии [1 - 79] раскрыто решение прямой задачи фотометрии безатмосферных тел Солнечной системы и искусственных космических объектов в околоземном пространстве. Для оптимального управления, принятия решений и обработки информации в оптических системах контроля космического пространства созданы модели и каталоги ожи-

даемых фотометрических параметров КО известной формы, конструкции и оптических свойств поверхности, позволяющие повысить эффективность распознавания космических объектов. Создан банк данных фотометрических характеристик материалов, которыми покрываются поверхности различных конструкций искусственных космических объектов. Представлен общий подход к решению обратной задачи фотометрии КО, опирающийся на вероятностное сравнение экспериментальных кривых его блеска с кривыми блеска моделей из каталога. Показано, что неоднозначность в решении обратной задачи можно снять, введя в решение задачи независимо определенные параметры рассеяния света поверхностями конструкций КО. Проанализированы процессы излучения света опасными космическими телами и оценен ожидаемый блеск опасных космических тел. Проведена оценка ожидаемого блеска метеорных явлений, вызываемых метеороидами различной массы и скорости входа в атмосферу. На основе анализа первых экспериментов по телевизионному мониторингу небесных тел разработаны методика определения геометрических условий освещения Солнцем и методика регистрации светового потока, рассеянного безатмосферными телами Солнечной системы и искусственными космическими объектами в околоземном пространстве, позволяющие оперативно учитывать условия их видимости и наблюдений. Определены геометрические условия мониторинга пролета метеорных частиц в атмосфере. Исследованы особенности приема и обработки информации в оптическом диапазоне спектра. Исследована проблема оптимизации оптических средств мониторинга космических объектов в околоземном пространстве. Проанализированы характеристики оптических средств мониторинга космических объектов. Оценены минимальные параметры приемных систем в оптическом мониторинге и потоки тел в ОКП, которые доступны для регистрации такими системами. Разработаны методика измерения и методика учета ошибок измерений. Полученные результаты дали возможность повысить эффективность систем оптического мониторинга и процедуру оперативного распознавания космических объектов по комплексу данных об их орбитах и конструкциях. Основной целью фотометрического мониторинга космических объектов является их распознавание - идентификация размеров, формы, отражательных свойств на основе полученных данных о величине зарегистрированного от них светового потока и его изменения с течением времени. Методика фотометрического мониторинга объектов в околоземном пространстве проводилась при организации первых телевизионных наблюдений геостационарных космических объектов, и включает в себя ряд задач, решение которых определяет применение оптических средств мониторинга объектов и лежит в основе решения задач их распознавания.

Первая группа задач – решение прямой задачи фотометрии космических объектов:

- 1) решение прямой (и общая постановка обратной задачи) фотометрического мониторинга космических объектов; определение ожидаемого блеска опасных естественных тел и техногенных объектов заданной конструкции; определение оптических свойств и классификация техногенных и естественных космических поверхностей; определение на основе этих исследований ожидаемого видимого блеска космических объектов естественного и техногенного космического происхождения; определение ожидаемого блеска метеоров при пролете метеороидов через атмосферу.

Вторая группа задач – разработка методов определения геометрических условий наблюдения объектов и причин изменения их видимого и измеряемого блеска:

- 2) разработка методики определения геометрических условий освещения Солнцем и регистрации светового потока, рассеянного безатмосферными телами Солнечной системы и искусственными космическими объектами в околоземном пространстве; определение геометрических условий мониторинга пролета метеорных частиц в атмосфере; исследование особенностей оптического диапазона пассивного приема информации и характеристик оптических средств мониторинга космических объектов.

Третья группа задач определяется решением обратной задачи фотометрии космических объектов:

3) разработка методов решения обратной задачи фотометрии космических объектов, разработка метода физического моделирования оптических характеристик космических объектов, получение спектральных индикатрис рассеяния материалов космических и техногенных поверхностей, полей рассеяния моделей космических объектов, проведение на их основе и данных фотометрии космических объектов распознавания искусственных космических объектов, разработка критериев различия фотометрических характеристик техногенных и естественных поверхностей.

К четвертой группе задач относятся исследования, связанные с оптическим мониторингом метеорных явлений в околоземном пространстве:

4) разработка метода широкоугольного ПЗС-мониторинга опасных метеороидов в метеорных потоках, разработка критериев метеороидной опасности, разработка моделей метеороидного риска в околоземном пространстве

Решение этих задач связано с комплексными исследованиями в широкой области научных направлений: астрофизики Солнечной системы и околоземной астрономии, физики атмосферы, звездной и планетной фотометрии, математического и физического моделирования, теории риска, теории систем, теории оптических приборов и т.д.

Библиографический список ко второй части

1. Абраменко А.Н., Павленко Е.П., Прокофьева В.В. Многоцветная фотометрия геостационарных спутников // Письма в АЖ. – 1983. -Т. 9. – С. 376 - 380.
2. Адушкин В.В., Козлов С.И., Петров А.В. Экологические проблемы и риски воздействий ракетно-космической техники на окружающую среду: справочное пособие. – М.: Анкид, 2000. – 638 с.
3. Алешин В.П., Афанасьев В.О., Клименко С.В., Лавров В.В., Новгородцев Д.Д., Рындин Ю.Г. Методы компьютерной графики и индуцированного виртуального окружения в задачах обработки некоординатной информации. - Отчет по проекту РФФИ 05-07-90345. – М., 2005. – 31 с.
4. Акишин А.И., Новиков Л.С. Воздействие окружающей среды на материалы космических аппаратов. - М.: Знание, 1983. - 64 с.
5. Бабаджанов П.Б. Метеоры и их наблюдение. – М.: Наука, 1987. - 180 с.
6. Багров А.В., Выгон В.Г., Бондарь С.Ф. Задачи оперативных наблюдений тел естественного происхождения, движущихся через околоземное космическое пространство // Околоземная астрономия-2003. – СПб: 2003. – Т. 2. – С. 29-41.
7. Белошенков А.В., Куприянов В.В. Моделирование на ЭВМ блеска ГСС методом Монте-Карло // Наблюдения ИНТ. – М.: 1990. № 87. – С. 112-119.
8. Белошенков А.В., Куприянов В.В., Муртазов А.К. Создание каталога кривых блеска «типичных» моделей ГСС методом моделирования на ЭВМ // Наблюдения ИНТ. – М., 1994. - № 88. – С. 54.
9. Боярчук А.А. (Ред.). Угроза с неба: рок или случайность. – М.: Космосинформ, 1999. - 220 с.
10. Бронштэн В.А. Физика метеорных явлений. - М.: Наука, 1981. - 416 с.
11. Бурлак Н., Драгомирецкий В., Кошкин Н., Рябов А., Шакун Л. Наблюдения низкоорбитальных КО с телевизионной ПЗС-камерой // Материалы Международной научной конференции «Наблюдение околоземных космических объектов». – Звенигород, 23-25 января 2007.
12. Веверка Дж. Фотометрия поверхности спутников // Спутники планет / под ред. Дж. Бернса. – М.: Мир, 1980. – С. 203-243.
13. Великодский Ю.И. Влияние альбедо и рельефа на распределение яркости по диску Луны: дисс... канд. физ.-мат. наук – Харьков: 2002.
14. Верещагин С.И., Муртазов А.К., Ярошевский С.И. Модели для ожидаемого блеска СКО // Научно-методические материалы. – М.: в/ч 03444, 1983. - № 1.
15. Герелс Т. Фотометрия астероидов // Планеты и спутники / под ред. А. Дольфюса. – М.: Мир, 1974. – С. 367-430.
16. Григоревский В.М., Колесник С.Я. Отражение света космическими объектами с регулярной зеркальной поверхностью // Астрономический вестник. – 1978. Т. XII. - № 2. – С. 107-119.
17. Дмитриев А.Л. Оптические системы передачи информации: учеб. пособие. – СПб.: СПбГУИТМО, 2007. - 96 с.
18. Ивлев Л.С. (Ред.) Экология космоса: материалы научных семинаров. – СПб: 2001. – 114 с.

19. Класс Е. В., Ульянов С. А., Шаховский В.В. Моделирование блеска искусственных объектов на орбите Земли // Вестник СибГАУ. – 2011. - № 6. – С. 142-147.
20. Класс Е. В., Шаховский В. В., Бадюк К. В., Ульянов С. А. Учет шероховатости при расчете отражения оптического излучения в трехмерном объекте // Оптический журнал. – 2014. - Т. 81. - № 2. – С. 2 – 9.
21. Куприянов В.В. Вероятностный подход к решению обратной задачи спектрофотометрии // Наблюдения ИНТ. – 1990. - № 87. - С. 120-127.
22. Куприянов В.В., Белошенков А.В., Муртазов А.К. Моделирование на ЭВМ спектральных кривых блеска геостационарных спутников // РКТ. – 1991. Сер. 15. - Вып. 6. – С. 27-33.
23. Куприянов В.В., Белошенков А.В., Муртазов А.К. Определение спектральных альбедо покрытий компонент КО по его спектральным кривым блеска // РКТ. – 1991. - Сер. 15. - Вып. 6. – С. 49-51.
24. Курышев В.И., Муртазов А.К. Методы расчета блеска ИКО (обзор) // Рукопись деп. в ВИНТИ «Астрономический вестник». - 1986. № 6851. - 27 с.
25. Курышев В.И., Муртазов А.К. Физическое моделирование полей рассеяния ГСС // Наблюдения ИНТ. – 1989. - № 85. - С. 28-32.
26. Малинин В.В. Моделирование и оптимизация оптико-электронных приборов с фотоприемными матрицами. – Новосибирск: Наука, 2006.
27. Миронов А.В. Основы астрофотометрии. Практические основы фотометрии и астрофотометрии звезд. – М.: Физматлит, 2008.
28. Михайлец В.М. Моделирование кривых блеска ИСЗ на ЭВМ // Рукопись деп. в ВИНТИ УжГУ. - 1982. - №2666.
29. Мосин А.П. Регулярное отражение солнечного света выпуклым телом вращения с регулярной поверхностью // Астрономический циркуляр. - 1986. № 1459. - С. 3-5.
30. Мурина Т.А., Нежданова С.Н. Моделирование оптических характеристик космического мусора // Столкновения в космическом пространстве (космический мусор). – М.: Космосинформ, 1995. - С. 312–315.
31. Мурина Т.А. Оптические характеристики космических объектов // Экология космоса: материалы научных семинаров. – СПб: 2001. - С. 16.
32. Муртазов А.К. Лабораторная фотометрия ярких диффузных цилиндров // Рукопись деп. в ВИНТИ «Известия вузов СССР. Физика». - 1983. - № 6178. - 8 с.
33. Муртазов А.К. Результаты исследования оптических свойств покрытий ИНТ // Наблюдения ИНТ. - 1994. - № 88. - С. 54.
34. Муртазов А.К. Физическое моделирование оптических характеристик геостационарных ИСЗ с целью решения основной задачи их фотометрии // Наблюдения и динамика небесных тел: межвузовский сборник научных и научно-методических трудов. – Рязань, Ярославль: 1999. - С. 38-52.
35. Муртазов А.К. Оптические свойства поверхностей ИКО и техногенных отходов в космосе // Околоземная астрономия и проблемы изучения малых тел Солнечной системы. – М.: Космосинформ, 2000. - С. 262-268.
36. Муртазов А.К. Загрязненность околоземного пространства в период действия метеорных потоков // Околоземная астрономия-2003. – СПб: ВВМ, 2004. - Т. 1. – С. 248-251.
37. Муртазов А.К. Экология околоземного космического пространства. – М.: Физматлит, 2004. – 304 с.
38. Муртазов А.К. Прямая задача фотометрии при оптическом мониторинге космических объектов в околоземном пространстве // Известия вузов. Физика. – 2006. - № 11. - С. 67-71.
39. Муртазов А.К., Воскресенский А.В., Колосов Д.В., Титов П.В. Экологический мониторинг загрязнения околоземного пространства оптическими средствами // Экологические системы и приборы. – 2007. - № 3. – С. 24-26.
40. Муртазов А.К. Мониторинг естественного загрязнения околоземного пространства опасными метеорными телами // Экологические системы и приборы. – 2008. - № 6. – С. 8-10.
41. Муртазов А.К. Организация системы оптического мониторинга загрязнения околоземного пространства // Экологические системы и приборы. – 2009, № 1. – С. 28-32.
42. Муртазов А.К. Мониторинг околоземного пространства оптическими средствами: монография. – Рязань: РГУ имени С.А. Есенина, 2010. – 248 с.
43. Назаренко А.И. Построение высотно-широтного распределения объектов в околоземном космическом пространстве // Проблема загрязнения космоса (космический мусор). – М.: Космосинформ, 1993. - С. 92-100.
44. Ржига О.Н., Зайцев О.Л. Возможности радиолокационного комплекса Центра дальней космической связи под Евпаторией по исследованию загрязнения космического пространства // Околоземная астрономия (космический мусор). – М., 1998. - С. 118-127.
45. Слюсарев И.Г. Троянцы Юпитера и группа Гильды: физические свойства и происхождение: дисс...канд. физ.-мат. наук. – Харьков, 2015. – 192 с.
46. Сухов П. П., Карпенко Г.Ф., Епишев В.П., Мотрунич И.И. Фотометрические исследования ГСС «Интелсат 10-02». – 2011.
47. Сухов П.П., Сухов К.П. О некоторых проблемах идентификации геостационарных спутников по фотометрическим признакам // Кинематика и физика небесных тел. - 2015. Т. 31, № 6. – С. 70-77.

48. Тирский Г.А. Взаимодействие космических тел с атмосферами Земли и планет // Соросовский образовательный журнал. – 2000. - №5. - С. 76-82.
49. Федоров А. В. Основы устройства ракетно-космических комплексов: учеб. пособие. – М., 2012. – 243 с.
50. Шкуратов Ю.Г. Исследования обратного рассеяния света твердыми поверхностями небесных тел: теоретические модели оппозиционного эффекта // *Астрономический вестник*. – 1994. - Т. 28. – С. 155-171.
51. Abercromby Kira J., Rapp Jason, Bedard Donald, Seitzer Patrick, Cardona Tommaso, Cowardin Heather, Barker. Ed, Lederer Susan. Comparisons of a Constrained Least Squares Model versus Human-in-the-Loop for Spectral Unmixing to Determine Material Type of GEO Debris. Sixth European Space Debris Conference, Darmstadt, Germany, April 2013.
52. Bédard D. Spectrometric Characterization of Artificial Earth-Orbiting Objects: Laboratory and Observational Experiments. PhD thesis, Royal Military College of Canada, September 2013.
53. Bédard D., Seitzer P., Willison A., Somers P. In-situ vis/nir measurements of space environment effects on spacecraft surfaces. In: AMOS Technologies Conference, 20 – 23 September 2016, Maui, Hawai'i.
54. Cappelary J.O., McLaughlin W.I. Telescopic Observations of Lunar Missions // *Space Flight*. – 1971. - V. 13. – P. 363-367.
55. Cowardin H., Abercromby K., Barker E., Seitzer, P., Mulroney M., Schildknecht T. An Assessment of GEO Orbital Debris Photometric Properties Derived from Laboratory-Based Measurements. In: AMOS Technical Conference, Wailea, Maui, Hawaii. 2009.
56. Cowardin H.M. Characterization of Orbital Debris Objects over Optical Wavelengths via Laboratory Measurements. Ph.D. thesis, University of Houston. 2010.
57. Emmons R.H., Rogers C.L., Preski R.L. Photometric Observations of Artificial Satellites for Determining Optical and Physical Characteristics // *The Astronomical Journal*. – 1967. - V. 72. – P. 939-944.
58. Giese R.H. Altitude Determination From Specular and Diffuse Reflection by Cylindrical Satellites // *SAO Special Reports*. – 1963. P. 127.
59. Giles A.B., Hill K.M. Optical Observations of Geostationary Spin-Stabilities Satellites // *Astronomy and Space Science*. – 1988. - V. 147.
60. Hapke B.H. A Theoretical Photometric Function for the Lunar Surface // *Journal of Geophysical Research*. – 1963. - V. 68. – P. 4571-4586.
61. Harris A. W. Evaluation of CCD systems for Near-Earth-Object surveys. - In: Report of Near-Earth Object Survey Working Group (Ed. E. M. Shoemaker), appendix III. 1995.
62. Irvine W.M. The Shadow Effect of Diffuse Reflection // *Journal of Geophysical Research*. – 1966. - V. 71. – P. 2931-2937.
63. Jorgensen, K., Africano J., Hamada K., Sydney P., Stansbery E., Kervin P., Nishimoto D., Okada J., Thumm T., and Jarvis K. Using AMOS Telescope for Low Resolution Spectroscopy to Determine the Material Type of LEO and GEO Objects. s. 1. In: 2001-AMOS Technical Conference. Wailea, Maui, Hawaii.
64. Koshkin N., Shakun L., Korobeinikova E., Melikyants S., Strakhova S., Dragomiretsky V., Ryabov A., Golubovskaya T., Terpan S. Monitoring of space debris rotation based on photometry. *Odessa Astronomical Publications*. 2018. V. 31. - P. 179-185.
65. Lanczi E.R. Photometry of Precessing Torsos // *Journal of Optical Society of America*. - 1966. - V. 56. - P. 873-877.
66. Liemohn H.B. Optical Tracking of Deep-Space Probes // *Icarus*. – 1968. - V. 9. – P. 217–220.
67. Liemohn H.B. Optical Observations of Apollo-8 // *Sky and Telescope*. – 1969. - V. 37. – P. 156-160.
68. McCue G.A., Williams J.G., Morford J.M. Optical Characteristics of Artificial Satellites // *Planetary and Space Sciences*. – 1971. - V. 19. – P. 851.
69. Murtazov A.K., Efimov A.V., Kolosov D.V. Bright Perseids in 2007 // *WGN. The Journal of International Meteor Organization*. – 2008. - V. 36. - № 4. – P. 77-78.
70. Murtazov A. K. Physical simulation of space objects' spectral characteristics for solving the reverse problem of their photometry // *American Journal of Modern Physics*. – Science PG, 2013. - V 2.- №. 6. – P. 282-286.
71. Murtazov A.K. Comparison of space debris and asteroids photometric properties: International conference "Asteroids, Comets, Meteors", Helsinki, June 30 – July 4, 2014. Abstr. 9463.
72. Murtazov A.K. Using the eikonal model of rough surfaces' spectral albedo for solving their photometry direct problem // *Russian Physics Journal*. – 2014. - Vol. 57. - No 6, October. – P. 768-771.
73. Murtazov A.K. Comparison between space debris and asteroids' photometric properties. 2016. ResearchGate. DOI: 10.13140/RG.2.1.5042.0321. - 10 p.
74. Murtazov A.K. Physical simulation of asteroid and artificial earth satellite optical properties. *Astronomical and Astrophysical Transactions*. 2016. V. 39(3), issue 4. pp. 519-528.
75. Schildknecht T., Vannanti, A., Krag, H. (). Reflectance spectroscopy characterization of Space Debris. *Advances in Space Research*. 2017. March 2017.
76. Sitalo V.G. Materials Applied. Launch Vehicle and Spacecraft Manufacturing Process. New Composite Mate-

rials. Nondestructive Quality Control // Ukraine-Europe Cooperation in Space Research. EC ESA/NSAU Workshop. - Kyiv, 2004.

77. Sukhov P.P., Karpenko G.F., Sukhov K.P., Epishev V.P., Motrunych I.I., Kudzej I., Dubovsky P.A. On the advantages of photometric observations of the geostationary satellites at small phase angles. Odessa Astronomical Publications. 2014. V. 27/2. pp. 149-153.

78. Veverka J. The Physical Meaning of Phase Coefficients. In: Physical Studies of Minor Planets, Proceedings of IAU Colloq. 12, held in Tucson, AZ, March, 1971. Edited by T. Gehrels. NASA, SP 267, 1971.

79. Willison A., Bedard D. A Novel Approach to Modelling Spacecraft Spectral Reflectance. Advances in Space Research. 2016. V. 58, Issue 7. pp. 1318-1330.

УДК 378.4:004; ГРНТИ 89.15

БИБЛИОГРАФИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПО ПРОБЛЕМЕ МОНИТОРИНГА ОКОЛОЗЕМНОГО КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА

Статья 3. РАСПОЗНАВАНИЕ ОБЪЕКТОВ В ОКОЛОЗЕМНОМ ПРОСТРАНСТВЕ ПО ДАННЫМ ИХ ФОТОМЕТРИИ

В.В. Миронов¹, А.К. Муртазов², И.В. Усовик³

¹Рязанский государственный радиотехнический университет

Российская Федерация, Рязань, mironov.v.v@rsreu.ru;

²Рязанский государственный университет,

Российская Федерация, Рязань, a.murtazov@365.rsu.edu.ru;

³Центральный научно-исследовательский институт машиностроения,

Российская Федерация, г. Королёв, Московская область, usovikiv@mail.ru.

Аннотация. Представлено решение важных научно-практических задач в области распознавания искусственных космических объектов. Представлено математическое обоснование решения основной задачи фотометрии КО. Показано, что весьма важный вклад в блеск КО вносит функция взаимного затенения элементов конструкции поверхности. В случае сложной конструкции этот вклад является основным и его учет представляется достаточно серьезной и сложной задачей. Создан первый каталог блеска «средней» модели геостационарного КО. Показано, что решение обратной задачи сводится к вероятностному сравнению результатов фотометрических наблюдений с результатами численного моделирования блеска каталожных объектов, в которые введены данные об отражательных свойствах поверхностей элементов их конструкции. Сравнительный анализ результатов моделирования и данных мониторинга реальных объектов показал их хорошее совпадение. Решение прямой задачи фотометрии естественных небесных тел продемонстрировано на модели блеска астероидов в лагранжевых точках земной орбиты (земных астероидах-тройниках). Доказано, что оценка ожидаемого блеска земных тройников в рамках модели взаимных затенений элементами их шероховатых поверхностей оказалась близка к оценке блеска первого обнаруженного объекта. Результаты анализа этих расчетов показали возможность обнаружения земных тройников даже при использовании небольших телескопов. Разработан метод комплексного физического моделирования фотометрических и спектральных характеристик поверхностей космических объектов и безатмосферных тел Солнечной системы, полей рассеяния их моделей. Метод физического моделирования позволил создать банк спектральных индикатрис рассеяния техногенных и естественных поверхностей, полей рассеяния моделей искусственных космических объектов. Доказано, что полученные результаты дали возможность повысить эффективность систем оптического мониторинга, создать системы оперативного распознавания космических объектов оптическими средствами.

Ключевые слова: обзор библиографии, модели мониторинга космического пространства.

BIBLIOGRAPHIC RESEARCH ON THE NEAR-EARTH SPACE MONITORING PROBLEM

Article 3. OBJECTS IN NEAR-EARTH SPACE IDENTIFICATION BASED ON THE OPTICAL PHOTOMETRY DATA

V.V. Mironov¹, A.K. Murtazov², I.V. Usovik³

¹Ryazan State Radio Engineering University,
Russian Federation, Ryazan, mironov.v.v@rsreu.ru;

²Ryazan State University,
Russian Federation, Ryazan, a.murtazov@365.rsu.edu.ru;

³Central Research Institute of Mechanical Engineering,
Russian Federation, Korolev, Moscow region, usovikiv@mail.ru.

The summary. A solution of significant applied research tasks for artificial space object identification is presented. A mathematical background for the space object photometry main problem solution is introduced. It is shown, that quite a significant contribution to the space object brightness is made by the mutual shading of the surface design elements. In the context of a complicated design, this contribution is principal and its recording represents quite a serious and difficult task. The first catalog of a geostationary space object “averaged” model brightness is built up. It is demonstrated that the reverse problem solution amounts to probable comparison of photometric observation results with the results of catalog object numerical simulations in which the data of their structural element surface reflectance properties have been introduced. The comparative analysis of simulation results and real object monitoring data has shown their close agreement. The solution of natural celestial bodies photometry direct problem is demonstrated based on the asteroid brightness model in the Earth orbit Lagrangian points (Earth’s Trojan asteroids). It is proved that the assessment of the Earth Trojans’ expected brightness under the model of rough surface mutual shading appeared to be close to the assessment of the first recorded object’s brightness. The results of this computation analysis has shown the possibility of recording the Earth Trojans even while using small telescopes. The method of complex physical simulation of photometric and spectral characteristics of the Solar system space object and atmosphereless body surfaces and their models’ scattering fields has been developed. The physical simulation method has made it possible to build up a bank of spectral scattering indicatrices of man-made and natural surfaces and the scattering fields of artificial space object models. It is proved that the obtained results allowed to increase the efficiency of the optical monitoring systems, to set up the systems of space object quick (real time) identification by optical means.

Keywords: bibliography review, space monitoring models.

Библиографические исследования по третьей части

В работах, представленных в библиографии [1 – 43], представлено решение важных научно-практических задач в области распознавания искусственных космических объектов.

Представлено математическое обоснование решения основной задачи фотометрии КО.

Показано, что весьма важный вклад в блеск КО вносит функция взаимного затенения элементов конструкции поверхности. В случае сложной конструкции этот вклад является основным и его учет представляется достаточно серьезной и сложной задачей.

Создан первый каталог блеска «средней» модели геостационарного КО.

Показано, что решение обратной задачи сводится к вероятностному сравнению результатов фотометрических наблюдений с результатами численного моделирования блеска каталожных объектов, в которые введены данные об отражательных свойствах поверхностей элементов их конструкции.

Сравнительный анализ результатов моделирования и данных мониторинга реальных объектов показал их хорошее совпадение.

Решение прямой задачи фотометрии естественных небесных тел продемонстрировано на модели блеска астероидов в лагранжевых точках земной орбиты (земных астероидах-тройниках).

Показано, что оценка ожидаемого блеска земных троянцев в рамках модели взаимных затенений элементами их шероховатых поверхностей оказалась близка к оценке блеска первого обнаруженного объекта.

Анализ результатов этих расчетов показал возможность обнаружения земных троянцев даже при использовании небольших телескопов.

Разработан метод комплексного физического моделирования фотометрических и спектральных характеристик поверхностей космических объектов и безатмосферных тел Солнечной системы, полей рассеяния их моделей.

Метод физического моделирования позволил создать банк спектральных индикатрис рассеяния техногенных и естественных поверхностей, полей рассеяния моделей искусственных космических объектов.

Полученные результаты дали возможность повысить эффективность систем оптического мониторинга, создать системы оперативного распознавания космических объектов оптическими средствами.

Библиографический список к третьей части

1. Айзенберг Ю.В. (Ред.). Справочная книга по светотехнике. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 472 с.
2. Антипова-Каратаева И.И. и др. Сравнительное изучение фотометрической фазовой функции образцов реголита, доставленного АМС Луна-16 и Луна-20 // Вестник Харьковского ун-та. – 1976. – № 137. – С. 3-8.
3. Банников и др. Характер рассеяния света некоторыми видами покрытий ИНТ // Наблюдения ИНТ. – 1994. – № 88. – С. 54.
4. Белошенков А.В., Куприянов В.В. Моделирование на ЭВМ блеска ГСС методом Монте-Карло // Наблюдения ИНТ. – М.: 1990. – № 87. – С. 112-119.
5. Белошенков А.В., Куприянов В.В., Муртазов А.К. Создание каталога кривых блеска «типичных» моделей ГСС методом моделирования на ЭВМ // Наблюдения ИНТ. – М.: 1994. – № 88. – С. 54.
6. Белошенков А.В., Васин В.В., Куприянов В.В., Седельников А.И. Методы решения параметрических обратных задач спектрофотометрии космических объектов // Наблюдения ИНТ. – М.: 1994. – № 88. – С. 55.
7. Бугаенко О.И. и др. Результаты лабораторных фотометрических измерений искусственных планет // Астрономия и астрофизика. – Киев, 1971. – № 14. – С. 33.
8. Верещагин С.И., Муртазов А.К., Ярошевский С.И. Модели для ожидаемого блеска СКО // Научно-методические материалы. – М.: в/ч 03444, 1983. – № 1.
9. Волков Г.Н., Куприянов В.В., Муртазов А.К., Остяков В.Г. Автоматизированная система для получения пространственных спектральных индикатрис рассеяния излучения поверхностей // Наблюдения ИНТ. – 1994. – № 88. – С. 53.
10. Герелс Т. Фотометрия астероидов. Планеты и спутники / под. ред. А. Дольфюса. – М.: Мир, 1974. – С. 367-430.
11. Кошкин Н.И. Лабораторное моделирование кривых блеска астероидов // Астрономический вестник. – 1988. – Т. 22. – С. 159-166.
12. Куприянов В.В. Вероятностный подход к решению обратной задачи спектрофотометрии // Наблюдения ИНТ. – 1990. – № 87. – С. 120-127.
13. Куприянов В.В., Белошенков А.В., Муртазов А.К. Моделирование на ЭВМ спектральных кривых блеска геостационарных спутников // РКТ. – 1991. – Сер. 15. – Вып. 6. – С. 27-33.
14. Куприянов В.В., Белошенков А.В., Муртазов А.К. Определение спектральных альбедо покрытий компонент КО по его спектральным кривым блеска // РКТ. – 1991. – Сер. 15. – Вып. 6. – С. 49-51.
15. Куприянов В.В., Муртазов А.К., Яковенко А.В. Эйконольная модель спектральных коэффициентов яркости шероховатых диэлектрических поверхностей ИСЗ // Наблюдения ИНТ. – 1994. – № 88. – С. 56.
16. Курышев В.И., Муртазов А.К., Верещагин С.И. Моделирование фотометрических характеристик астрономических объектов // Известия вузов СССР. Приборостроение. – 1985. – Т. XXVIII. – С. 81-85.
17. Курышев В.И., Муртазов А.К. Физическое моделирование фотометрических характеристик ИСЗ // Наблюдения ИНТ. – 1987. № 83. – С. 39-44.
18. Курышев В.И., Муртазов А.К. Физическое моделирование полей рассеяния ГСС // Наблюдения ИНТ. – 1989. № 85. – С. 28-32.
19. Курышев В.И., Муртазов А.К. Физическое моделирование спектральных характеристик астрономических тел // Наблюдения ИНТ. – 1990. – № 87. – С. 103-112.
20. Лупишко Д. Ф., Бельская И. Н. Вещество поверхности астероидов // Астрономический вестник. – 1991. – Т. 25. – № 1. – С. 5-26.
21. Мессиа А. Квантовая механика. – Т.1, 2. – М.: Мир, 1978.

22. Михайлец В.М. Моделирование кривых блеска ИСЗ на ЭВМ // Рукопись деп. в ВИНТИ УжГУ. - 1982. - №2666.
23. Муртазов А.К. Астероиды в лагранжевых точках орбиты Земли: тезисы Международного симпозиума «Астрономия 2005 - современное состояние и перспективы развития». – М.: Труды ГАИШ, 2005. - Т. LXXVIII. - С. 22.
24. Муртазов А. К. О возможности обнаружения астероидов-тройанцев на земной орбите: тезисы IX Международной конференции «Околоземная астрономия». - Терскол: РФ, 31.08-5.09. - 2015. - С. 79.
25. Муртазов А. К. Оптические свойства малых тел Солнечной системы и их моделирование в лаборатории // Российский научный журнал. - 2015. - № 6(49). С. 72-87.
26. Павлов А.В. Оптико-электронные приборы. – М.: Энергия, 1974.
27. Страйжис В.Л. Фотометрические системы // Методы исследования переменных звезд. - М.: Наука, 1971. - С. 225-278.
28. Шкуратов Ю. Г., Петров Д. В., Станкевич Д. Г., Зубко Е. С., Гринько Е. С. Рассеяние света поверхностями сложной структуры. 200 лет астрономии в Харьковском университете / под ред. Ю. Г. Шкуратова. – Харьков, 2008. - С. 75-92.
29. Ambrosio V., Burchi R., et al. Laboratory Photometry of Asteroids and Atmosphereless Bodies // Astronomy. & Astrophysics. - 1985. V. 44. - P. 427-430.
30. Barucci M. A., Casacchia R., Fulchignoni M., Burchi R., Dipaolantonio A., Giuliani C. Laboratory simulation of photometric light curves of the asteroids // Moon and the Planets. – 1982. - V. 27. - P. 387-395.
31. Barucci M.A., Fulchignoni M., Salvatori R. Asteroid Photometry Simulated in the Laboratory: Phase Functions of Some Meteorites Used as Irregular Asteroid Models // Lunar and Planetary Sciences. - 1984. - V. 15. - P. 35-36.
32. Chapman C. R. Interpretation of Spectra for 277 Asteroids. Meteoritics. - 1979. - V. 24. - P. 364-379.
33. Lanczi E.R. Photometry of Precessing Torsors // Journal of Optical Society of America. - 1966. - V. 56. - P. 873-877.
34. Lanczi E.R. Photometry of Precessing Cylinders // Journal of Optical Society of America. - 1967. - V. 56. - P. 202-206.
35. Liemohn H.B. Optical Tracking of Deep-Space Probes // Icarus. – 1968. - V. 9. – P. 217–220.
36. Matthews M.S. The Asteroid Conference in Tucson // Sky and Telescope. – 1971. - V.42. - P. 22-24.
37. Murtazov A. K. Physical simulation of space objects' spectral characteristics for solving the reverse problem of their photometry // American Journal of Modern Physics. – Science PG, 2013. - V 2. - № 6. – P. 282-286.
38. Murtazov A.K. Using the eikonal model of rough surfaces' spectral albedo for solving their photometry direct problem // Russian Physics Journal. – 2014. - № 6. October. – P. 768-771.
39. Oetking P. Photometric Studies of Diffuse Reflecting Surfaces with Applications to the Brightness of the Moon // Journal of Geophysical Research. - 1966. - V. 71. - P. 2505-2513.
40. Todd M., Tanga P., Coward D. M. and Zadnik M. G. An optimal Earth Trojan asteroid search strategy // MNRAS. - 2012. - V. 420. - L28-L32.
41. Veillet C., Connors M, Wiegert P., Innanen K., Mikkola S. Initial Results of A Survey of Earth's L4 Point for Possible Earth Trojan Asteroids // Icarus. - 2001.
42. Whiteley R., Tholen D. A CCD Search for Lagrangian Asteroids of the Earth-Sun System // Icarus. - 1998. - V. 136. - P. 154.
43. Wiegert P., Innanen K., Mikkola S. Earth Trojan Asteroids: A Study in Support of Observational Searches // Icarus. – 2000. - V. 145. – P. 33-43.

УДК 378.4:004; ГРНТИ 89.15

БИБЛИОГРАФИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПО ПРОБЛЕМЕ МОНИТОРИНГА ОКОЛОЗЕМНОГО КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА.

Статья 4. КЛАССИФИКАЦИЯ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОБЪЕКТОВ В БЛИЖНЕМ КОСМОСЕ

В.В. Миронов¹, А.К. Муртазов², И.В. Усовик³

¹Рязанский государственный радиотехнический университет

Российская Федерация, Рязань, mironov.v.v@rsreu.ru;

²Рязанский государственный университет,

Российская Федерация, Рязань, a.murtazov@365.rsu.edu.ru;

³Центральный научно-исследовательский институт машиностроения,
Российская Федерация, г. Королёв, Московская область, usovikiv@mail.ru.

Аннотация. Представлены результаты формирования банка данных для экспертных оценок возможностей распознавания КО оптическими системами.

В банк вошли данные экспериментальной реализации метода физического моделирования фотометрических и спектральных характеристик материалов покрытий КО и безатмосферных тел Солнечной системы, данные моделирования полей рассеяния КО, сравнительного анализа полей рассеяния КО и их моделей по критериям распознавания отдельных поверхностей. Полученные с помощью разработанных методов результаты позволили решить важную научно-техническую задачу – распознавание КО по данным их оптического мониторинга.

В библиографии: 1) изучена связь между амплитудой и шириной вспышки от зеркальных поверхностей конструкций ИСЗ, что позволяет организовывать поиск и наблюдения сверхдалеких космических объектов; 2) получены индикатрисы рассеяния излучения материалами покрытий КО, в т. ч. впервые получены пространственные индикатрисы рассеяния излучения одним из наиболее распространенных материалов покрытий КО – белой эмалью; 3) изучены особенности рассеяния света материалами покрытий КО и фрагментами искусственного космического мусора; 4) проведено исследование наклонов фазовых кривых изучаемых материалов при сравнении с наклонами фазовых кривых идеальных поверхностей и наклонами поверхностей безатмосферных тел Солнечной системы; 5) впервые получены спектры рассеяния излучения материалами покрытий элементов конструкций КО, проведен их анализ, рассчитаны показатели цвета; 6) создана классификация материалов покрытий ИКО и фрагментов космического мусора по их оптическим свойствам; 7) разработан критерий идентификации солнечных панелей в конструкциях искусственных небесных тел и в космическом мусоре. Его основой является «синяя» зеркальная вспышка; 8) разработан критерий идентификации поверхностей, покрытых белой краской, в конструкциях ИКО и космическом мусоре по «белой» зеркальной вспышке; 9) разработан критерий различия между естественными и техногенными поверхностями по наклону их фазовых кривых.

Разработанная классификация оптических свойств материалов покрытий позволяет по данным измерений альбедо и спектра (показателей цвета) разделить две составляющие космического мусора в околоземном пространстве – искусственную и естественную. На основании анализа данных о конструктивных параметрах геостационарных ИСЗ разработана расчетная модель блеска геостационарного ИСЗ, получены первые в стране оценки ожидаемого блеска геостационарных ИСЗ и их расчетные поля рассеяния. При этом впервые были сформулированы условия видимости геостационарных ИСЗ и выведены аналитические выражения для их расчета. Результаты показали, что метод физического моделирования дает реальные данные о полях рассеяния КО, позволяет экспериментально учитывать взаимные затенения элементов конструкций КО и однозначно решает прямую задачу фотометрии КО. Построение каталога полей рассеяния физических моделей КО дает возможность снизить неоднозначность при решении обратной задачи фотометрии КО – определение их формы, размеров и конструктивных особенностей по данным фотометрического мониторинга. Эти данные до сих пор используются при решении задач распознавания техногенных объектов в космосе по данным их оптических наблюдений.

Разработанный метод физического моделирования оптических характеристик космических поверхностей и полученные на его основе результаты: - создали базу для решения одной из основных задач мониторинга техногенного мусора в околоземном пространстве – идентификации объектов, то есть определения формы, размеров, оптического класса покрытий их поверхности; - дали возможность проводить постановку модельных экспериментов по условиям обнаружения, видимости и наблюдений естественных и техногенных объектов в ОКП; - создали основу для экспериментальных разработок по повышению эффективности оптических систем мониторинга околоземного пространства.

Результаты исследований использовались в дальнейшем в экспертных системах по распознаванию космических объектов на основе их фотометрического и спектрального мониторинга.

Ключевые слова: обзор библиографии, банк данных, оптические свойства космических объектов, распознавание покрытий.

BIBLIOGRAPHIC RESEARCH ON THE PROBLEM OF THE NEAR-EARTH SPACE MONITORING

Article 4. CLASSIFICATION OF NEAR-EARTH SPACE OBJECTS' OPTICAL PROPERTIES

V.V. Mironov¹, A.K. Murtazov², I.V. Usovik³

¹Ryazan State Radio Engineering University,
Russian Federation, Ryazan, mironov.v.v@rsreu.ru;

²Ryazan State University,
Russian Federation, Ryazan, a.murtazov@365.rsu.edu.ru;

³Central Research Institute of Mechanical Engineering,
Russian Federation, Korolev, Moscow region, usovikiv@mail.ru.

The summary. The results of setting up a data bank for the expert assessment of possibilities to identify space objects by optical systems are presented. The bank has included the data of experimental implementation of the method of physical simulation of photometric and spectral characteristics of space objects' and the Solar system atmosphereless bodies' coating materials, the data of space object scattering field simulation, of the comparative analysis of space object scattering fields vs their models according to the separate surface identification criteria. The results generated from the developed methods made it possible to solve the significant scientific and technical task – identification of space objects by their optical monitoring data.

In the reference index works: 1) the connection between the range and width of the flash from artificial earth satellite structure specular surfaces, which enables the organization of the search and observation of extra-long-range space objects; 2) obtained are the indicatrices of radiation scattering by space object coating materials, including the obtained for the first time spatial indicatrices of radiation scattering by one of the most frequently used space object coating materials – the white enamel; 3) studied are the peculiarities of light scattering by space object coatings and artificial debris fragments; 4) the investigation of phase curve slopes of the materials in question by their comparison with phase curve slopes of ideal surfaces and the Solar system atmosphereless bodies' surface slopes; 5) for the first time, the spectra of radiation scattering by space object structure element coating materials were generated, analyzed, and their color indices were calculated; 6) the classification of artificial earth satellite coating materials and space debris fragments according to their optical properties has been built; 7) the criterion for the identification of solar panels in the artificial celestial body structures and space debris has been developed; It's based on the "blue" specular flash. 8) the criterion for the identification of surfaces coated with white paint in the artificial space object structures and space debris according to the "white" specular flash has been developed; 9) the criterion for differentiating between natural and man-made surfaces by their phase curve slopes has been developed. The developed classification of the coating material optical properties makes it possible to separate the two components of near-Earth space debris – natural and man-made – according to the albedo and spectrum (color indices) measurement data. Based on the analysis of the geostationary artificial earth satellite construction parameters data the computation model of a geostationary artificial earth satellite has been developed, the first in the country assessments of the expected brightness the geostationary artificial earth satellites and their computed scattering fields have been developed. In addition to that, the conditions of geostationary artificial earth satellite visibility were first formulated and the analytical expressions for their computation - brought out. The results have shown that the physical simulation method provides real data on space object scattering fields, allows for experimental recording of space object structure element mutual shadings and explicitly solves the direct space object photometry problem. The development of the space object physical model scattering fields catalog makes it possible to reduce ambiguity in solving the reverse space object photometry problem (the definition of their shapes, dimensions, and structural peculiarities according to the photometric monitoring data). This data has been up to now used while solving the tasks of identifying objects in space according to their optical observations.

The developed method of space surface characteristics physical simulation and the obtained on this basis results:

- built up the basis for solving one of the main problems of monitoring man-made debris in the near-earth space – identification of objects, i.e. determination of their shapes, dimensions, their surface optical class;
- made it possible to carry out simulation experiments according to the conditions of detection, visibility, and observation of natural and man-made near-Earth space debris;

- laid the basis for exploratory developments in raising the efficiency of near-earth space monitoring optical systems.

The research results were subsequently used in expert systems related to detecting space objects based on their photometric and spectral monitoring.

Key words: bibliography review, data bank, space object optical properties, coating identification.

Библиографические исследования по четвертой части

В работах, входящих в библиографию [1 – 56], представлены результаты формирования банка данных для экспертных оценок возможностей распознавания КО оптическими системами. В банк вошли данные экспериментальной реализации метода физического моделирования фотометрических и спектральных характеристик материалов покрытий КО и безатмосферных тел Солнечной системы, данные моделирования полей рассеяния КО, сравнительного анализа полей рассеяния КО и их моделей по критериям распознавания отдельных поверхностей.

Полученные с помощью разработанных методов результаты позволили решить важную научно-техническую задачу – распознавание КО по данным их оптического мониторинга.

В ходе исследований:

1) изучена связь между амплитудой и шириной вспышки от зеркальных поверхностей конструкций ИСЗ, что позволяет организовывать поиск и наблюдения сверхдалеких космических объектов;

2) получены индикатрисы рассеяния излучения материалами покрытий КО, в т. ч. впервые получены пространственные индикатрисы рассеяния излучения одним из наиболее распространенных материалов покрытий КО – белой эмалью;

3) изучены особенности рассеяния света материалами покрытий КО и фрагментами искусственного космического мусора;

4) проведено исследование наклонов фазовых кривых изучаемых материалов при сравнении с наклонами фазовых кривых идеальных поверхностей и наклонами поверхностей безатмосферных тел Солнечной системы;

5) впервые получены спектры рассеяния излучения материалами покрытий элементов конструкций КО, проведен их анализ, рассчитаны показатели цвета;

6) создана классификация материалов покрытий ИКО и фрагментов космического мусора по их оптическим свойствам;

7) критерий идентификации солнечных панелей в конструкциях искусственных небесных тел и в космическом мусоре. Его основой является «синяя» зеркальная вспышка;

8) разработан критерий идентификации поверхностей, покрытых белой краской, в конструкциях ИКО и космическом мусоре по “белой” зеркальной вспышке при солнечном освещении;

9) разработан критерий различия между естественными и техногенными поверхностями по наклону их фазовых кривых.

Разработанная классификация оптических свойств материалов покрытий позволяет по данным измерений альбедо и спектра (показателей цвета) разделить две составляющие космического мусора в околоземном пространстве – искусственную и естественную.

На основании анализа данных о конструктивных параметрах геостационарных ИСЗ разработана расчетная модель блеска геостационарного ИСЗ, получены первые в стране оценки ожидаемого блеска геостационарных ИСЗ и их расчетные поля рассеяния.

При этом впервые были сформулированы условия видимости геостационарных ИСЗ и выведены аналитические выражения для их расчета.

Результаты показали, что метод физического моделирования дает реальные данные о полях рассеяния КО, позволяет экспериментально учитывать взаимные затенения элементов конструкций КО и однозначно решает прямую задачу фотометрии КО.

Построение каталога полей рассеяния физических моделей КО дает возможность снизить неоднозначность при решении обратной задачи фотометрии КО – определение их формы, размеров и конструктивных особенностей по данным фотометрического мониторинга.

Эти данные до сих пор используются при решении задач распознавания техногенных объектов в космосе по данным их оптических наблюдений.

Разработанный метод физического моделирования оптических характеристик космических поверхностей и полученные на его основе результаты:

- создали базу для решения одной из основных задач мониторинга техногенного мусора в околоземном пространстве – идентификации объектов, то есть определения формы, размеров, оптического класса покрытий их поверхности;

- дали возможность проводить постановку модельных экспериментов по условиям обнаружения, видимости и наблюдений естественных и техногенных объектов в ОКП;

- создали основу для экспериментальных разработок по повышению эффективности оптических систем мониторинга околоземного пространства.

Результаты исследований использовались в дальнейшем в экспертных системах по распознаванию космических объектов на основе их фотометрического и спектрального мониторинга.

В статьях, входящих в библиографию, представлены результаты формирования банка данных для экспертных оценок возможностей распознавания КО оптическими системами.

Обобщены результаты экспериментальной реализации метода физического моделирования фотометрических и спектральных характеристик материалов покрытий КО и безатмосферных тел Солнечной системы, моделирования полей рассеяния КО, сравнительного анализа полей рассеяния КО и их моделей. Полученные результаты позволяют решить важную научно-техническую задачу - распознавание поверхностей и КО по данным их оптического мониторинга.

Методика физического моделирования использовалась для создания банка данных о фотометрических и спектральных характеристиках поверхностей материалов покрытий искусственных космических объектов. При распаде объектов эти материалы образуют техногенный мусор. Проводились также исследования оптических характеристик шероховатых поверхностей, близких по строению к реголиту поверхностей безатмосферных тел Солнечной системы, у которых хорошо выражены эффекты взаимного затенения элементов поверхности.

Моделирование фотометрических кривых блеска геостационарных спутников Земли и их индикатрис рассеяния экспериментально решило прямую задачу фотометрии космических объектов и дало возможность построить поля рассеяния объектов различной конструкции и состава поверхности.

Сравнительный анализ базы данных модельных экспериментов с результатами оптического мониторинга объектов естественного и техногенного происхождения в космосе позволил провести их идентификацию.

В настоящей главе приведены результаты сравнительного анализа данных фотометрического и спектрального мониторинга геостационарных ИСЗ и экспериментальных полей рассеяния моделей ИСЗ с целью создания базы данных их оптических характеристик и идентификации элементов их конструкций.

Библиографический список к четвертой части

1. Абраменко А.Н., Павленко Е.П., Прокофьева В.В. Многоцветная фотометрия геостационарных спутников // Письма в АЖ. - 1983. Т. 9. - С. 376 - 380.
2. Акимов Л.А. О природе оппозиционного эффекта // Вестник Харьковского ун-та. - 1980. - № 204. - С. 3-12.
3. Аллен К.У. Астрофизические величины. - М.: Мир, 1977. - 446 с.
4. Анфимов Н.А., Васильев В.Н., Колюка Ю.Ф., Копятевич Р.М., Мишин Г.С., Шабуров П.Н., Григорьев В.М., Караваев Ю.С., Папушев П.Г., Тергоев В.И. Дистанционная диагностика характеристик и технического состояния КА с помощью телескопов // Окоземная астрономия XXI века. - М.: ГЕОС, 2001. - С. 14-23.
5. Багров А.В., Смирнов М.А. Распределение энергии в спектре ИНТ // Астрономический циркуляр. - 1984. - № 1327. - С. 7-8.
6. Багров А.В., Смирнов М.А. Об определении формы небесных тел по фотометрическим наблюдениям // Научные информации Астросовета АН СССР. - 1986. - № 58. - С. 152-161.
7. Багров А.В., Смирнов М.А. Спектральные наблюдения геостационарных спутников // Наблюдения ИНТ. - 1987. - № 83. - С. 8-22.
8. Багров А.В., Выгон В.Г., Рыхлова Л.В., Шаргородский В.Д. Исследование состояния аварийного геостационарного спутника по данным фотометрических наблюдений // Окоземная астрономия и проблемы изучения малых тел Солнечной системы. - М.: Космосинформ, 2000. - С. 276-290.
9. Банников и др. Характер рассеяния света некоторыми видами покрытий ИНТ // Наблюдения ИНТ. - 1994. - № 88. - С. 54.
10. Бодрова И.В., Наумов А.Д., Муртазов А.К. Алгоритм расчета показателя преломления диэлектрических покрытий удаленных объектов фотометрическими методами // Авиакосмическое приборостроение. - 2017. - № 4. - С. 56-62.
11. Веверка Дж. Фотометрия поверхности спутников // Спутники планет / под ред. Дж. Бернса. - М.: Мир, 1980. - С. 203-243.
12. Выгон В.Г., Багров А.В., Грошев В.Я. Определение формы и ориентации низкоорбитального спутника Ferret-D по данным фотометрических наблюдений // Окоземная астрономия (космический мусор). - М.: 1998, Космосинформ. - С. 143-157.
13. Герелс Т. Фотометрия астероидов // Планеты и спутники / под ред. А. Дольфуса. - М.: Мир, 1974. - С. 367-430.
14. Диденко А.В., Усольцева Л.А. Результаты анализа диффузных составляющих кривых блеска ГСС «Радуга» // Известия НАН Республики Казахстан. - 2008. - № 4.
15. Диденко А.В., Усольцева Л.А. Оптические характеристики геостационарных спутников Rhyolite, Magnum, Mentor // Известия НАН Республики Казахстан. - 2008. - № 4. - 7 с.
16. Захаров А.И., Миронов А.В., Прохоров М.Е., Бирюков А.В., Стекольников О.Ю., Тучин М. С. Космический эксперимент "Ли́ра-Б": цели и принципы реализации // Астрономический журнал. - 2013. - Т. 90. - № 3. - С. 223-241.
17. Колесник С.Я., Григорьевский В.М. Новый метод определения фазового коэффициента асферичных астероидов // Астрономический циркуляр. - 1979. - № 1043. - С. 6-7.
18. Колесниченко Г.Н., Миронов А.В., Васюнин А.А., Логунов С.В. Применение многоспектральных фотометрических данных в задаче распознавания космических объектов // Информационно-измерительные и управляющие системы. - 2010. - Т. 8. - № 5. - С. 86-92.
19. Крейнин Л.Б., Григорьева Г.М. Солнечные батареи в условиях воздействия космической радиации // Итоги науки и техники. - М.: ВИНТИ, 1979. - Т. 13. - С. 86-97.
20. Курышев В.И., Муртазов А.К. Физическое моделирование фотометрических характеристик ИСЗ // Наблюдения ИНТ. - 1987. - № 83. - С. 39-44.
21. Курышев В.И., Муртазов А.К. Физическое моделирование полей рассеяния ГСС // Наблюдения ИНТ. - 1989. - № 85. - С. 28-32.
22. Курышев В.И., Муртазов А.К. Физическое моделирование спектральных характеристик астрономических тел // Наблюдения ИНТ. - 1990. - № 87. - С. 103-112.
23. Лупишко Д.Ф., Бельская И.Н. Вещество поверхности астероидов // Астрономический вестник. - 1991. - Т. - 25. № 1. - С. 5-26.
24. Миронов В.В., Муртазов А.К., Бодрова И.В. Практическая реализация алгоритмов расчета поляризационных параметров светового потока на оптической установке модуляторного типа // Инженерная физика. - 2017. - № 2. - С. 67-71.
25. Мурина Т.А., Нежданова С.Н. Моделирование оптических характеристик космического мусора // Столкновения в космическом пространстве (космический мусор). - М.: Космосинформ, 1995. - С. 312-315.
26. Муртазов А.К. Лабораторная фотометрия ярких диффузных цилиндров // Рукопись деп. в ВИНТИ «Известия вузов СССР. Физика». - 1983. - № 6178. - 8 с.

27. Муртазов А.К. Измерения спектрального состава излучения, рассеянного покрытиями ГСС // Наблюдения ИНТ. – 1990. – № 85. – С. 43-46.
28. Муртазов А.К., Носова Н.Н., Прокофьева В.В. Фотометрические измерения яркости геостационарного спутника в полосах В, V, R в момент изменения его ориентации // Ракетно-космическая техника. – 1991. – Серия 2.
29. Муртазов А.К., Носова Н.Н., Прокофьева В.В. Определение ориентации и деталей конструкции геостационарного спутника по фотометрическим измерениям блеска // Ракетно-космическая техника. – 1991. – Серия 2.
30. Муртазов А.К. Результаты исследования оптических свойств покрытий ИНТ // Наблюдения ИНТ. – 1994. – № 88. – С. 54.
31. Муртазов А.К. Оптические свойства поверхностей ИКО и техногенных отходов в космосе // Околоземная астрономия и проблемы изучения малых тел Солнечной системы. – М.: Космосинформ, 2000. – С. 262-268.
32. Муртазов А.К. Экология околоземного космического пространства. – М.: Физматлит, 2004. – 304 с.
33. Муртазов А.К. Мониторинг околоземного пространства оптическими средствами: монография. – Рязань: РГУ имени С.А. Есенина, 2010. – 248 с.
34. Муртазов А.К. Оптические свойства малых тел Солнечной системы и их моделирование в лаборатории // Российский научный журнал. – 2015. – № 6 (49). – С. 72-87.
35. Муртазов А.К. Модель блеска земных астероидов-тройнецов и возможность мониторинга лагранжевых точек земной орбиты // Российский научный журнал. – 2016. – № 2. – С. 37-43.
36. Носова Н.Н. Анализ результатов TV-фотометрии ГСС с привлечением метода физического моделирования // Наблюдения ИНТ. – 1990. – № 86. – С. 48-61.
37. Abercromby K.J., Guyote M., Okada J., and Barker E. Applying Space Weathering Models to Common Spacecraft Materials to Predict Spectral Signatures. In: AMOS Technical Conference, Wailea, Maui, Hawaii. – 2005.
38. Bedard D. Spectrometric Characterization of Artificial Earth-Orbiting Objects: Laboratory and Observational Experiments. PhD thesis, Royal Military College of Canada. – 2013.
39. Belskaya I. N., Lvasseur-Regourd A.-C., Shkuratov Y. G., Muinonen K. Surface Properties of Kuiper Belt Objects and Centaurs from Photometry and Polarimetry // The Solar system beyond Neptune (Barucci A. M., et al., Eds), Univ. Arizona Press. 2008. – P. 115-127.
40. Buratti B.J., Veverka J. Photometry of Rough Surfaces. Role of Multiple Scattering // Icarus. – 1985. – V.61. – P. 320-328.
41. Cowardin H.M. Characterization of Orbital Debris Objects over Optical Wavelengths via Laboratory Measurements. Ph.D. thesis, University of Houston. – 2010.
42. Emmons R.H., Rogers C.L., Preski R.L. Photometric Observations of Artificial Satellites for Determining Optical and Physical Characteristics // The Astronomical Journal. – 1967. – V. 72. – P. 939-944.
43. Guilamnon J.C. New Space Paints: Proceedings of Third Symposium on Spacecraft. Materials in Space Environment. – Noordwijk, 1985. – P. 939.
44. Hapke B.H. A Theoretical Photometric Function for the Lunar Surface // Journal of Geophysical Research. – 1963. – V. 68. – P. 4571-4586.
45. Lanczi E.R. Photometry of Precessing Cylinders // Journal of Optical Society of America. – 1967. – V. 56. – P. 202-206.
46. Lupishko D. F. et al. Asteroid photometry // Kinematics and Physics of Celestial Bodies. – 2007. – V. 23:6. – P. 323-336.
47. Murtazov A.K. Ecology and Circumterrestrial Space // Astronomical and Astrophysical Transactions. – 2003. – V. 22. – P. 651-656.
48. Murtazov A. K. Physical simulation of space objects' spectral characteristics for solving the reverse problem of their photometry // American Journal of Modern Physics. – Science PG, 2013. – V 2.n. 6. – P. 282-286.
49. Murtazov A.K. Comparison between space debris and asteroids' photometric properties. 2016. ResearchGate. DOI: 10.13140/RG.2.1.5042.0321. – 10 p.
50. Murtazov A.K. Physical simulation of asteroid and artificial Earth satellite surface optical properties. Astronomical and Astrophysical Transactions (AApTr), 2016. – V. 29. Issue 4. – P. 519-528.
51. Murtazov A.K. Investigation of spacecraft surfaces optical properties. 2017. Research Gate. DOI: 10.13140/RG.2.1.5042.0321.
52. Pravec P., Harris A.W., Kusnirak P., Galad A., Hornoch K. Absolute magnitudes of asteroids and a revision of asteroid albedo estimates from WISE thermal observations // Icarus. – 2012. – V. 221:1. – P. 365-387.
53. Rabinowitz D. Photometric observations constraining the size, shape and albedo of 2003 EL61, a rapidly rotating, Pluto-sized object in the Kuiper belt // Astrophys. J. – 2006. – V. 639. – P.1238-1251.
54. Rabinowitz D., Schaefer B., and Tourtellote S. The diverse solar phase curves of distant icy bodies. Part 1: Photometric observations of 18 transneptunian objects, 7 Centaurs, and Nereid. // Astron. J. – 2007. – V. 133. – P. 26-43.

55. Shevchenko V.G., Lupishko D.F. Optical Properties of Asteroids from Photometric Data. Solar System Research. – 1998. – V.32. – No 3. – P.220-232.

56. Sukhov P.P., Karpenko G.F., Sukhov K.P., Epishev V.P., Motrunych I.I., Kudzej I., Dubovsky P.A. On the advantages of photometric observations of the geostationary satellites at small phase angles // Odessa Astronomical Publications. – Odessa, 2014. – V. 27/2. – P. 149-153.

УДК 378.4:004; ГРНТИ 89.15

БИБЛИОГРАФИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПО ПРОБЛЕМЕ МОНИТОРИНГА ОКОЛОЗЕМНОГО КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА

Статья 5. МОНИТОРИНГ ЕСТЕСТВЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ БЛИЖНЕГО КОСМОСА СРЕДСТВАМИ МЕТЕОРНОЙ АСТРОНОМИИ

В.В. Миронов¹, А.К. Муртазов², И.В. Усовик³

¹Рязанский государственный радиотехнический университет
Российская Федерация, Рязань, mironov.v.v@rsreu.ru;

²Рязанский государственный университет,
Российская Федерация, Рязань, a.murtazov@365.rsu.edu.ru;

³Центральный научно-исследовательский институт машиностроения,
Российская Федерация, г. Королёв, Московская область, usovikiv@mail.ru.

Аннотация. Разработана методика мониторинга опасных метеороидов в околоземном пространстве, включающая в себя модели и методы изучения распределения метеорного вещества в околоземном пространстве, модели и методы оптического мониторинга метеорных явлений, методы оперативной регистрации метеорных явлений. Методика повышает эффективность управления системами предупреждения космической опасности и метеороидного риска с использованием современных методов обработки информации. Создана широкоугольная оптическая ПЗС-система для проведения мониторинга опасных метеороидов, искусственных спутников Земли и различных явлений на низких околоземных орбитах с параметрами, отвечающими международным требованиям. Получены экспериментальные оценки средней пространственной плотности опасных метеороидов в метеорном потоке Персеиды в период действия этого потока на протяжении длительного промежутка времени. Разработана модель оценки риска опасных соударений космической техники с метеороидами в околоземном пространстве. Разработана оригинальная методика, упрощающая расчет средних значений метеороидного риска для КА с различными параметрами орбиты. Оценен риск соударения искусственного спутника Земли сферической формы, имеющего наклон орбиты, равный склонению радианта потока Персеиды, с опасными (более 1 мм) метеороидами метеорного потока Персеиды в период их максимума 2007-2013 гг. Оценен метеороидный риск основных метеорных потоков, через которые Земля проходит в течение года. Показано, что он близок к предельно допустимому, что требует учета при проектировании и эксплуатации космической техники.

Ключевые слова: обзор библиографии, космический мусор, контроль засорения, оптические средства.

BIBLIOGRAPHIC RESEARCH ON THE PROBLEM OF THE NEAR-EARTH SPACE MONITORING

Article 5. NEAR-EARTH SPACE NATURAL POLLUTION MONITORING USING METHOD OF METEOR ASTRONOMY

V.V. Mironov¹, A.K. Murtazov², I.V. Usovik³

¹Ryazan State Radio Engineering University,
Russian Federation, Ryazan, mironov.v.v@rsreu.ru;

²Ryazan State University,
Russian Federation, Ryazan, a.murtazov@365.rsu.edu.ru;

³Central Research Institute of Mechanical Engineering,
Russian Federation, Korolev, Moscow region, usovikiv@mail.ru.

The summary. A methodology has been developed for monitoring near-earth space hazardous meteoroids, which included models and methods of studying the meteoric matter in the near-earth space, models and methods of meteoric phenomena optical monitoring, methods of meteor phe-

nomena quick recording. The methodology increases the efficiency of managing the systems of preventing the space hazard and meteor risk by using modern information processing methods. A wide-angle optical CCD system has been built for monitoring hazardous meteoroids, artificial earth satellites and different phenomena on low near-Earth orbits having the parameters meeting the international requirements. Obtained are the experimental assessments of the average spatial density of hazardous meteoroids in the Perseids meteor shower during this shower's activity for a long period of time. An assessment model has been developed for hazardous collisions between space equipment and meteoroids in the near-Earth space. A know-how simplifying the calculation of meteor risk average values for space crafts with different orbit parameters has been developed. Assessed has been the risk of collision between a spherical artificial Earth satellite with the orbit slope equal to the inclination of the Perseids radiant and hazardous (above 1 mm) meteoroids of the Perseids during their maximum in 2007-2013. Assessed had also been the meteoroid risk of the main meteor showers through which the Earth passes during a year. It is shown that it is close to the allowable maximum, which requires recording in the design and operation of space technique.

Keywords: bibliography review, space debris, pollution control, optical means.

Библиографические исследования по пятой части

В статьях из библиографического списка [1 – 53] рассмотрена методика мониторинга опасных метеороидов в околоземном пространстве, включающая в себя модели и методы изучения распределения метеорного вещества в околоземном пространстве, модели и методы оптического мониторинга метеорных явлений, методы оперативной регистрации метеорных явлений. Методика повышает эффективность управления системами предупреждения космической опасности и метеороидного риска с использованием современных методов обработки информации.

Создана широкоугольная оптическая ПЗС-система (ПЗС - прибор с зарядовой связью) для проведения мониторинга опасных метеороидов, искусственных спутников Земли и различных явлений на низких околоземных орбитах с параметрами, отвечающими международным требованиям.

Получены экспериментальные оценки средней пространственной плотности опасных метеороидов в метеорном потоке Персеиды в период действия этого потока на протяжении длительного промежутка времени.

Разработана модель оценки риска опасных соударений космической техники с метеороидами в околоземном пространстве.

Разработана оригинальная методика, упрощающая расчет средних значений метеороидного риска для КА с различными параметрами орбиты. Оценен риск соударения искусственного спутника Земли сферической формы, имеющего наклон орбиты, равный склонению радианта потока Персеиды, с опасными (более 1 мм) метеороидами метеорного потока Персеиды в период их максимума 2007-2013 гг.

Оценен метеороидный риск основных метеорных потоков, через которые Земля проходит в течение года.

Показано, что он близок к предельно допустимому, что требует учета при проектировании и эксплуатации космической техники.

В библиографии представлены исследования засорения околоземного пространства телами естественного происхождения состоит в предотвращении их опасного воздействия на биосферу, жизнь и здоровье людей.

Исследования содержания метеорных тел в околоземном пространстве и метеорных потоках в последнее время приобрели актуальность в связи с проблемой экологической опасности от метеороидов сравнительно небольших размеров.

Анализ распределения тел в метеорных потоках носит фундаментальный характер с точки зрения вопросов космогонии Солнечной системы.

Кроме того, исследования распределения риска соударения метеороидов размерами более 1 мм с космической техникой весьма важны для долгосрочного прогноза развития

космических исследований с точки зрения безопасности космонавтов и сохранности космической техники, а также проблем экологии околоземного пространства.

Наблюдения метеоров координируются Международным метеорным обществом (*ИМО – International Meteor Organization*), которое недавно отметило свое 30-летие. В Европе, Северной Америке и Японии действует разветвленная сеть связанных между собой метеорных станций, первоначально созданных любительскими обществами, позволяющих проводить базисный мониторинг метеорных явлений.

В последнее время результаты метеорной астрономии привлекают внимание космических агентств (NASA, ESA) в связи с как фундаментальными, так и прикладными исследованиями по проблеме космической опасности. Астрономическая обсерватория РГУ имени С.А. Есенина также присоединилась к метеорным исследованиям.

В настоящей главе представлена новая методика широкоугольного ПЗС-мониторинга опасных метеороидов в метеорных потоках.

Проанализированы параметры широкоугольной оптической ПЗС-системы для проведения мониторинга опасных метеороидов, искусственных спутников Земли и различных явлений на низких околоземных орбитах.

Представлены полученные экспериментальные оценки средней пространственной плотности опасных метеороидов в метеорном потоке Персеиды в период действия этого потока на протяжении длительного промежутка времени.

Разработана модель оценки риска опасных соударений космической техники с метеороидами в околоземном пространстве.

Разработана оригинальная методика, оптимизирующая расчет средних значений метеороидного риска для КА с различными параметрами орбиты.

Библиографический список к пятой части

1. Бабаджанов П.Б. Метеоры и их наблюдение. – М.: Наука, 1987. – 180 с.
2. Багров А.В. Метеорные исследования в первой четверти XXI века // Околоземная астрономия-2009: сб. трудов. – М.: Геос, 2010. – С. 222-228.
3. Бусарев В.В., Шевченко В.В., Сурдин В.Г. Физические условия вблизи Луны и планет Солнечной системы // Модель космоса. Т. 1 / под ред. М.И. Панасюка. – М.: КДУ, 2007. С. 794-861.
4. Волков О.В., Горбенко А.В., Шевченко И.В. Защита российских модулей Международной космической станции от техногенных частиц // Известия Самарского научного центра РАН. – 2012. – Т. 14. – № 1. С. 480-482.
5. Кошкин Н.И., Бурлак Н.Р., Мотрич В.Д., Драгомирецкий В.В., Науменко Т.Н., Терпан С.С. Стандартизация и калибровка фотометрических измерений околоземных космических объектов // II Международная научная конференция «Наблюдение околоземных космических объектов». – Звенигород, 22-24 января 2008.
6. Козак П.Н. О внутренней точности цифровой фотометрии метеоров по телевизионным наблюдениям // Кинематика и физика небесных тел. 1998, Т. 14. – № 6. – С. 553-563.
7. Кохирова Г.И. Исследование физических характеристик метеороидов и связь метеороидов с околоземными объектами: дисс. д-ра физ.-мат. наук...СПб: 2012.
8. Круглый Ю.Н. Задачи ПЗС-фотометрии астероидов, сближающихся с Землей, в рамках проекта Пул-КОН // Рабочая встреча в Андрушивке 6-9 ноября 2009 г. – 34 с.
9. Миронов В.В. Методика оценки плотности космического мусора по данным бортовых регистрирующих систем // Космические исследования. – 2003. Т.41. № 2. С. 220–224.
10. Миронов В.В., Муртазов А.К. Модели метеорного риска в околоземном пространстве // Космические исследования. – 2015. – Т. 53. – № 6. – С. 469-475.
11. Муртазов А.К. Экология околоземного космического пространства. – М.: Физматлит, 2004. – 304 с.
12. Муртазов А.К., Воскресенский А.В., Колосов Д.В., Титов П.В. Экологический мониторинг загрязнения околоземного пространства оптическими средствами // Экологические системы и приборы. – 2007. – № 3. – С. 24-26.
13. Муртазов А.К. Перспективы развития исследований в области экологического мониторинга космоса // Российский научный журнал. – 2007. – №1. – С. 153-156.
14. Муртазов А.К. Мониторинг естественного загрязнения околоземного пространства опасными метеорными телами // Экологические системы и приборы. – 2008. – № 6. – С. 8-10.
15. Муртазов А.К. Исследования возможностей камеры КРС-650ВН для мониторинга околоземного про-

странства // II Международная научная конференция «Наблюдение околоземных космических объектов». - Звенигород, 22-24 января 2008. - STSO_net. - 3 с.

16. Муртазов А.К. Организация системы оптического мониторинга загрязнения околоземного пространства // Экологические системы и приборы. - 2009. - № 1. - С. 28-32.

17. Муртазов А.К., Ефимов А.В., Жабин В.С. Опасные метеороиды в потоке Персеиды // Околоземная астрономия-2009: сб. трудов. - М.: Геос, 2010. - С. 251-257.

18. Муртазов А.К. Мониторинг околоземного пространства оптическими средствами: монография. - Рязань: РГУ имени С.А. Есенина, 2010. - 248 с.

19. Муртазов А.К. Мониторинг загрязнений околоземного пространства оптическими средствами // Вестник РУДН. Экология и безопасность жизнедеятельности. - 2010. № 5. - С. 23-28.

20. Муртазов А.К. Загрязнение околоземного пространства метеорными телами потока Персеиды в 2007-2009 гг. // Экологические системы и приборы. - 2010. - № 11. - С. 8 - 13.

21. Муртазов А.К. Метеорные исследования как метод оценки экологического состояния околоземного пространства // Российский научный журнал. - 2010. - № 6 (19). - С. 238-247.

22. Муртазов А.К. Естественное загрязнение околоземного пространства как экологический фактор // Экологические системы и приборы. - 2011. - № 8. - С. 8-13.

23. Муртазов А.К. Организация комплексных телевизионных метеорных наблюдений в астрономической обсерватории Рязанского госуниверситета // Вестник СибГАУ. - 2011. № 6(39). - С. 109-113.

24. Муртазов А.К., Багров А.В. Модели естественного загрязнения околоземного пространства // Экологические системы и приборы. - 2013. - № 1. - С. 28-34.

25. Муртазов А.К., Ефимов А.В., Титов П.В. Статистика широкоугольных ПЗС-наблюдений ярких Персеид в 2007-2013 гг. // Сб. трудов международной конференции «V Бредихинские чтения» / под ред.: М. Е. Сачкова, А. П. Карташовой, В. В. Емельяненко. - М.: Изд. Янус-К. - 2014.

26. Муртазов А.К. Оценка риска соударений в околоземном пространстве с опасными Персеидами в 2007-2013 гг. // Сб. трудов международной конференции «V Бредихинские чтения» / Под ред.: М. Е. Сачкова, А. П. Карташовой, В. В. Емельяненко. - М.: Изд. Янус-К. - 2014.

27. Муртазов А.К. Оценка метеороидного риска в околоземном пространстве // Тезисы докладов Международной конференции «VI Бредихинские чтения». - Заволжск, Ивановская обл. - 4-8 сентября 2017 г.

28. Сёмкин Н. Д., Воронов К. Е., Пияков А. В., Пияков И. В. Регистрация космической пыли искусственного и естественного происхождения // Прикладная физика. - 2009. - №1. С. 86-102.

29. Сухов П.П., Волков С.К., Карпенко Г.И., Титенко В.В., Губин Е.К. О применении отечественных широкоугольных объективов для задач ККП (На основе пробных наблюдений, проведенных в Одесской АО) // Материалы Международной научной конференции «Наблюдение околоземных космических объектов». - Звенигород: 23-25 января 2007.

30. Сухов П. П., Волков С. К., Карпенко Г. Ф. Использование широкопольных линзовых объективов для контроля космического пространства // Космічна наука і технологія. - 2010. - Т. 16. - № 3. - С. 55-58.

31. Asher D., Barentsen G., et al. European Video Network: IMC 2010. September 17, 2010.

32. Beech M., Brown P., Jones J., Webster A.R. The danger to satellites from meteor storm. Adv. Space Res, 1997. V. 20. - pp. 1509-1512.

33. Crowther R. Space Junk-Protecting Space for Future Generations. Science, 2002. - V. 296 -. pp. 1241-1242.

34. Feller W. An Introduction to Probability Theory and its Application. - V. 1, 2. - John Wiley & Sons, Inc. New York. 1971.

35. Foschini L. The meteoroid hazard for space navigation: Second National Meeting of Planetary Sciences. - Italy. 1998. - 12 p.

36. Gural P. CAMS System and Software Development Progress and Meteor Camera Trade Study: IMC 2010. September 17, 2010.

37. Harris A. W. Evaluation of CCD systems for Near-Earth-Object surveys. - In: Report of Near-Earth Object Survey Working Group (Ed. E. M. Shoemaker), appendix III. 1995.

38. Koseki M. A simple model of spatial structure of meteoroid streams. WGN. The Journal of International Meteor Organization. - 2012. - V. 40:5. - pp. 162-165.

39. Margonis A. Results from the 2010 Perseids meteor campaign using the SPOSH cameras: IMC 2010. September 17, 2010.

40. Mironov V.V., Murtazov A.K. Model of meteoroid risk in near-Earth space // Cosmic Research. - 2015. Vol. 53, n. 6. - pp. 430-436.

41. Murtazov A.K., Efimov A.V., Kolosov D.V. Bright Perseids in 2007 // WGN. The Journal of International Meteor Organization. - 2008, V. 36, n. 4. - pp. 77-78.

42. Murtazov A.K. Wide-Angle TV-Observations of Bright Perseids in 2007 - 2009: International Meteor Conference 2010. September 16-19, Armagh. Northern Ireland (UK).

43. Murtazov A.K., Efimov A.V., Titov P.V. Double-Station Meteor Observations in Ryazan, Russia // In: Proceedings of the International Meteor Conference. La Palma, Canary Islands, Spain, 20-23 September, 2012. - International

Meteor Organization, Mattheessensstraat, 60, 2540 Hove, Belgium. – 2013. – pp. 192-196.

44. Murtazov A.K. Bright Perseids 2007-2013 statistics. Estimation of collision risk in circumterrestrial space // In European Planetary Science Congress 2013. London, UK, EPSC Abstracts, Vol. 8, EPSC2013-346-1.

45. Murtazov A.K. Bright Perseids 2007-2013 and Artificial Earth Satellites Collision Risk Assessment // WGN. The Journal of International Meteor Organization. – 2014. - V. 42. - N 2. – pp. 65-67.

46. Murtazov A. Assessing risk from dangerous meteoroids in main meteor showers. In: Proceedings of the International Meteor Conference Mistelbach, Austria, 27–30, August, 2015. - International Meteor Organization. / Ed. Jean-Louis Rault, Paul Roggemans. – pp. 155-156.

47. Murtazov A.K., Efimov A.V. Measurements of CCD optical linearity for magnitude determination during meteor observations. In: Proceedings of International Meteor Conference. Egmond, the Netherlands, June 2-5, 2016 / Ed. by Adriana and Paul Roggemans. - pp. 202-204.

48. Murtazov A. Analysis of meteoroid risk in circumterrestrial space. European Planetary Science Congress 2017. 17–22 September 2017. Riga, Latvia. EPSC Abstracts. V. 11. EPSC2017-18.

49. Murtazov A.K. Assessing the meteoroid risk in near earth space // Open Astronomy. 2018. Vol. 27, issue 1. - pp. 144–149.

50. Peterson C. Cloudbait Observatory Research Associate, DMNS. The Colorado Allsky Camera Network: IMC 2010. September 17, 2010.

51. Space Debris. A Report of ESA. Paris, 1988. № SP 1109.

52. Wiegert P., Vaubaillon J. The Sporadic Meteoroid Complex and Spacecraft Risk. In: Proceedings of the 9th International Conference “Protection of Materials and Structured from Space Environment / Ed. by J.I. Kleiman. – American Institute of Physics, 2009. – P. 567-571.

53. Yrjölä I. Meteor video camera. www.kolumbus.fi/oh5iy/astro/Ccd.html. Nov. 2003.

УДК 378.4:004; ГРНТИ 89.15

БИБЛИОГРАФИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПО ПРОБЛЕМЕ МОНИТОРИНГА ОКОЛОЗЕМНОГО КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА Статья 6. ПРОБЛЕМА ТЕХНОГЕННОГО ЗАСОРЕНИЯ ОКОЛОЗЕМНОГО КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА

В.В. Миронов¹, А.К. Муртазов², И.В. Усовик³

¹Рязанский государственный радиотехнический университет

Российская Федерация, Рязань, mironov.v.v@rsreu.ru;

²Рязанский государственный университет,

Российская Федерация, Рязань, a.murtazov@365.rsu.edu.ru;

³Центральный научно-исследовательский институт машиностроения,

Российская Федерация, г. Королёв, Московская область, usovikiv@mail.ru.

Аннотация. Представлен анализ техногенного засорения околоземного космического пространства, создаваемого космическим мусором, проблем и методов их решения. Приводятся и анализируются международные стандарты в части космического мусора, проводимые Международной организацией по стандартизации. Приводится классификация космического мусора. Анализируются основные источники образования космического мусора. Анализируются методы очищения космического пространства от космического мусора. Дана оценка эволюции техногенного засорения низких околоземных орбит при реализации активного удаления космического мусора.

Ключевые слова: обзор библиографии, техногенный космический мусор, контроль, методы и средства борьбы.

BIBLIOGRAPHIC RESEARCH ON THE PROBLEM OF NEAR-EARTH SPACE MONITORING Article 6. THE PROBLEM OF THE NEAR-EARTH SPACE TECHNOGENIC POLLUTION

V.V. Mironov¹, A.K. Murtazov², I.V. Usovik³

¹Ryazan State Radio Engineering University,

Russian Federation, Ryazan, mironov.v.v@rsreu.ru;

²Ryazan State University,

Russian Federation, Ryazan, a.murtazov@365.rsu.edu.ru;

³ Central Research Institute of Mechanical Engineering,
Russian Federation, Korolev, Moscow region, usovikiv@mail.ru.

The summary. The analysis of technogenic pollution of the near-earth space caused by space debris is presented, as well as problems and methods of their solving. Analyzed are the international standards relating to space debris established by the International Organization for Standardization. The space debris classification is provided. The main sources of space debris generation are analyzed. The methods of space debris elimination from the space are analyzed. An assessment is given of the evolution of technogenic pollution of low near-earth orbits with active space debris elimination.

Keywords: bibliography review, man-made space debris, control, methods and means of control.

Библиографические исследования по шестой части

В библиографии [1 – 34] представлен анализ техногенного засорения околоземного космического пространства, создаваемых космическим мусором, проблем и методов их решения. Приводятся и анализируются международные стандарты в части космического мусора, проводимые Международной организацией по стандартизации. Приводится классификация космического мусора. Анализируются основные источники образования космического мусора. Анализируются методы очищения космического пространства от космического мусора. Дана оценка эволюции техногенного засорения низких околоземных орбит при реализации активного удаления космического мусора.

Техногенное засорение ОКП является существенным негативным последствием его освоения и использования. Дальнейшее освоение ОКП невозможно без объективного анализа текущего состояния засорения, закономерностей его эволюции и источников образования. Особенно остро этот вопрос стоит по отношению к области низких околоземных орбит (НОО) с высотами до 2000 км, для которой техногенное засорение является максимальным, и возникла реальная опасность взаимных столкновений КО, включая КМ.

Космический мусор - это все находящиеся на околоземной орбите космические объекты искусственного происхождения (включая фрагменты или части таких объектов), которые закончили свое активное функционирование.

Проблему КМ обозначили еще в 80-х годах, однако серьезное внимание она получила позднее, с созданием в 1993 году Межагентского координационного комитета по космическому мусору (МККМ), а также с включением в 1994 году проблемы космического мусора отдельным пунктом в повестку Научно-технического подкомитета (НТПК) комитета Организации Объединенных Наций (ООН) по использованию космического пространства в мирных целях.

В настоящее время области ОКП определены следующим образом:

- область низких околоземных орбит: область ОКП, ограниченная высотой 2000 км (например, круговая орбита с периодом обращения 127 минут);
- область средневысоких околоземных орбит (СВО): область ОКП ограниченная высотами от 2000 км до 35586 км;
- область геостационарной (геосинхронной) орбиты (ГСО) представляет собой торообразную фигуру, ограниченную по высоте 35786 ± 200 км и наклонению 0 ± 15 град.

В 1999 году Научно-техническим подкомитетом Комитета ООН по космосу был опубликован «Технический доклад о космическом мусоре», после чего Межагентский координационный комитет по космическому мусору включил в свою повестку вопрос о разработке международных руководящих принципов по предупреждению образования космического мусора. В 2002 году был принят документ «Руководящие принципы МККМ по предупреждению образования космического мусора», который регулярно редактируется и обновляется на основе последних исследований. В этом документе были определены две защищаемых области в ОКП: НОО и ГСО.

В рамках работ Межагентского координационного комитета по космическому мусору в 2013 г. была утверждена работа по оценке эффективности влияния активного удаления космического мусора на состояние техногенного засорения в области НОО, в которой принимает участие 9 космических агентств. Основной целью исследования является количественная оценка использования активного удаления КМ для управления будущим состоянием техногенного засорения в области НОО и разработка технических основ для обоснования требований по активному удалению КМ. В рамках данной работы были утверждены основные исходные данные. Используются 12 сценариев, в каждом учитываются регулярные запуски новых объектов. Из них 3 сценария без активного удаления, в которых учитываются меры по ограничению техногенного засорения, - соответствие 30 %, 60 % или 90 % из запущенных объектов «правилу 25 лет» [новые запускаемые объекты либо должны быть уведены из области НОО сразу по окончании функционирования, либо должны быть переведены на орбиты со сроком орбитального существования не более 25 лет, на английском - Post Mission Disposal (PMD)]. Для оценки влияния активного удаления КМ [на английском - Active Debris Removal (ADR)] разработаны 9 сценариев, в которых помимо мер по ограничению учитывают одно из 3 значений количества уводимых в год объектов: 2, 5, 8 объектов в год с наибольшим значением произведения массы объекта на вероятность столкновения.

Библиографический список к шестой части

1. Космический мусор. В 2 кн. Кн. 1. Методы наблюдения и модели космического мусора / Под науч. ред. д.т.н., проф. Г.Г. Райкунова. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2014. – 248 с.
2. Космический мусор. В 2 кн. Кн. 2. Предупреждение образования космического мусора / Под науч. ред. д.т.н., проф. Г.Г. Райкунова. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2014. – 188 с.
3. IADC Space Debris Mitigation Guidelines [Электронный ресурс] / Inter-agency space debris coordination committee – Режим доступа: http://www.iadc-online.org/index.cgi?item=docs_pub (дата обращения: 24.05.2015).
4. Руководящие принципы Комитета ООН по космосу по предупреждению образования космического мусора. – Резолюция 62-й сессии Генеральной Ассамблеи ООН, A/RES/62/217 от 10.01.2008.
5. ГОСТ Р 52925-2008. Изделия космической техники. Общие требования к космическим средствам по ограничению техногенного засорения околоземного космического пространства. – Введ. 2009-01-01. – М.: Стандартинформ, 2008.
6. Kessler D.J., Cour-Palais B.G. Collision Frequency of Artificial Satellites: The Creation of Debris Belt // Journal of geophysical research. –1978. – V. 83, A6. – P. 2637-2646.
7. Kessler D.J. Collisional cascading the limits of population growth in low Earth orbit // Advances in Space Research. – 1991. – V.11. - № 12. – P. 63-66.
8. Назаренко А.И. Прогноз на 200 лет, синдром Кessler [Электронный ресурс] / – Режим доступа: <http://satmotion.ru/engine/documents/document85.pdf> (дата обращения: 24.05.2015).
9. Nazarenko A.I. Space debris status for 200 years ahead & the Kessler effect // 29-th IADC Meeting. – Berlin, Germany, 2011.
10. IADC Report AI 27.1. Stability of the Future LEO Environment [Электронный ресурс] / Inter-agency space debris coordination committee – Режим доступа: <http://www.iadc-online.org/Documents/IADC-2012-08,%20Rev%201,%20Stability%20of%20Future%20LEO%20Environment.pdf> (дата обращения: 4.05.2015).
11. Liou J.-C., Hall D.T., Krisko P.H., Opiela J.N. LEGEND - a three-dimensional LEO-to-GEO debris evolutionary model // Advances in Space Research. – 2004. – V. 34. - №5. – P.981-986.
12. Klinkrad H. Space Debris Models and Risk Analysis // – Chichester, UK: Praxis Publishing, 2006. – P.430.
13. Назаренко А.И. Моделирование космического мусора. – М.: ИКИ РАН, 2013. – 216 с.
14. Вениаминов С.С., Червонов А.М. Космический мусор – угроза человечеству. – М.: ИКИ РАН, 2012. – 192 с.
15. Технический доклад о космическом мусоре [Электронный ресурс] / UN – Режим доступа: <http://www.iadc-online.org/index.cgi?item=documents> (дата обращения: 24.05.2015).
16. Orbital debris quarterly news [Электронный ресурс] / – Режим доступа: <http://orbitaldebris.jsc.nasa.gov/newsletter/newsletter.html> (дата обращения: 24.05.2015).
17. Handbook for limiting orbital debris [Электронный ресурс] / – NASA, 2008. – Режим доступа: <http://www.hq.nasa.gov/office/codeq/doctree/ NHBK871914.pdf> (дата обращения: 24.05.2015).
18. History of on-orbit satellite fragmentations 14th edition [Электронный ресурс] / NASA, 2008. – Режим доступа: <http://orbitaldebris.jsc.nasa.gov/library/ SatelliteFragHistory/TM-2008-214779.pdf> (дата обращения: 24.05.2015).

19. Старков А.В. Синтез алгоритмов управления космическими аппаратами с учетом требований безопасности проведения динамических операций.: дис. канд.техн.наук по спец. 05.07.09: защищена 12.10.2012 в Московском авиационном институте (Национальный исследовательский университет).
20. Смирнов Н.Н. Эволюция «Космического мусора» в околоземном космическом пространстве // Успехи механики – 2002. – Т.1. - №2. – С. 13-104.
21. Лебедев А.А. Введение в анализ и синтез систем: учеб. пособие. – М.: Изд-во МАИ, 2001. – 351 с.
22. Lemmens S., Flohrer T. Review of global achievements in clearing LEO and GEO protected zones / 33rd IADC Meeting. – Houston, USA, 2015.
23. Juan Carlos Dolado Perez. Analysis of mitigation guidelines compliance at international level in low Earth orbit // 65th International Astronautical Congress. – 2014. IAC-14,A6,4,4,x21608.
24. Liou J.-C. An active debris removal parametric study for LEO environment remediation // Progress in Propulsion Physics. 2013. – V.4. – P.735-748.
25. J.-C. Liou, Nicholas L. Johnson. A sensitivity study of the effectiveness of active debris removal in LEO // Advances in Space Research. – 2011, – № 47. – P. 1865-1876.
26. Phipps C.R. ORION: Clearing near-Earth space debris using a 20-kW, 530 nm, Earth-based, repetitively pulsed laser // Laser and Particle Beams. – 1996. – V. - 14. - No. 1. – P. 1-44.
27. Space Debris. Hazard Evaluation and Mitigation. / Edited by Nickolay N. Smirnov. – Taylor & Francis Inc., 2001. – P. 248.
28. Action Item 31.5 Benefits of active debris removal in LEO in light of the investigation of uncertainties contributing to long-term environment modeling zones / 34th IADC Meeting. – Beijing, China, 2014.
29. Усовик И.В., Малышев В.В., Дарных В.В. Методика оценки эволюции техногенного засорения низких околоземных орбит с учетом взаимных столкновений и активного удаления космического мусора // Вестник Московского авиационного института. – 2015. – Т. 22. - №3. – С. 54-62.
30. Усовик И.В. Анализ характеристик потока космического мусора на низких околоземных орбитах с использованием уточненной модели // Космонавтика и ракетостроение. – 2014. – Выпуск № 3(76). – С. 97-102.
31. Горлов А.Е., Усовик И.В. Влияние активного удаления космического мусора на долгосрочное состояние техногенного засорения низких околоземных орбит// Космонавтика и ракетостроение. – 2015. – Выпуск № 5(84). – С. 101-106.
32. Усовик И.В. Методика оценки долговременной эволюции техногенного засорения низких околоземных орбит при реализации активного удаления космического мусора [Текст]: дис. канд.техн.наук по спец. 05.13.01: защищена 24.12.2015 / Усовик Игорь Вячеславович. – М.; 2015.-112 с.
33. Горлов А.Е., Логинов С.С., Михайлов М.А., Усовик И.В., Яковлев М.В. Актуальные вопросы международной стандартизации в части техногенного засорения околоземного космического пространства // Космонавтика и ракетостроение. – 2015. – Выпуск № 5(84). – С. 101-106.
34. Sentinel-1A collision, информационное сообщение [Электронный ресурс] //– Режим доступа: <http://www.esa.int>

УДК 378.4:004; ГРНТИ 89.15

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПО ПРОБЛЕМЕ
МОНИТОРИНГА ОКОЛОЗЕМНОГО КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА
Статья 7. МОДЕЛИРОВАНИЕ КОСМИЧЕСКИХ БОРТОВЫХ СИСТЕМ
КОНТРОЛЯ ПОТОКОВ КОСМИЧЕСКОГО МУСОРА
НА ОКОЛОЗЕМНОЙ ОРБИТЕ**

В.В. Миронов¹, А.К. Муртазов², И.В. Усовик³

¹Рязанский государственный радиотехнический университет
Российская Федерация, Рязань, mironov.v.v@rsreu.ru;

²Рязанский государственный университет,
Российская Федерация, Рязань, a.murtazov@365.rsu.edu.ru;

³Центральный научно-исследовательский институт машиностроения,
Российская Федерация, Королёв, Московская область, usovikiv@mail.ru.

Аннотация. Представлены результаты сравнения с использованием средств математического моделирования различных технических систем (реальных и идеальных), предназначенных для регистрации и оценивания потоков космического мусора, и располагаемых на поверхности космических аппаратов (КА). В трехмерном случае рассмотрена задача прогнозирования условий устойчивого (гарантированного) превосходства одной технической системы над другой по расширенному ряду параметров. In the course of solution based on the

method of В ходе решения на основе метода прямоугольных вкладов создана новая методика восстановления плотности космического мусора по малому числу зарегистрированных столкновений точек с датчиками регистрации, «дискретно» покрывающими поверхность КА, причем по виду функции плотности оценено с достаточно высокой точностью и надежностью общее количество точек, достигших КА. Система предусматривает функционирование как в одиночном полете, так и группой аппаратов. Описываются трехмерная математическая модель и соответствующий ей программный комплекс по моделированию воздействия частиц мелкого космического мусора на космический аппарат. Представляется созданная на основе метода прямоугольных вкладов (МПВ) новая методика восстановления плотности мелкого космического мусора по малому числу зарегистрированных столкновений мусора с датчиками регистрации, установленными на борту КА; по виду функции плотности восстанавливается общее количество осколков, достигших его поверхности. Приводятся сравнительные результаты моделирования.

Ключевые слова: обзор библиографии, космический мусор, бортовые системы контроля.

BIBLIOGRAPHIC RESEARCH ON THE PROBLEM OF NEAR-EARTH SPACE MONITORING

Article 7. MODELING of SPACE ONBOARD CONTROL SYSTEMS OF SPACE DEBRIS STREAMS ON EARTH ORBIT

V.V. Mironov¹, A.K. Murtazov², I.V. Usovik³

¹Ryazan State Radio Engineering University,
Russian Federation, Ryazan, mironov.v.v@rsreu.ru;

²Ryazan State University,
Russian Federation, Ryazan, a.murtazov@365.rsu.edu.ru;

³Central Research Institute of Mechanical Engineering,
Russian Federation, Korolev, Moscow region, usovikiv@mail.ru.

The summary. Results of comparison with use of means of mathematical modeling of various technical systems (real and ideal) intended for registration and estimation of streams of space debris, and located on the surface of the spacecrafts (SC) are introduced. In a three-dimensional case the problem of forecasting of conditions of the steady (guaranteed) superiority of one technical system over another of an expanded number of parameters is considered. In the course of solution based on the method of during the decision on the basis of a method of rectangular deposits is created a new method of restoration of density of space debris of small number of the registered collisions of points with the registration sensors which are "discretely" covering a surface of SC, and by the form density functions the total number of the points which reached S is evaluated with rather high precision and reliability.

The system provides functioning as in single flight, and group of devices. The three-dimensional mathematical model and the program complex corresponding to it on modeling of impact of particles of small space debris on the spacecraft are described. The new method of restoration of density of small space debris of small number of the registered collisions of garbage with the registration sensors installed onboard spacecrafts created on the basis of the method of rectangular deposits (MRD) is represented; by the form density functions the total number of the splinters which reached its surface is restored. Comparative results of modeling are given.

Keywords: overview of the bibliography, space debris, onboard control systems.

В библиографии [1 - 61] представлены результаты сравнения с использованием средств математического моделирования различных технических систем (реальных и идеальных), предназначенных для регистрации и оценивания потоков космического мусора, и располагаемых на поверхности космических аппаратов (КА). В трехмерном случае рассмотрена задача прогнозирования условий устойчивого (гарантированного) превосходства одной технической системы над другой по расширенному ряду параметров.

В ходе решения на основе метода прямоугольных вкладов создана новая методика восстановления плотности космического мусора по малому числу зарегистрированных столкновений точек с датчиками регистрации, «дискретно» покрывающими поверхность КА, причем по виду функции плотности оценено с достаточно высокой точностью и надежностью общее количество точек, достигших КА.

Система предусматривает функционирование как в одиночном полете, так и группой аппаратов. Описываются трехмерная математическая модель и соответствующий ей программный комплекс по моделированию воздействия частиц мелкого космического мусора на космический аппарат. Представляется созданная на основе метода прямоугольных вкладов (МПВ) новая методика восстановления плотности мелкого космического мусора по малому числу зарегистрированных столкновений мусора с датчиками регистрации, установленными на борту КА; по виду функции плотности восстанавливается общее количество осколков, достигших его поверхности. Приводятся сравнительные результаты моделирования.

В целом по результатам проведенного исследования можно сделать следующие выводы.

1. Система контактных датчиков (СКД) гарантированно (по множеству экспериментов) эффективнее системы активных датчиков (САД) при относительно небольшом (до 30) числе столкновений КА с мусором. Система САД гарантированно эффективнее СКД при длительной эксплуатации КА, подразумевающей значительное число столкновений КА с мусором. Именно систему САД целесообразно применять при исследовании плотности потоков космического мусора.

2. По результатам математического моделирования адаптированный метод прямоугольных вкладов показал свою эффективность при восстановлении плотности космического мусора. Улучшение точности оценивания в методике MPV по сравнению с методикой DTK_M5 с использованием системы регистрации СКД составило 8 %, с использованием системы регистрации САД - 15 %. Полученные данные по улучшению точности оценивания с помощью MPV устойчивы от эксперимента к эксперименту.

3. Все методики одинаково оценивают углы подлета точек к КА с точностью порядка 10° .

4. Улучшение точности и устойчивости оценивания позволяет говорить о надежности оценки числа точек, достигающих поверхности КА, с помощью систем регистраций САД и СКД в методике MPV.

Альтернативные подходы и методы к описанным или близким, или схожим научно-техническим проблемам и соответствующий программный инструментарий можно проследить по приведенной библиографии.

Библиографический список к седьмой части

1. Space Debris. A Report of ESA. Paris, 1988. № SP 1109.
2. Пудовкин О.Л., Пряхина Е.Б. Распространение техногенных тел в околоземном пространстве и оценка их воздействия на космические аппараты // Космич. исслед. 1994. - Т.32. - Вып. 4. - С. 76.
3. Миронов В.В. Сравнение систем регистрации космического мусора // Космич. исслед. - 1996. - Т.34. - № 4. - С. 414 - 419.
4. Гаскаров Д.В., Шаповалов В.И. Малая выборка. - М.: Статистика, 1978.
5. Миронов В.В. Сравнение систем регистрации и оценивания внешнего воздействия частиц и осколков на космические и летательные аппараты (Программа DTK_M5) / Нац. биб. - информ. фонд РФ. - М.: ВНИИЦ, 2000. Инв. № 50200000025.
6. Миронов В.В. Оценивание плотности космического мусора с помощью систем регистраций методом прямоугольных вкладов (Программа MPV) / Нац. биб. - информ. фонд РФ. - М.: ВНИИЦ, 2000. Инв. № 50200000021.
7. Миронов В.В. Обработка последовательностей спектров с гарантированной точностью при произвольной корреляции шумов // Автометрия. 1993. № 1. С. 110-116.
8. Миронов В.В. Сравнение систем регистраций космического мусора // Космич. исследов. 1996. Т.34. № 4. С. 414-419.
9. Mironov V.V. A Comparison of Systems for Recording Space Debris // Cosmic Research, 1996. V.34. № 4. P. 382-386. (англ).
10. Миронов В.В., Чураков Е.П. Гарантированная обработка дискретных измерений при слабом контроле помех // Вестник РГРТА. Рязань, 1999. Вып. 6. С. 3-8.

11. Миронов В.В., Чураков Е.П. Новая вычислительная схема метода наименьших модулей // Вестник РГРТА. Рязань, 2000. Вып. 7. С. 22-25.
12. Миронов В.В., Митрохин Ю.С. Задача об управляемости систем оптимального регулирования и методы ее решения // Вестник РГРТА: Рязань, 2000. Вып. 7. С. 57-64.
13. Миронов В.В., Митрохин Ю.С. Конструктивное исследование устойчивости решений разностных систем уравнений // Известия РАЕН. Дифференц. уравнения. 2001. № 5. С. 114-115.
14. Миронов В.В., Митрохин Ю.С. Глобальная устойчивость технических систем с переменной структурой. // Космонавтика и ракетостроение. 2001. Вып. 24. С.75-82.
15. Миронов В.В. Определение параметров движения искусственных спутников Земли по новой схеме метода наименьших модулей // Космонавтика и ракетостроение. 2001. Вып. 24. С. 83-90.
16. Миронов В.В. Методика оценки плотности космического мусора по данным бортовых регистрирующих систем // Космич. исследов. 2003. Т.41. № 2. С. 220 – 224.
17. Mironov V.V. A technique for estimating the space debris density from the data of onboard recording systems // Cosmic Research. 2003. T. 41. № 2. С. 204-208.
18. Миронов В.В., Мухин А.В. Методика оценки плотности космического мусора по малой выборке. // Труды ИСА РАН. Динамика неоднородных систем. 2008. Т. 32(2). С. 234-237.
19. Миронов В.В. Сильнополиномиальный алгоритм решения общей задачи наименьших модулей (в 2-х частях) // Сибирский журнал вычислительной математики. 2010. Т. 13. №2. Часть I, С.161-174; Часть II, С.174-181.
20. Миронов В.В., Миронова К.В., Новикова М.Ю., Терехин В.И. Математическое моделирование развития ракетно-космической техники // Глобальный научный потенциал. 2013. №1 (22). С.69-75.
21. Миронов В.В. Датчики, системы контроля и диагностики воздействия космического мусора на космические аппараты // Датчики и системы. ИПУ РАН. 2014, № 9. С. 2-9.
22. Миронов В.В., Муртазов А.К. Модель метеороидного риска в околоземном космическом пространстве // Космические исследования. - М.: "Наука", 2015. -№ 53(6). - С. 425-432.
23. Миронов В.В., Новикова М.Ю. Экономико-математический анализ современного этапа развития космических ракет-носителей // Экономика и математические методы. - М.: Наука, 2015. Т.51, № 4. -С.96-110.
24. Mironov, V.V., A.K. Murtazov. Model of Meteoroid Risk in Near-Earth Space // Pleiades Publishing, Ltd., 2015. Vol. 53. No.6.-pp. 430-436.
25. Миронов В.В., Миронова К.В., Розанов А.К. Управление «в малом» системами в плоском случае // Информатизация образования и науки. - М.: Государственный НИИ ИТ и телекоммуникаций, 2016. -№ 3(31). - С. 110-124.
26. Миронов В.В., Муртазов А.К., Бодрова И.В. Практическая реализация алгоритмов расчета поляризационных параметров светового потока на оптической установке модуляторного типа // Инженерная физика. Москва. 2017. №2. С. 72-75.
27. Миронов В.В., Митрохин Ю.С. Технологический подход к исследованию устойчивости динамических систем: системный анализ динамических процессов // Вестник РГРТУ. 2017. № 11 (Вып. 59). С. 114 – 126.
28. Миронов В.В., Митрохин Ю.С. Технологический подход к исследованию устойчивости динамических систем: прикладные вопросы // Вестник РГРТУ. 2017. № 11 (Вып. 59). С. 127 – 135.
29. Миронов В.В. Проблема выбросов измерений в априорном гарантирующем оценивании /Сборник трудов (индексирован в РИНЦ) III межд. науч.-техн. и науч. метод. конф. – Рязань, BookJet, 2018. Т. 5. С. 56 – 67.
30. Миронов В.В., Северцев Н.А. Методы анализа устойчивости систем и управляемости движением / ВЦ РАН им. А.А. Дородницына. - М.: Изд-во РУДН, 2002. 165 с.
31. Миронов В.В., Муртазов А.К., Усовик И.В. Системные методы мониторинга околоземного космического пространства. Монография. /под науч. ред. проф. Миронова В.В. – Рязань: Book Jet. 2017. 318 с.
32. Миронов В.В., Муртазов А.К. Методы контроля ближнего космоса. Учебное пособие. Рязань: Book Jet, 2017. – 126 с.
33. Миронов* В.В., Гришина В.В., Кузнецов А.В., Ципоркова К.А. Типовой расчет по алгебре. Учебное пособие. Рязань: Book Jet, 2017. – 234 с.
34. Миронов В.В., Муртазов А.К., Усовик И.В. Системные методы мониторинга околоземного космического пространства. Монография. Изд. 2-е исправленное и дополненное / под науч. ред. проф. Миронова В.В. - Рязань: Book Jet. 2018. 313 с.
35. Миронов В.В. Обработка данных и гарантированное оценивание параметров космических систем. Учебник. – Рязань: «Book Jet», 2018. – 120 с. (формат А4)
36. Миронов В.В., Ключко В.К., Новиков А.И. и др. Сборник трудов к юбилею профессора Чуракова Е.П. /под науч. ред. проф. Миронова В.В. - Рязань: Book Jet. 2018. 136 с. (формат А4).
37. Миронов В.В. Прямой без заикливания симплекс-метод решения задачи гарантирующего оценивания параметров. Программа SIMPLEX //Национальный библиотечно-информационный фонд РФ. Москва, ВНИИЦ, 2000. № 50200000019.

38. Миронов В.В. Модифицированный симплекс-метод решения задачи гарантирующего оценивания параметров. Программа PR_GIP //Национальный библиотечно-информационный фонд РФ. Москва, ВНТИЦ, 2000. № 50200000020.
39. Миронов В.В. Прямой симплекс-метод решения задачи гарантирующего оценивания параметров. Программа PR_SIM //Национальный библиотечно-информационный фонд РФ. Москва, ВНТИЦ, 2000. № 50200000022.
40. Миронов В.В. Аналитическое решение задачи гарантирующего оценивания параметров линейных моделей. Программа MVEKTOR //Национальный библиотечно-информационный фонд РФ. Москва, ВНТИЦ, 2000. № 50200000024.
41. Логинов С.С., Пирогова А.М. Анализ технических возможностей различных средств получения информации о техногенной обстановке в околоземном космическом пространстве // Космонавтика и ракетостроение. – 2000. - №18. - С. 63-69.
42. Лупян Е.А., Балашов И.В., Бурцев М.А., Ефремов В.Ю., Кашницкий А.В., Кобец Д.А., Крашенинникова Ю.С., Мазуров А.А., Назиров Р.Р., Прошин А.А., Сычугов И.Г., Толпиг В.А., Уваров И.А., Флитман Е.В. Создание технологий построения информационных систем дистанционного мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2015. - Т. 12. - № 5. – С. 53 – 75.
43. Лупян Е.А., Бурцев М.А., Прошин А.А., Кобец Д.А. Развитие подходов к построению информационных систем дистанционного мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 3. С. 53-66.
44. Миронов В.В., Муртазов А.К., Усовик И.В. Системные методы мониторинга околоземного космического пространства. Монография. / под науч. ред. проф. Миронова В.В. – Рязань: Book Jet. 2017. 318 с.
45. Миронов В.В., Муртазов А.К. Методы контроля ближнего космоса. Учебное пособие. Рязань: Book Jet, 2017. – 126 с.
46. Миронов В.В., Муртазов А.К., Усовик И.В. Системные методы мониторинга околоземного космического пространства. Монография. Изд. 2-е исправленное и дополненное / под науч. ред. проф. Миронова В.В. - Рязань: Book Jet. 2018. 313 с.
47. Миронов В.В. Обработка данных и гарантированное оценивание параметров космических систем. Учебник. – Рязань: «Book Jet», 2018. – 120 с.
48. Назаренко А.И. Построение высотно-широтного распределения объектов в околоземном космическом пространстве // Проблема загрязнения космоса (космический мусор). – М.: Космосинформ, 1993. - С. 92-100.
49. Назаренко А.И., Чернявский Г.М. Моделирование загрязнения космического пространства // Столкновения в околоземном пространстве (космический мусор). – М.: Космосинформ, 1995. - С. 104-129.
50. Назаренко А.И. Моделирование техногенного загрязнения околоземного космического пространства // Околоземная астрономия XXI века. – М.: ГЕОС, 2001. - С. 80-91.
51. Назаренко А.И. Оценка опасности столкновений элементов конструкции КА // Околоземная астрономия-2003. – СПб.: ВВМ, 2004. - Т. 2. – С. 20-28.
52. Назаренко А. И. Моделирование космического мусора. М.: ИКИ РАН, 2013. - 216 с.
53. Mironov V.V., Murtazov A.K. Model of Meteoroid Risk in Near-Earth Space // Cosmic research, 2015. Vol. 53. No.6, pp. 430-436.
54. Ключников В.Ю. Методология целеполагания в области космической деятельности // Космонавтика и ракетостроение, № 5 (8), 2015 г., - С. 11-20.
55. Nazarenko A.I. Space debris status for 200 years ahead & the Kessler effect // 29-th IADC Meeting. – Berlin, Germany, 2011.
56. Ключников В.Ю., Шатров Я.Т. Обеспечение безопасности космических полётов за счёт функциональной избыточности бортовых агрегатов и систем // Космонавтика и ракетостроение № 2 (101), 2018, - С.114-124.
57. Ключников В.Ю. Оценка вклада ракетно-космической деятельности в глобальное загрязнение земной биосферы // Актуальные проблемы космонавтики: Труды XXXIX академических чтений по космонавтике, посвященных памяти академика С.П. Королева и других выдающихся отечественных ученых-пионеров освоения космического пространства. Москва, 27 – 30 января 2015 г. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2015. – С 173.
58. Ключников В.Ю. Методический подход к автоматизации макропроектирования программ космической деятельности // Космонавтика и ракетостроение № 6 (91), 2016, - С.5-11.
59. Злобин В.К., Еремеев В.В. Обработка аэрокосмических изображений. – М.: Физматлит, 2006. – 288 с.
60. Антонушкина С.В., Гуров В.С., Егоскин Н.А., Кузнецов А.Е. и др. Современные технологии обработки данных дистанционного зондирования Земли / Под ред. В.В. Еремеева. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2015. – 460 с.
61. Кузнецов А.Е., Пошехонов В.И. Оценка высоты облачности по данным комплекса многозональной сканерной съемки КА «Метеор-М» // Цифровая обработка сигналов. 2009. № 3. С. 41-46.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ К ВСЕМУ ИССЛЕДОВАНИЮ

В работе решена крупная научно-методическая проблема, связанная с библиографическим анализом **386** работ по исследованию методических основ мониторинга объектов в околоземном пространстве оптическими системами, поиском, обнаружением и распознаванием тел различного происхождения в околоземном космическом пространстве (в том числе опасных космических тел) оптическими системами.

Разработаны методические основы мониторинга околоземного пространства, позволившие повысить эффективность обнаружения и идентификации объектов в околоземном пространстве оптическими средствами.

Выполнен системный анализ проблемы мониторинга засорений околоземного пространства оптическими средствами.

Достигнут ряд новых важных результатов в области сбора, анализа и обработки экспертной информации методами фотометрического мониторинга космических объектов оптическими системами.

Решена прямая задача фотометрии безатмосферных тел Солнечной системы и искусственных космических объектов в околоземном пространстве, учитывающая взаимные затенения элементов их поверхности или конструкции, строение самих поверхностей и их фотометрические характеристики. Оценен ожидаемый блеск астероидов, космического мусора, опасных космических тел, метеорных явлений, вызываемых метеороидами различной массы и скорости входа в атмосферу.

Разработана методика фотометрического мониторинга искусственных космических объектов и оптического мониторинга пролета метеорных частиц в атмосфере.

Представлена строгая математическая постановка основной задачи спектрофотометрии космических объектов, предложены направления ее решения. Реализована методика разработки каталога расчетных моделей блеска геостационарных КО. Представлена модель оценки ожидаемого блеска астероидов-троянцев на орбите Земли.

Разработана и реализована методика физического моделирования мониторинга объектов в околоземном пространстве.

Создан банк данных об оптических свойствах поверхностей космических объектов, основанный на реализации методики физического моделирования фотометрических, спектральных параметров и кривых блеска космических объектов. Оптические параметры космических поверхностей используются в системах идентификации космических объектов оптическими средствами.

Разработана методика сравнительного анализа, позволяющая идентифицировать объекты и поверхности космического мусора по сравнительному анализу результатов моделирования и оптического мониторинга.

Разработана методика широкоугольного ПЗС-мониторинга опасных метеороидов в метеорных потоках. Получены экспериментальные оценки средней пространственной плотности опасных метеороидов в метеорном потоке Персеиды в период действия этого потока на протяжении длительного промежутка времени.

Разработана модель метеороидного риска в околоземном пространстве, позволяющая спрогнозировать и оценить опасность естественного мусора для космической техники. Показано, что величина метеороидного риска основных метеорных потоков близка к предельно допустимому значению и метеороидная опасность нуждается в учете.

В заключение авторы выражают искреннюю признательность редактору научных трудов СТНО-2019 **О.В. Миловзорову** за помощь и поддержку в опубликовании данного обзорного семистатейного исследования.

УДК 004.932; ГРНТИ 28.17.33

НОВЫЙ МЕТОД ВЫДЕЛЕНИЯ ГРАНИЦ ПЕРЕПАДА ЯРКОСТИ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ

А.И. Новиков

Рязанский государственный радиотехнический университет,

Российская Федерация, Рязань, novikovanatoly@yandex.ru

Аннотация. В работе предложен новый метод детектирования границ перепада яркости. Не требует предварительного сглаживания изображения и формирует контурное изображение с минимальным числом коротких линий.

Ключевые слова: детектор границ, модуль и направление градиента, локальные экстремумы.

NEW METHOD OF DETERMINING THE BORDERS OF THE DIFFERENCE BRIGHTNESS ON IMAGES

A.I. Novikov

Ryazan State Radio Engineering University,

Russia, Ryazan, horek.novikovanatoly@yandex.ru

The summary. The paper proposes a new method for detecting the limits of brightness difference. It does not require prior smoothing of the image and forms a contour image with a minimum number of short lines.

Keywords: boundary detector, modulus and direction of the gradient, local extremes.

По классификации, приведенной в монографии [1], задача выделения границ перепада яркости на изображениях относится к задачам низшего уровня. Однако отсюда не следует низкая значимость этой задачи. Результаты решения данной задачи используются задачами более высокого уровня. Это задачи обнаружения и сопровождения объектов, задачи совмещения изображений, полученных от разнородных сенсоров, а также совмещения реальных и виртуальных изображений в виде контуров объектов постоянного присутствия на поверхности Земли [2,3]. Успех решения задач более высокого уровня существенно зависит от того насколько качественно выделены границы перепада яркости и на этой основе сформированы контуры объектов постоянного присутствия.

Огромный шаг вперед в развитии градиентных методов выделения границ перепада яркости и формирования из этих линий контуров объектов на изображении был сделан в 1986 г. Джоном Кенни в работе [4]. Он сформулировал три критерия (критерии Canny), определяющих хорошие детекторы границ:

- хорошее отношение сигнала к шуму;
- хорошая локализация;
- единственность отклика на границу.

С содержательной точки зрения первое требование означает, что детектор должен выделять истинные границы и не выделять ложные. Второй критерий предполагает, что выделенные точки границы должны располагаться максимально близко к истинному положению границы области.

В отличие от методов Собеля и Превитта метод Кэнни дает на выходе тонкие линии толщиной в один пиксель. Недостатком метода Кэнни является его «нацеленность» на замыкание контуров, которые на самом деле являются незамкнутыми. В монографии [1] эта особенность метода названа «эффектом спагетти».

За более чем полвека развития цифровых технологий обработки изображений создано несколько десятков методов выделения границ перепада яркости на изображении – детекторов границ. Такое количество методов обусловлено, с одной стороны, важностью проблемы, с другой, - относительной простотой создания новых методов, особенно в группе градиентных методов. Вот что об этом пишет группа исследователей из НИИ системных исследований Российской академии наук [5]: «Выделение границ – один из основных шагов задач об-

работки изображений, распознавания и анализа образов, компьютерного зрения. ... При этом способ определения граничной точки носит *нечеткий характер*, поскольку на практике редко жестко фиксируется порог, при котором яркость между двумя соседними пикселями изменится настолько, что можно утверждать о нахождении там границы. Это одна из причин считать выделение границ *нетривиальной задачей*».

Алгоритмы детектирования границ, демонстрирующие хорошие показатели качества выделения границ на тестовых изображениях, не всегда применимы для обработки реальных изображений. Это, в первую очередь, относится к изображениям подстилающей поверхности, получаемым с борта воздушного судна в процессе полета. Идеальный детектор для таких изображений должен выделять контуры объектов постоянного присутствия на поверхности Земли и подавлять короткие линии, наличие которых на градиентном изображении не подтверждается цифровой картой местности. Предлагаемый метод детектирования границ, как и метод Кенни, является многошаговым и учитывает требования к хорошему детектору, сформулированные в работе [4]. В нем используется маска для вычисления оценок частных производных, предложенная в работе [6]

$$(-k, -k+1, \dots, -1, 0, 1, \dots, k-1, k). \quad (1)$$

Эта маска наряду с реагированием на перепады яркости обеспечивает подавление шума при длине окна скольжения большей или равной 5. Поэтому в отличие от метода Кенни в предлагаемом алгоритме нет этапа предварительного сглаживания (размытия) изображения с помощью гауссова оператора.

На первом шаге алгоритма в каждом пикселе (i, j) изображения I_{ij} , $i = \overline{1, M}$, $j = \overline{1, N}$ вычисляются:

- оценки частных производных $\frac{\partial I_{ij}}{\partial x}$ и $\frac{\partial I_{ij}}{\partial y}$, которые для сокращения записи будем обозначать $\partial_x I_{ij}$ и $\partial_y I_{ij}$ соответственно. Оценки производных вычисляются с помощью маски (1);

- модуль градиента

$$|\nabla I_{ij}| = \left((\partial_x I_{ij})^2 + (\partial_y I_{ij})^2 \right)^{1/2}; \quad (2)$$

- направление α вектора градиента.

Бесконечное множество потенциально возможных направлений вектора градиента сгруппировано в 8 основных направлений: $0^\circ, \pm 45^\circ, \pm 90^\circ, \pm 135^\circ, 180^\circ$. С этой целью промежуток $(-180^\circ; 180^\circ]$ разбит на секторы равной «длины» по 45° . Например, направлениям градиента от $-22,5^\circ$ до $22,5^\circ$ присваивается направление градиента 0° , от $22,6^\circ$ до $67,5^\circ$ присваивается направление 45° и т.д. Для определения направления вектора градиента выполняются сравнения:

Если $\partial_x I > 0$, а $|\partial_y I| < 0,414 \cdot \partial_x I$, то $\alpha = 0^\circ$, если же

$\partial_x I > 0$, а $0,415 \cdot \partial_x I < |\partial_y I| < 2,414 \cdot \partial_x I$, то $\alpha = \text{sign}(\partial_y I) \cdot 45^\circ$,

$|\partial_y I| > 2,615 \cdot |\partial_x I|$, то $\alpha = \text{sign}(\partial_x I) \cdot 90^\circ$,

$\partial_x I < 0$ и $0,414 \cdot |\partial_x I| < |\partial_y I| < 2,614 \cdot |\partial_x I|$, то $\alpha = \text{sign}(\partial_y I) \cdot 135^\circ$,

$$\partial_x I < 0 \text{ и } |\partial_x I| < |\partial_y I| < 2,615 \cdot |\partial_x I|, \text{ то } \alpha = 180^\circ.$$

Для того, чтобы алгоритм детектирования обнаруживал истинные границ перепада яркости, отвечающие контурам объектов на подстилающей поверхности, и не обнаруживал ложные линии, вводятся два порога для множества модулей градиента $|\nabla I|_1$ и $|\nabla I|_2$, причем $|\nabla I|_{\max} > |\nabla I|_1 > |\nabla I|_2 > |\nabla I|_{\min}$. Эти пороги разбивают множество всех найденных значений модуля градиента на три подмножества

$$D_1 = \llbracket |\nabla I|_{\min}; |\nabla I|_2 \rrbracket, \quad D_2 = \llbracket |\nabla I|_2; |\nabla I|_1 \rrbracket, \quad D_3 = \llbracket |\nabla I|_1; |\nabla I|_{\max} \rrbracket.$$

Значения модуля градиента (2), принадлежащие множеству D_1 , не участвуют на втором шаге алгоритма в поиске локальных максимумов модулей градиента.

На втором шаге ищутся локальные экстремумы $\text{loc max}|\nabla I_{ij}|$ модуля градиента по подмножеству тех пикселей, в каждом из которых модуль градиента больше минимального порога $|\nabla I|_2$, то есть по всем точкам подмножеств D_2 и D_3 . Экстремумы в каждом пикселе ищутся по тому направлению, которое найдено для этого пикселя на предыдущем шаге. Если выполняется неравенство $I_{t-1} < I_t < I_{t+1}$ по соответствующему направлению, то в точке t , то есть в пикселе (i, j) фиксируется локальный максимум модуля градиента.

Если при этом найденный локальный экстремум удовлетворяет неравенству $\text{loc max}|\nabla I_{ij}| > |\nabla I|_1$, то в ячейку (i, j) записывается 1, если же $|\nabla I|_2 < \text{loc max}|\nabla I_{ij}| < |\nabla I|_1$, то в ячейку (i, j) записывается 2. Линию, образованную из единиц, назовем сильной линией. Сильные линии являются основой замкнутых контуров изображения. Линию, образованную из «2», назовем слабой линией. Слабая линия может быть присоединена к сильной линии, если она связана с ней по схеме восьмисвязной области. В противном случае производится удаление слабой линии из контурного изображения. На третьем шаге алгоритма производится либо присоединение слабых линий к сильным, если они связаны между собой, либо удаление слабых линий в противном случае. При присоединении слабой линии к сильной учитываются еще направление вектора градиента в текущем слабом пикселе. Если оно совпадает с направлением градиента в соседнем сильном пикселе, либо отличается от него не более чем на $\pm 45^\circ$, то слабый пиксель включается в состав формируемого контура.

При создании алгоритма преследовалась цель минимизации числа медленных вычислительных операций до такой степени, чтобы алгоритм мог конкурировать и по этому показателю с методом Кенни. В значительной степени этого удалось достичь. Если в методе Кенни на сглаживание изображения и вычисление частных производных требуется около $15NM \div 30NM$ медленных операций, то в предложенном алгоритме $5NM \div 7NM$ в зависимости от длины окна скольжения.

Библиографический список

1. Гонзалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. — М.: Техносфера, 2005.
2. Алпатов Б.А., Бабаян П.В., Балашов О.Е., Степашкин А.И. Методы автоматического обнаружения и сопровождения объектов. Обработка изображений и управление. — М.: Радиотехника, 2008.
3. Новиков А.И., Логинов А.А., Колчаев Д.А. Комбинированный метод совмещения разнородных изображений в авиационных системах технического зрения. — Цифровая обработка сигналов № 2/2017.
4. John Canny. A Computational Approach to Edge Detection. — IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. vol. PAMI-8 NO. 6/1986.

5. Zakharov A.V., Kotovich N.V., Kutsaev A.S., Koltsov P.P., Kravchenko A.A. On some issues of the quantitative performance evaluation of detectors. – International Journal Programmnye Produkty I sistemy. № 4/2011.
6. A. I. Novikov. The Formation of Operators with Given Properties to solve Original Image Processing Tasks. – Pattern Recognition and Image Analysis, Vol. 25. № 2/2015. DOI: 10.1134/S1054661815020194.

УДК 519.246.2; ГРНТИ 27.35.33

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЕРОЯТНОСТНЫХ СВОЙСТВ РЕШЕНИЯ ИНТЕГРАЛЬНОГО УРАВНЕНИЯ

М.Е. Ильин

*Рязанский государственный радиотехнический университет,
Российская Федерация, Рязань, Ilyin.ime@yandex.ru*

Аннотация. В работе рассматривается модель электромеханического управления в условиях случайных помех, составной частью которой является стохастическое интегральное уравнение, относительно случайного процесса. Определяются параметры возникающих распределений.

Ключевые слова: управление, интегральное уравнение, случайный процесс, числовые характеристики распределений.

THE STUDY OF PROBABILISTIC PROPERTIES OF THE SOLUTION OF THE INTEGRAL EQUATION

M.E. Ilyin

*Ryazan State Radio Engineering University,
Russia, Ryazan, Ilyin.ime@yandex.ru*

The summary. The paper deals with a model of Electromechanical control under conditions of random noise, part of which is a stochastic integral equation with respect to the random process. The parameters of the arising distributions are determined.

Keywords: control, integral equation, random process, numerical characteristics of distributions.

В представленной работе рассматриваются вероятностные свойства интегрального уравнения

$$\int_0^{t_b} v(t)dt = l, v(t_b) = v_0,$$

которое описывает процесс электромеханического управления исполнительным механизмом. Предполагается, что навязываемая устройством управления скорость $v(t)$, позволяет на заданном интервале времени $[0, t_b]$ достичь требуемой скорости v_0 на дистанции l . Подобные модели описывают технологические процессы ковки, штамповки, транспортировки и прочее. Решение уравнения относительно неизвестной скорости $v(t)$ приводит к некорректно поставленной обратной задаче, регуляризация которой производится выбором класса допустимых скоростей перемещения: гладкость, монотонность [1]. Сформулированная модель управления не учитывает возмущения, возникающие при её практической реализации. Фактическая скорость перемещения случайно отличается от синтезированной $v(t)$, в результате этого изменяется либо время перемещения t_b , либо дистанция l . Необходимо так скорректировать математическую модель, чтобы учесть случайные возмущения. Теперь модель управления определим интегральным уравнением, в котором и подынтегральная функция $v(t)$ и верхний предел t_b являются случайными функциями [2]. Целью работы является исследование вероятностных свойств времени управления в зависимости от воздействия случайных факторов на скорость перемещения. Если ограничиться классом элементарных случайных функций, то получаем возмущенное уравнение

$$\int_0^{t_b+\delta} (v(t) + \varepsilon) dt = l. \quad (1)$$

В уравнении (1) учитывается тот факт, что скорость движения $v(t) + \varepsilon$ на дистанции l включает детерминированную составляющую $v(t)$ и аддитивную случайную составляющую (случайную величину) ε . Вследствие этого и время завершения процесса управления $t_b + \delta$ также включает как детерминированную составляющую t_b , так и случайную составляющую (величину) δ . Естественно предположить, что эти две случайные величины взаимосвязаны. Первая из них ε обусловлена случайными причинами, изменяющими скорость перемещения: трение, ошибки управления. Поставим задачу найти распределение величины δ – случайно ошибки времени позиционирования. В дальнейшем будем полагать, что выполняется неравенство $\text{mes}(\text{supp } \varepsilon) \ll v_0$ – малость случайной составляющей скорости.

Преобразуем левую часть уравнения (1) и получим, применив свойства линейности и аддитивности,

$$\int_0^{t_b+\delta} (v(t) + \varepsilon) dt = \int_0^{t_b+\delta} v(t) dt + \int_0^{t_b+\delta} \varepsilon dt = \int_0^{t_b} v(t) dt + \int_{t_b}^{t_b+\delta} v(t) dt + \varepsilon(t_b + \delta).$$

Для оценки второго слагаемого применим теорему о среднем

$$\int_{t_b}^{t_b+\delta} v(t) dt = v(t^*)\delta.$$

Теперь уравнение (1) принимает вид

$$v(t^*)\delta + \varepsilon t_b + \varepsilon\delta \equiv 0, t^* = t_b + \theta\delta, \theta \in (0,1).$$

Это нелинейное уравнение относительно δ : переменная δ входит в выражение для скорости $v(t^*)$. Пользуясь допущением малости ε , линеаризуем уравнение, положив $v(t^*) = v_0$, и выразим через него случайную величину δ . Получаем искомое выражением

$$\delta = -\frac{\varepsilon t_b}{v_0 + \varepsilon}.$$

Преобразуем выражение (2) в эквивалентное равенство

$$\delta = -\frac{t_b}{v_0} \cdot \frac{\varepsilon}{1 + \frac{\varepsilon}{v_0}} \quad (2)$$

и учитывая неравенство $0 \leq \frac{\varepsilon}{v_0} \ll 1$, определим множество случайных событий равносильными неравенствами

$$\{\delta < q\} = \left\{ -\frac{t_b}{v_0} \cdot \frac{\varepsilon}{1 + \frac{\varepsilon}{v_0}} < q \right\} = \{-\varepsilon t_b < q(v_0 + \varepsilon)\} = \left\{ \varepsilon > -\frac{v_0 q}{q + t_b} \right\} = \overline{\left\{ \varepsilon < -\frac{v_0 q}{q + t_b} \right\}}.$$

Для функции распределения $F_\delta(q)$ случайной величины δ получаем соотношение

$$F_\delta(q) = P\{\delta < q\} = P\left\{ \varepsilon < -\frac{v_0 q}{q + t_b} \right\} = 1 - P\left\{ \varepsilon < -\frac{v_0 q}{q + t_b} \right\} = 1 - F_\varepsilon\left(-\frac{v_0 q}{q + t_b}\right).$$

Дифференцируя по переменной q , получаем выражение для плотности распределения случайной величины δ

$$f_\delta(q) = f_\varepsilon\left(-\frac{v_0 q}{q + t_b}\right) \cdot \frac{v_0 q}{(q + t_b)^2}.$$

В качестве примера найдем математическое ожидание и дисперсию длительности процесса управления для простейшего закона распределения скоростей. Пусть $L(\varepsilon) = U(-a, a)$, $0 < a \ll v_0$: случайная составляющая скорости равномерно и непрерывно распределена на интервале $(-a, a)$. Тогда, справедливы выражения $M[\varepsilon] = 0$, $D[\varepsilon] = \frac{a^2}{3}$. При сделанных предположениях функция плотности распределения случайной величины δ определяется выражением

$$f_\delta(q) = \frac{1}{2a} \cdot \frac{v_0 q}{(q + t_b)^2}, \left| \frac{v_0 q}{(q + t_b)^2} \right| \leq a.$$

Математическое ожидание случайной величины δ равно

$$M[\delta] = \int_{\left| \frac{v_0 q}{(q + t_b)^2} \right| \leq a} q \frac{1}{2a} \frac{v_0 q}{(q + t_b)^2} dq = \int_{-a}^a \left(-\frac{x t_b}{v_0 + x} \right) \frac{1}{2a} dx = t_b \left(\frac{v_0}{2a} \ln \left| \frac{v_0 + a}{v_0 - a} \right| - 1 \right).$$

Воспользуемся малостью случайной величины ε , асимптотическим разложением логарифма в окрестности нуля. В итоге, получаем разложение по степеням $\frac{a}{v}$

$$m_\delta = M[\delta] = t_b \left(\frac{1}{3} \left(\frac{a}{v_0} \right)^2 + \frac{1}{5} \left(\frac{a}{v_0} \right)^4 + \frac{1}{7} \left(\frac{a}{v_0} \right)^6 + \dots \right),$$

при тех же допущениях для дисперсии справедлива асимптотическая оценка

$$\sigma_\delta^2 = D[\delta] = t_b^2 \left(\frac{1}{3} \left(\frac{a}{v_0} \right)^2 + \frac{22}{45} \left(\frac{a}{v_0} \right)^4 + \frac{61}{105} \left(\frac{a}{v_0} \right)^6 + \dots \right).$$

Сделаем замечания относительно полученных величин. Вторые слагаемые – величины более высокого порядка малости по сравнению с первыми относительно дроби $\frac{a}{v_0}$. Случайное время длительности процесса управления $t_b + \delta$ в силу центральной предельной теоремы имеет асимптотически нормальное распределение

$$L(t_b + \delta) = N\left(t_b + \frac{1}{3}t_b\left(\frac{a}{v_0}\right)^2, \frac{1}{3}t_b^2\left(\frac{a}{v_0}\right)^2\right).$$

Рассмотрим случай нормального распределения случайной составляющей скорости. Пусть $L(\varepsilon) = N(0, \sigma^2)$. Воспользуемся известным из математического анализа приближенным равенством $(1 + \alpha)^k \approx 1 + k\alpha$, из (2) получаем приближенное равенство

$$\delta = -\frac{t_b}{v_0} \cdot \varepsilon + \frac{t_b^2}{v_0^2} \cdot \varepsilon^2,$$

которым и воспользуемся, чтобы вычислить математическое ожидание

$$m_\delta = M[\delta] = M\left[-\frac{t_b}{v_0} \cdot \varepsilon + \frac{t_b^2}{v_0^2} \cdot \varepsilon^2\right] = -\frac{t_b}{v_0} \cdot M[\varepsilon] + \frac{t_b^2}{v_0^2} \cdot M[\varepsilon^2] = \left(\frac{t_b}{v_0}\sigma\right)^2.$$

Для нахождения дисперсии найдем второй начальный момент

$$M[\delta^2] = M\left[\left(-\frac{t_b}{v_0} \cdot \varepsilon + \frac{t_b^2}{v_0^2} \cdot \varepsilon^2\right)^2\right] = M\left[\left(\frac{t_b}{v_0}\varepsilon\right)^2 - 2\left(\frac{t_b}{v_0}\varepsilon\right)^3 + \left(\frac{t_b}{v_0}\varepsilon\right)^4\right] = \left(\frac{t_b}{v_0}\sigma\right)^2 + 3\left(\frac{t_b}{v_0}\sigma\right)^4,$$

а затем и собственно дисперсию

$$\sigma_\delta^2 = \left(\frac{t_b}{v_0}\sigma\right)^2 + 3\left(\frac{t_b}{v_0}\sigma\right)^4 - \left(\frac{t_b}{v_0}\sigma\right)^4 = \left(\frac{t_b}{v_0}\sigma\right)^2 + 2\left(\frac{t_b}{v_0}\sigma\right)^4.$$

При выбранной модели случайной величины ε случайное время длительности процесса управления $t_b + \delta$ в силу центральной предельной теоремы имеет асимптотически нормальное распределение

$$L(t_b + \delta) = N\left(t_b + \left(\frac{t_b}{v_0}\sigma\right)^2, \left(\frac{t_b}{v_0}\sigma\right)^2 + 2\left(\frac{t_b}{v_0}\sigma\right)^4\right).$$

Приведенные вычисления позволяют оценить случайное время перемещения исполняющих устройств интервальной оценкой

$$\Delta = (t_b + m_\delta - \sigma_\delta, t_b + m_\delta + \sigma_\delta,$$

покрывающим истинное время перемещения с вероятностью не менее 67%.

Библиографический список

1. Агекян Т.Л. Теория вероятностей для астрономов и физиков, Главная редакция физико-математической литературы издательства «Наука», 1974. - 264с.: ил.
2. Кляцкин В.И. Стохастические уравнения: теория и ее приложения к акустике, гидродинамике и радиофизике. т. 1: Москва: Физматлит, 2008. - 317с.: ил.

УДК 621.39

ОБ ОПТИМАЛЬНОМ ПЛАНИРОВАНИИ НЕЛИНЕЙНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ПРИ ОБНАРУЖЕНИИ И ФИЛЬТРАЦИИ МАРКОВСКИХ СИГНАЛОВ

О.Н. Чемезов

Рязанский государственный радиотехнический университет,
Российская Федерация, Рязань, oleg.chemezov.58@mail.ru

Аннотация. Получен алгоритм обнаружения и фильтрации марковского сигнала на фоне помех при планировании нелинейных наблюдений, основанном на информационных принципах.

Ключевые слова: обнаружение, фильтрация, нелинейные наблюдения, энтропия.

ON THE OPTIMAL SCHEDULING OF NON-LINEAR OBSERVATIONS FOR THE DETECTION AND FILTERING OF MARKOV SIGNALS

O.N. Chemezov

Ryazan State Radio Engineering University,
Russia, Ryazan, oleg.chemezov.58@mail.ru

The summary. An algorithm for detecting and filtering of the Markov signal against interference in the planning of non-linear observations based on information principles is obtained.

Keywords: detection, filtering, non-linear observations, entropy.

Задача оптимального планирования линейных наблюдений при обнаружении и фильтрации многомерного марковского сигнала на фоне аналогичной по природе помехе и нормального белого шума обсуждается, например, в [1].

При этом оказывается, что рациональное планирование моментов наблюдения может явиться эффективным средством повышения качества обнаружения. Рассмотрим теперь более сложную проблему обнаружения марковского процесса при нелинейной модели наблюдений, позволяющей более точно учитывать особенности реальных наблюдений.

Итак, пусть полезный сигнал описывается уравнением

$$Y_{k+1} = \varphi_{k+1,k} Y_k + \Gamma_{k+1,k} v_{k+1}, \quad v_{k+1} \in N(0, \sigma_v^2) \quad k = 1, 2, \dots, \quad (1)$$

где $\varphi_{k+1,k}$, $\Gamma_{k+1,k}$ - переходные матрицы состояния и возмущения, v_{k+1} - порождающий гауссовский белый шум. В дискретные моменты времени $t_1, t_2, \dots$ наблюдаются величины

$$z_k = r(\theta G_1^T Y_k + G_2^T S_k) + \xi_k \quad (2)$$

Здесь $r(\cdot)$ - соответствующая нелинейная функция;

ξ_k - ошибка измерения (дискретный белый шум $\xi_k \in N(0, \sigma^2)$);

S_k - марковская помеха, определяемая по аналогии с (1) уравнением

$$S_{k+1} = F_{k+1,k} S_k + D_{k+1,k} n_{k+1}, \quad n_{k+1} \in N(0, \sigma_k^2),$$

G_1 , G_2 - векторы, выделяющие из состава векторов Y_k , S_k , физически участвующие в формировании наблюдений z_k компоненты, а параметр θ принимает значения 1 или 0 в соответствии с предполагаемой альтернативной ситуацией.

Требуется по данным z_k построить алгоритм обнаружения процесса Y_k , сопроводив его правилом, позволяющим моменты наблюдения $t_2, t_3, \dots$ назначать таким образом, чтобы

после каждого наблюдения неопределенность в структуре данных (2) оказалась в некотором смысле наименьшей.

Построим правило выбора $(k+1)$ -го момента наблюдения t_{k+1} . Пусть получены наблюдения $(z_1, z_2, \dots, z_k) = z_1^k$. Если в некоторый момент t_{k+1} провести $(k+1)$ -е измерение с результатом z_{k+1} , то неопределенность параметра θ можно охарактеризовать энтропией

$$H(\theta|z_1^{k+1}) = -p(\theta=1|z_1^{k+1}) \ln p(\theta=1|z_1^{k+1}) - p(\theta=0|z_1^{k+1}) \ln p(\theta=0|z_1^{k+1}),$$

где $p(\cdot)$ - апостериорные вероятности соответствующих событий. Будем момент t_{k+1} планировать таким образом, чтобы усредненная по z_{k+1} энтропия оказалась наименьшей, т.е. из условия $t_{k+1} = \arg \min_{t_{k+1}} M_{z_{k+1}} \{H(\theta|z_1^{k+1})\}$, где $M_{z_{k+1}}$ - символ усреднения по z_{k+1} при фиксированных $z_1, z_2, \dots, z_k$. Так как

$$p(\theta=1|z_1^{k+1}) = p(\theta=1|z_1^k) f(z_{k+1}|z_1^k, \theta=1) / f(z_{k+1}|z_1^k), \quad (3)$$

$$f(z_{k+1}|z_1^k) = p(\theta=1|z_1^k) f(z_{k+1}|z_1^k, \theta=1) + p(\theta=0|z_1^k) f(z_{k+1}|z_1^k, \theta=0),$$

где $f(\cdot)$ - символ соответствующих условных плотностей, то несложно получить

$$M_{z_{k+1}} \{H(\theta|z_1^{k+1})\} = H(\theta|z_1^k) + p(\theta=1|z_1^k) H(z_{k+1}|z_1^k, \theta=0) + p(\theta=0|z_1^k) H(z_{k+1}|z_1^k, \theta=1) - H(z_{k+1}|z_1^k),$$

где H - по-прежнему символ условных энтропии соответствующих величин. Условную плотность $f(z_{k+1}|z_1^k, \theta=1)$ представим в следующем виде:

$$f(z_{k+1}|z_1^k, \theta=1) = f\{r(G^T \cdot V_{k+1}) + \xi_{k+1}|z_1^k, \theta=1\}, \quad (4)$$

где использованы блочные представления $V_{k+1}^T = (Y_{k+1}^T, S_{k+1}^T)$, $G^T = (G_1^T, G_2^T)$.

В общем случае плотность (4) не является гауссовской. При линейных алгоритмах обработки данных фактический закон распределения величин z_1^n не имеет значения. Поскольку оценка по максимуму апостериорной вероятности при гауссовском оцениваемом параметре зависит только от первых двух моментов этого параметра, то для наших последующих целей допустимо принять плотность (4) гауссовской.

Итак, пусть плотность (4) имеет вид

$$f(z_{k+1}|z_1^k, \theta=1) = N(m_{k+1}, \sigma_{k+1}^2),$$

где

$$m_{k+1} = M\{r(G^T V_{k+1})|z_1^k, \theta=1\} = \hat{r}(G^T V_{k+1}), \quad (5)$$

$$\sigma_{k+1}^2 = D\{r(G^T V_{k+1})|z_1^k, \theta=1\} = D\{r(G^T V_{k+1}) - \hat{r}(G^T V_{k+1})|z_1^k, \theta=1\}.$$

Аналогично для гипотезы $\theta = 0$ запишем

$$\begin{aligned} f(z_{k+1}|z_1^n, \theta = 0) &= N(\tilde{m}_{k+1}, \tilde{\sigma}_{k+1}), \\ \tilde{m}_{k+1} &= M\{r(G_2^T S_{k+1})|z_1^k, \theta = 0\} = \hat{r}(G_2^T S_{k+1}), \\ \tilde{\sigma}_{k+1}^2 &= D\{r(G_2^T S_{k+1})|z_1^k, \theta = 0\} = D\{r(G_2^T S_{k+1}) - \hat{r}(G_2^T S_{k+1})|z_1^k, \theta = 0\}. \end{aligned}$$

Тогда с учетом проведенной гауссовской аппроксимации после преобразований [1] получим искомое для выбора момента t_{k+1} условие

$$t_{k+1} = \arg \min_t \{p(\theta = 1|z_1^k) \ln \sigma_{k+1}^2 + p(\theta = 0|z_1^k) \ln \tilde{\sigma}_{k+1}^2 - \ln(p(\theta = 1|z_1^k) \sigma_{k+1}^2 + p(\theta = 0|z_1^k) \tilde{\sigma}_{k+1}^2 + p(\theta = 1|z_1^k) p(\theta = 0|z_1^k) (m_{k+1} - \tilde{m}_{k+1})^2)\}$$

Теперь для окончательного формирования правила выбора момента t_{k+1} и построения алгоритма обнаружения необходимо найти значения σ_{k+1}^2 , $\tilde{\sigma}_{k+1}^2$, m_{k+1} , $\tilde{m}_{k+1}$, которые в общем случае нельзя определить точно. В [2] показано, что для функции $r(G^T V_{k+1})$ часто оказывается допустимой аппроксимация рядом Тейлора относительно точки $G^T V_{k+1} = G^T \hat{V}_{k+1|k}$, где

$$\hat{V}_{k+1|k} = M\{V_{k+1}|z_1^k, \theta = 1\}.$$

Возьмем два первых члена ряда Тейлора

$$r(G^T V_{k+1}) \approx r(G^T \hat{V}_{k+1|k}) + \frac{\partial r(G^T \hat{V}_{k+1|k})}{\partial G^T \hat{V}_{k+1|k}} G^T (V_{k+1} - \hat{V}_{k+1|k}).$$

Тогда в соответствии с (5) запишем

$$m_{k+1} \approx r(G^T \hat{V}_{k+1|k}), \quad \sigma_{k+1}^2 \approx \left(\frac{\partial r(G^T \hat{V}_{k+1|k})}{\partial G^T \hat{V}_{k+1|k}} \right)^2 G^T R_{k+1|k} G + \sigma^2, \quad (7)$$

где $R_{k+1|k}$ - ковариационная матрица прогноза. Для нахождения величин $\hat{V}_{k+1|k}$, $R_{k+1|k}$ воспользуемся стандартными калмановскими уравнениями фильтрации

$$\hat{V}_{k+1|k} = L_{k+1,k} \hat{V}_k,$$

$$R_{k+1|k} = L_{k+1,k} R_k L_{k+1,k}^T + N_{k+1,k} D_V N_{k+1,k}^T.$$

$$R_{k+1} = R_{k+1|k} - \left(\frac{\partial r(G^T \hat{V}_{k+1|k})}{\partial G^T \hat{V}_{k+1|k}} \right)^2 R_{k+1|k} G \left\{ \left(\frac{\partial r(G^T \hat{V}_{k+1|k})}{\partial G^T \hat{V}_{k+1|k}} \right)^2 G^T R_{k+1|k} G + \sigma^2 \right\}^{-1} G^T R_{k+1|k}, \quad (8)$$

$$\hat{V}_{k+1} = V_{k+1|k} + R_{k+1} G \frac{\partial r(G^T \hat{V}_{k+1|k})}{\partial G^T \hat{V}_{k+1|k}} \sigma^{-2} (z_{k+1} - r(G^T \hat{V}_{k+1|k})),$$

где $L_{k+1}, N_{k+1,k}, D_V$ - блочные матрицы вида

$$L_{k+1,k} = \begin{bmatrix} \varphi_{k+1} & 0 \\ 0 & F_{k+1} \end{bmatrix}, \quad N_{k+1,k} = \begin{bmatrix} \Gamma_{k+1,k} & 0 \\ 0 & D_{k+1,k} \end{bmatrix}, \quad D_V = \begin{bmatrix} \sigma_y^2 & 0 \\ 0 & \sigma_s^2 \end{bmatrix}.$$

Аналогично в предположении $\theta = 0$ запишем

$$\tilde{m}_{k+1} \approx r(G_2^T \hat{S}_{k+1|k}), \tilde{\sigma}_{k+1}^2 \approx \left(\frac{\partial r(G_2^T \hat{S}_{k+1|k})}{\partial G_2^T \hat{S}_{k+1|k}} \right)^2 G_2^T P_{k+1|k} G_2 + \sigma^2. \quad (9)$$

$$\hat{S}_{k+1|k} = F_{k+1,k} \hat{S}_k, P_{k+1|k} = F_{k+1,k} P_k F_{k+1,k}^T + D_{k+1,k} \sigma_s^2 D_{k+1,k}^T,$$

$$P_{k+1} = P_{k+1|k} - \left(\frac{\partial r(G_2^T \hat{S}_{k+1|k})}{\partial G_2^T \hat{S}_{k+1|k}} \right)^2 P_{k+1|k} G_2 \left\{ \left(\frac{\partial r(G_2^T \hat{S}_{k+1|k})}{\partial G_2^T \hat{S}_{k+1|k}} \right)^2 G_2^T P_{k+1|k} G_2 + \sigma^2 \right\}^{-1} G_2^T P_{k+1|k},$$

$$\hat{S}_{k+1} = \hat{S}_{k+1|k} + P_{k+1} G \frac{\partial r(G_2^T \hat{S}_{k+1|k})}{\partial G_2^T \hat{S}_{k+1|k}} \sigma^{-2} (z_{k+1} - r(G_2^T \hat{S}_{k+1|k})).$$

Полученная совокупность выражений (3), (6)-(9) образуют замкнутую систему, позволяющую организовать последовательную процедуру расчёта оптимальных моментов наблюдений $t_2, t_3, \dots, t_n$. Задача обнаружения завершается сравнением апостериорной вероятности $p(\theta = 1 | z_1^n)$ с некоторым порогом h .

Одномерный вариант разработанного алгоритма был подвергнут анализу путем статистического моделирования. При эксперименте исследовалась логарифмическая модель наблюдений, что соответствует применению логарифмического усилителя в радиолокационном тракте.

Экспериментальные исследования полученного алгоритма показали его эффективность в различных ситуациях.

Библиографический список

1. Чемезов О.Н., Чураков Е.П. О фильтрации марковских процессов при оптимальном планировании наблюдений в условиях априорной неопределенности // Приборостроение, 1986, № 11, с.3-7.
2. Сейдж Э., Мелс Дж. Теория оценивания и ее применение в связи и управлении: Пер. с англ. /Под ред. Б.Р. Левина.- М.: Связь, 1976.-496 с.

УДК 517.925.53; ГРНТИ 27.29.17

УСТОЙЧИВОСТЬ ЛОКАЛЬНОГО ИНТЕГРАЛЬНОГО МНОГООБРАЗИЯ СИСТЕМЫ ОБЫКНОВЕННЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ С ВЕКТОРНЫМ ПАРАМЕТРОМ

М.И. Купцов*, А.В. Киселев**, И.М. Купцов***

*Рязанский государственный радиотехнический университет,
Российская Федерация, Рязань, kuptsov_michail@mail.ru,

** Московский университет им. С.Ю. Витте,

Российская Федерация, Москва, kav66@inbox.ru,

*** Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет),
Российская Федерация, Москва, kuptsov.im@phystech.edu

Аннотация. Рассматривается задача существования и устойчивости локального ненулевого интегрального многообразия нелинейной $(n+m)$ -мерной системы обыкновенных дифференциальных уравнений, правая часть которой является периодической вектор-функцией по независимой переменной и содержит векторный параметр.

Ключевые слова: метод преобразующей матрицы, интегральное многообразие, система обыкновенных дифференциальных уравнений, метод функций Ляпунова, устойчивость, неустойчивость.

THE STABILITY OF THE LOCAL INTEGRAL MANIFOLDS OF A SYSTEM OF ORDINARY DIFFERENTIAL EQUATIONS

M.I. Kuptsov*, A.V. Kiselev**, I.M. Kuptsov***

* Ryazan State Radio Engineering University,
Russia, Ryazan, kuptsov_michail@mail.ru,

** Moscow Witte University,

Russia, Moscow, kav66@inbox.ru,

*** Moscow Institute of Physics and Technology (National Research University),
Russia, Moscow, kuptsov.im@phystech.edu

Abstract. The problem of existence and stability of a local nonzero integral manifold is considered of a nonlinear $(n+m)$ -dimensional system of ordinary differential equations, where the right part is a periodic vector-function of independent variable and consists of parameter.

Keywords: the method of transforming matrix, integral manifold, ordinary differential equations system, Lyapunov function method, stability, instability.

Вопросам существования и устойчивости интегральных многообразий систем обыкновенных дифференциальных уравнений и дифференциальных уравнений в частных производных посвящено значительное количество литературы (см., например, [1–23]). Научный интерес к данной тематике вполне объясним, поскольку наличие у системы дифференциальных уравнений интегрального многообразия значительно упрощает дальнейшее исследование системы (особенно это характерно для дифференциальных уравнений в частных производных), а в некоторых случаях позволяет полностью (или почти полностью) построить её фазовый портрет. Кроме того, во многих приложениях (см., например, [14, 18, 23]) интегральные многообразия с заданными свойствами и являются, собственно, целью исследования. Это, прежде всего, относится к устойчивым интегральным многообразиям.

Пусть система обыкновенных дифференциальных уравнений

$$\dot{y} = f(v, y, t) \quad (1)$$

для любых v , t имеет состояние равновесия $y = 0$ и в области Λ её решения существуют и единственны.

Здесь и далее f, y, v – $(n+m)$ –векторы,

$$\dot{y} = \frac{dy}{dt},$$

$$f(v, y, t + T) \equiv f(v, y, t),$$

$$\Lambda = \Lambda_1 \times \Lambda_2,$$

$$\Lambda_1 = \{y : \|y\| \leq \Delta_1\} \subset R^{n+m},$$

$$\Lambda_2 = \{v : \|v\| \leq \Delta_2\} \subset R^{n+m},$$

$$\Delta_1, \Delta_2 - \text{константы},$$

$$R^p \text{ стандартное евклидово пространство размерности } p \text{ и } \|\cdot\| - \text{евклидова норма}$$

в R^p .

Предположим, что замена переменных

$$y = \Gamma(\varepsilon, x, \phi, t), \quad v = \xi(\varepsilon)$$

систему (1) приводит к виду

$$\begin{cases} \dot{x} = X(\varepsilon, x, \phi, t) \cdot x, \\ \dot{\phi} = \Phi(\varepsilon, x, \phi, t), \end{cases}$$

где $\Gamma, \xi, \varepsilon - (n+m)$ -векторы,

$X - (n \times n)$ -матрица,

$x - n$ -вектор,

$\phi, \Phi - m$ -векторы,

$\Gamma(\varepsilon, x, \phi, t) \neq 0$ при $x \neq 0$,

$\Gamma(\varepsilon, 0, \phi, t) \equiv 0$.

Кроме того, будем полагать, что система

$$\begin{cases} \dot{x} = X(0, 0, \phi, t) \cdot x, \\ \dot{\phi} = \Phi(0, 0, \phi, t), \end{cases}$$

имеет m -параметрическое семейство ненулевых kT -периодических решений $x = \bar{x}(\phi_0, t), \phi = \bar{\phi}(\phi_0, t)$.

Будем говорить, что у системы (1) существует n -мерное нетривиальное периодическое интегральное многообразие $\psi(\phi_0, t)$, если для всех ϕ_0 найдётся такое значение $v_0 = \xi(\varepsilon_0)$ параметра v , при котором $\dot{\Gamma}(\varepsilon_0, \psi(\phi_0, t), \phi^\psi(\phi_0, t), t) \equiv f(\xi(\varepsilon_0), \Gamma(\varepsilon_0, \psi(\phi_0, t), \phi^\psi(\phi_0, t), t), t)$, причём $\psi(\phi_0, t)$ не обращается в ноль ни при каких значениях ϕ_0 и t , является ω -периодическим по компонентам m -вектора ϕ_0 , kT -периодическим по t , где k -натуральное число, $\omega = colon(\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_m)$, $\phi = \phi^\psi(\phi_0, t)$ определяет интегральную кривую на многообразии.

Задача существования устойчивого нетривиального периодического интегрального многообразия системы (1) вблизи нулевого многообразия $x = 0$ и решается в данной работе.

Заметим, что $\psi(\phi_0, t)$ является интегральным многообразием в смысле [24], где требование «быть многообразием» заменено аналитическим представлением в виде $y = \Gamma(\varepsilon_0, \psi(\phi_0, t), \phi''(\phi_0, t), t)$.

Полученные результаты развивают и обобщают работы [5–12, 19, 20, 23]. Результаты получены на основе модификации предложенного в [11] метода преобразующей матрицы и метода функций Ляпунова, применение которых позволили свести задачу нахождения устойчивого интегрального многообразия $\psi(\phi_0, t)$ к построению нелинейных операторов и поиску их неподвижных точек в пространстве ограниченных Липшиц-непрерывных вектор-функций. Это позволило получить новые достаточные условия существования устойчивого, неустойчивого и асимптотически устойчивого локального интегрального многообразия системы (1).

Библиографический список

1. Бибииков, Ю. Н. Многочастотные нелинейные колебания и их бифуркации. / Ю. Н. Бибииков – Л.: Изд-во ЛГУ, 1991.
2. Боголюбов, Н. Н. О некоторых статистических методах в математической физике. / Н. Н. Боголюбов – Львов: Изд-во АН УССР, 1945.
3. Гребенников, Е. А. Конструктивные методы анализа нелинейных систем. / Е. А. Гребенников, Ю. А. Рябов – М.: Наука, 1979.
4. Куликов, Д. А. О влиянии геометрических характеристик области на структуру нанорельефа. / Д. А. Куликов, А. В. Секацкая // Вестник Удмуртского университета. Математика. Механика. Компьютерные науки. – 2018, т.28, №3. – С. 293-304.
5. Купцов, М. И. К проблеме существования интегральных многообразий системы дифференциальных уравнений, не разрешенных относительно производных. / М. И. Купцов., М.Т. Терехин, В.В. Теняев // Журнал Средневолжского математического общества. – 2017, т.19, №2. – С. 76-84.
6. Купцов, М. И. Локальное интегральное многообразие систем дифференциальных уравнений, зависящих от параметра. / М. И. Купцов // Дифференциальные уравнения. – 1999, т.35, №11. – С. 1579-1580.
7. Купцов, М. И. Метод преобразующей матрицы доказательства существования интегральных многообразий. / М. И. Купцов, С.Л. Яблочников, И. М. Купцов // Вестник Российской академии естественных наук. – 2018, т. 18, №4. – С. 31–35.
8. Купцов, М. И. Об одной модификации метода интегральных многообразий в системах управления. / М. И. Купцов, В.В. Теняев, И. М. Купцов // Вестник Рязанского радиотехнического университета. – 2016, №55. – С. 146-152.
9. Купцов, М. И. Определение существования интегрального многообразия по свойствам правых частей системы обыкновенных дифференциальных уравнений. / М. И. Купцов, В.В. Теняев, И. М. Купцов // Вестник Российской академии естественных наук. – 2017, т. 17, №4. – С. 35–37.
10. Купцов, М. И. Существование интегрального многообразия системы дифференциальных уравнений. / М. И. Купцов // Дифференциальные уравнения. – 1998, т.34, №6. – С. 855.
11. Купцов, М. И. Существование интегральных многообразий и периодических решений системы обыкновенных дифференциальных уравнений: дис. ... к-та физ.-матем. наук. / М. И. Купцов – Ижевск: Удмуртский государственный университет, 1997.
12. Купцов, М. И. Устойчивость интегрального многообразия системы дифференциальных уравнений в критическом случае. / М. И. Купцов, В.А. Минаев // Актуальные проблемы прикладной математики, информатики и механики : сборник трудов Международной научно-технической конференции, Воронеж, 18–20 декабря 2017 г. – Воронеж : Издательство «Научно-исследовательские публикации», 2017. – С. 98 – 104.
13. Митропольский, Ю. А. Метод усреднения в исследованиях резонансных систем. / Ю. А. Митропольский, Е. А. Гребенников – М.: Наука, 1992.
14. Митропольский, Ю. А. Интегральные многообразия в нелинейной механике. / Ю. А. Митропольский, О. Б. Лыкова – М.: Наука, 1973.
15. Неймарк, Ю. И. Метод точечных отображений в теории нелинейных колебаний. / Ю. И. Неймарк – М.: Либроком, 2010.

16. Румянцев, В. В. Устойчивость и стабилизация движения по отношению к части переменных. / В. В. Румянцев, А. С. Озиранер – М.: Наука, 1987.
17. Самойленко, А. М. Элементы математической теории многочастотных колебаний. Инвариантные торы. / А. М. Самойленко – М.: Наука, 1987.
18. Щетинина, Е. В. Интегральные многообразия и затягивание потери устойчивости: дис. ... к-та физ.-матем. наук. / Е. В. Щетинина – Воронеж: Воронежский государственный университет, 2005.
19. Kuptsov M. I. Local integral manifold of a system of differential equations // Differ. Eqs. – 1998. т. 34, №7. – С. 1005 – 1007.
20. Kuptsov M. I., Minaev V. A. Stability integral manifold of the differential equations system in critical case // J. Phys.: Conf. Ser. – 2018. №973, 012055.
21. Sobolev V. Slow integral manifolds and control problems in critical and twice critical cases // J. Phys.: Conf. Ser. – 2016. №727, 012017.
22. Vasilina G. K., Tleubergenov M. I. On the optimal stabilization of an integral manifold // Journal of Mathematical Sciences. – 2018. т. 229, №4. – С. 390–402.
23. Yablochnikov S. L., Yablochnikova I. O., Vidov S. V., Kuptsov M. I., Olisaeva A. V. The aspects of modeling information processes realized in complex telecommunication systems // Conference Proceedings: 2018 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems, Russia, Saint-Petersburg, 26-30 November 2018. – IEEE, 2018. – С. 1–5.
24. Самойленко, А. М. Интегральное многообразие. / А. М. Самойленко // Математическая энциклопедия, т. 2. – М.: Советская энциклопедия, 1977–1985. – С. 500.

УДК 330.43; ГРНТИ 27.43.51

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ПОСТРОЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ФУНКЦИИ КОББА-ДУГЛАСА

Е.А. Сетько, В.Ю. Медведева

*Гродненский государственный университет имени Янки Купалы,
Республика Беларусь, Гродно, Setko.e@mail.ru, Medvedeva_VJ_97@mail.ru*

Аннотация. В статье обсуждается важность умения строить математическую модель в образовании современного экономиста. На примере разработки модели построения производственной функции Кобба-Дугласа показываются этапы создания экономико-математической модели и оценка ее качества.

Ключевые слова: математическая модель, производственная функция, оценка значимости модели.

DEVELOPMENT OF A MODEL FOR THE CONSTRUCTION OF A COBBA-DUGLAS PRODUCTION FUNCTION

E.A. Setko, V.J. Medvedeva

*Yanka Kupala State University of Grodno,
Republic of Belarus, Grodno, Setko.e@mail.ru, Medvedeva_VJ_97@mail.ru*

Abstract. The article discusses the importance of the ability to build a mathematical model in the education of a modern economist. Using the example of developing a model for building the Cobb-Douglas production function, the stages of creating an economic-mathematical model and evaluating its quality are shown.

Keywords: mathematical model, production function, assessment of the significance of the model.

Математика органично вошла во многие отрасли современной науки и практики. Можно смело утверждать, что ее методы являются неотъемлемой частью исследований в технических, экономических и социальных сферах. Эффективное использование математических методов, построение адекватных моделей изучаемых явлений в единстве с обстоятельным их анализом открывает новые возможности, как для теоретической науки, так и для практики. Поэтому в процессе обучения в университете при изучении математических дисциплин важно научить студентов технических и экономических специальностей уверенному владению общей методологией использования математического инструментария и построе-

нию экономико-математических моделей, что, несомненно, пригодится молодым людям в профессиональной деятельности.

Рассмотрим, например, задачу построения производственной функции на основе определенных статистических данных. Надо отметить, что различные функциональные зависимости широко используются в экономических исследованиях. Что касается функциональных зависимостей выпуска продукции от определенного набора факторов, то наиболее популярными у исследователей являются линейные и мультипликативно-степенные производственные функции. Второй класс представлен функцией Кобба-Дугласа с постоянной эластичностью: $Y = AK^\alpha L^\beta$, где L – затраты живого труда; K – затраты капитала. Построение требуемой модели можно представить в виде следующих этапов:

1. Подготовка статистических данных. Рекомендуется использование данных статистики за период не менее 10 лет на каждую экзогенную переменную с некоторым базовым периодом.

Например:

Y_t – валовой внутренний продукт в стоимостном выражении (долларах США),

K_t – инвестиции в основной капитал в стоимостном выражении (долларах США);

L_t – среднегодовая численность занятых в экономике (человек).

2. Преобразование данных к безразмерным величинам (например, к темпам роста).

3. Построение графиков зависимостей переменных: динамика ВВП, капиталозатрат и трудозатрат, – для исследования изменения показателей.

4. Эконометрическое оценивание степенной функции Кобба-Дугласа в логарифмах методом наименьших квадратов (МНК): $\ln Y = \ln A + \alpha \ln K + \beta \ln L$.

5. Оценка качества полученной модели:

а) *t-распределение Стьюдента* [1, с. 56];

б) *F-критерий Фишера* [1, с. 59];

в) проверка адекватности регрессионной модели с помощью коэффициента детерминации [2, с. 28].

6. Если модель незначима, то спецификация модели неверна. В противном случае, следует перейти к проверке следующих классических модельных предположений:

а) *случайность остаточной последовательности*, которую можно найти по критерию пиков (поворотных точек) [3, с. 143];

б) *отсутствие автокорреляции* [2, с. 56];

в) *присутствие гомоскедастичности* (отсутствие гетероскедастичности) [2, с. 59];

г) *отсутствие мультиколлинеарности* [2, с. 53];

д) подчинение ряда остатков нормальному закону распределения при помощи RS-критерия [3, с. 168].

При выполнении всех предпосылок МНК, строится функция Кобба-Дугласа (рисунок 1); в противном случае, существуют проблемы в статистических данных, что требует их детального анализа.

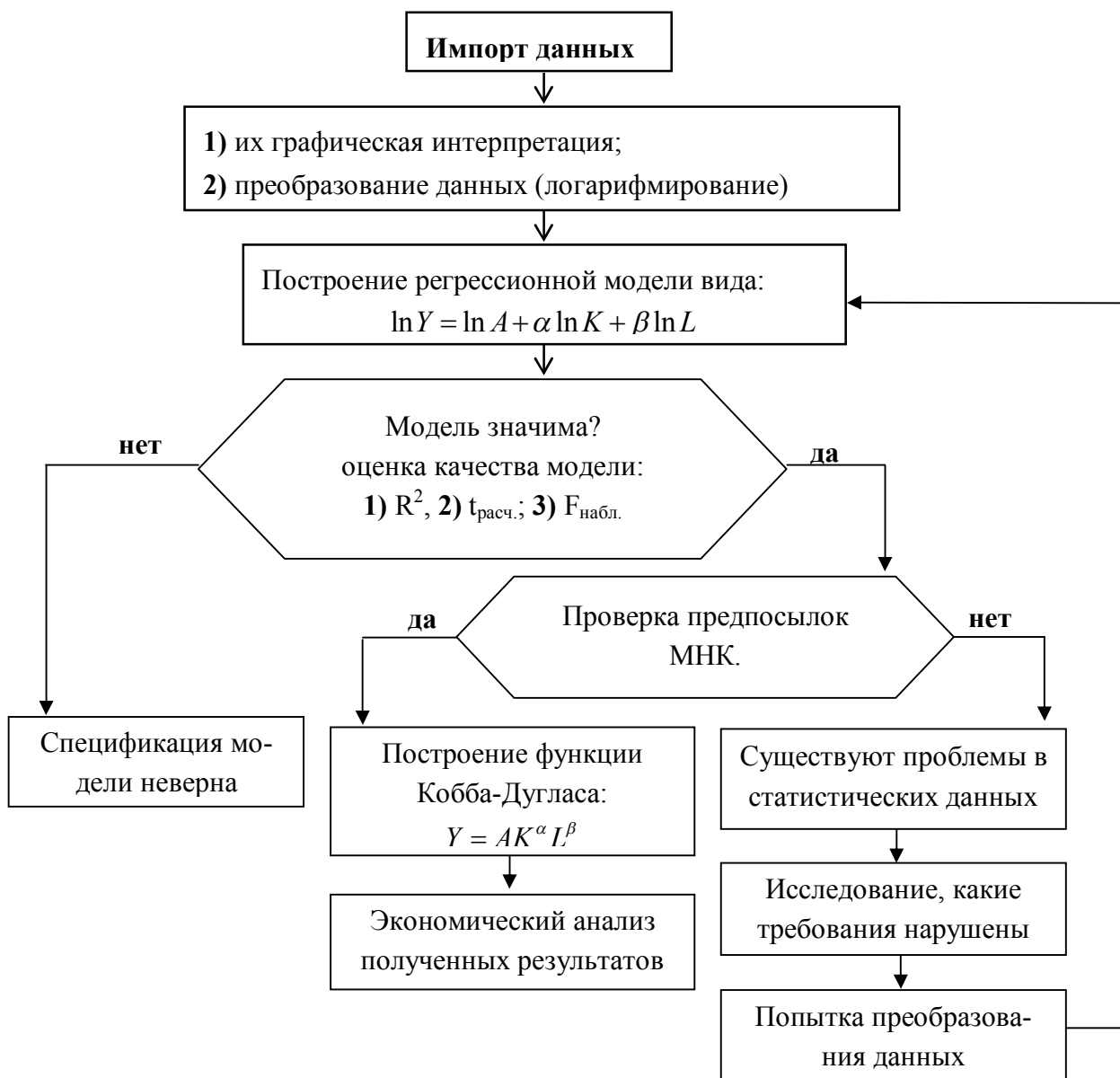


Рис. 1. Алгоритм построения производственной функции Кобба-Дугласа

Таким образом, при выборе вида производственной функции и нахождении её определяющих параметров возникают различные проблемы: выбор надлежащих объясняющих переменных, подготовка соответствующих данных, статистическая оценка, экономическая интерпретация. Все это существенно влияет на адекватность и экономическую интерпретацию полученных результатов, что способствует выявлению технологических взаимосвязей в производстве и является одной из важных эконометрических задач.

Заметим, что использование стандартных пакетов обработки статистических данных, таких, как Excel, EViews и R-пакет, упрощает реализацию разработанного алгоритма.

Самым популярным для использования в научных исследованиях является приложение *Microsoft Excel* из пакета офисных программ компании Microsoft – MS Office. Это объясняется наличием русскоязычной версии, тесной интеграцией с MS Word и Power Point, а также простым функционалом для красочной визуализации некоторых данных. Программа хорошо подходит для накопления данных, промежуточного преобразования, предварительных статистических обработок, для построения некоторых видов диаграмм.

Однако MS Excel – это электронная таблица, где невозможно построить качественные научные графики, а некоторые статистические функции являются просто дополнительными встроенными формулами. Поэтому окончательный статистический анализ приходится делать в программах, которые специально созданы для этих целей.

Программная среда R содержит наиболее полный перечень методов эконометрики для анализа временных рядов, пространственных и панельных данных, а также методов многомерного статистического анализа. В ней доступно линейное и нелинейное моделирование, анализ временных рядов, проверка статистических гипотез, возможности работы с двухмерной и трехмерной графикой [4].

Использование разработанной методологии построения производственных функций на основе временных рядов применимо для прогнозирования региональной экономики [5].

Библиографический список

1. Поттосина, С. А. Экономико-математические модели и методы : учеб. пособие / С. А. Поттосина, В. А. Журавлев // Минск : Изд-во БГУИР, 2003. – 94 с.
2. Хацкевич, Г. А. Эконометрика : учеб.-метод. комплекс для студ. эконом. спец. / Г. А. Хацкевич, А. Б. Гедранович // Минск : Изд-во МИУ, 2005. – 252 с.
3. Бородич, С. А. Эконометрика : учеб. пособие / С. А. Бородич. – 2-е изд., испр. – Минск: Новое знание, 2004. – 416 с.
4. Роберт, И. R в действии. Анализ и визуализация данных в программе R / И. Роберт, пер. сангл. Полины А. Волковой. – М.: ДМК Пресс, 2014. – 588 с.
5. Горбунов, В.К. Построение производственных функций по данным об инвестициях / В.К. Горбунов, А.Г. Львов // Экономика и математические методы. – 2012. – Т. 48, №2. – С.95-107.

УДК 330.4

АНАЛИЗ ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ МИГРАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В РЯЗАНСКОЙ ОБЛАСТИ

И.Е. Каплина, В.В. Куприянов

*Рязанский государственный университет имени С.А. Есенина,
Российская Федерация, Рязань, iri.kaplina@yandex.ru*

Аннотация. В статье приведено понятие миграции, отмечены основные виды экономико-математического моделирования миграции. Проанализированы показатели миграции в Рязанской области за 2010-2016 гг. Выявлены факторы, оказывающие наибольшее влияние на уровень миграции.

Ключевые слова: миграция, моделирование, экономико-математические модели.

ANALYSIS OF ECONOMIC-MATHEMATICAL MODELS OF MIGRATION PROCESSES IN THE RYAZAN REGION

I.E. Kaplina, V.V. Kupriyanov

*Ryazan state University named for S.A. Yesenin,
Russia, Ryazan, iri.kaplina@yandex.ru*

The summary. The article presents the concept of migration, the main types of economic and mathematical modeling of migration. Analyzed the performance of migration in the Ryazan region in 2010-2016 factors that have the greatest impact on the level of migration.

Keywords: migration, modeling, economic and mathematical models.

Профессиональный экономист в своей работе должен не только прекрасно знать особенности математического аппарата, но и быть способным применить эти знания на практике, для анализа различных экономических процессов и явлений. Одним из наиболее важных экономических процессов последних десятилетий выступает процесс миграции населения. Под миграцией в широком смысле слова большинство ученых понимают перемещение насе-

ления между различными территориями как внутри одной страны, так и между различными государствами. Для изучения и прогнозирования уровня миграции необходимо использовать математические модели.

Под математической моделью понимается система математических функций (уравнений) описывающая качества реального процесса или явления. Одна из основных целей моделирования – прогнозирование и выработка рекомендаций для принятия управленческих решений. В настоящее время ученые выделяют два вида экономико-математических моделей это современные и традиционные модели [3]. К традиционным относятся гравитационная модель, факторная модель, метод Марковских цепей, оптимизационная модель. К современным относятся нейросетевое и имитационное моделирование.

Многие ученые сходятся во мнении, что для изучения миграции отдельно взятого региона необходимо и достаточно использовать именно факторную модель. Преимуществом данной модели является, то, что она учитывает важнейшие социально-экономические факторы, в ней дается качественная оценка миграционных процессов [4]. Однако не стоит забывать и про высокую роль качества собранных данных ведь от него зависит конечный результат исследования. В России для изучения миграционных процессов, как правило, опираются на официальные данные федеральной службы государственной статистики [1].

Цель данной работы - проанализировать изменение миграции в Рязанской области, выяснить какие факторы оказывают влияние на изменение уровня миграции, а какие нет, сделать выводы. Для анализа изменения миграции в Рязанской области воспользуемся данными Федеральной службы государственной статистики по Рязанской области находящиеся в открытом доступе [2]. В таблице 1 представлено изменение миграционного прироста, убыли (разница между прибывшими и выбывшими) населения за период с 2010 по 2016 годы.

Таблица 1. Изменение миграционного прироста, убыли населения Рязанской области за период с 2010 по 2016 годы

Годы	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Миграционный прирост (человек)	204	3732	2561	1861	454	1	1864

Для наглядности на основе данных таблицы построим график, приведенный на рисунке 1. Из графика видно, что показатель миграции в Рязанской области не имеет стабильного значения, а развивается скачкообразно. Так пик миграции пришелся на 2011 год, когда экономика России была на подъеме, далее показатель постепенно снижался и в 2015 году уровень миграционного прироста достиг своего исторического минимума, что вероятнее всего связано с неблагоприятной экономико-политической ситуацией сложившейся в России и в мире.

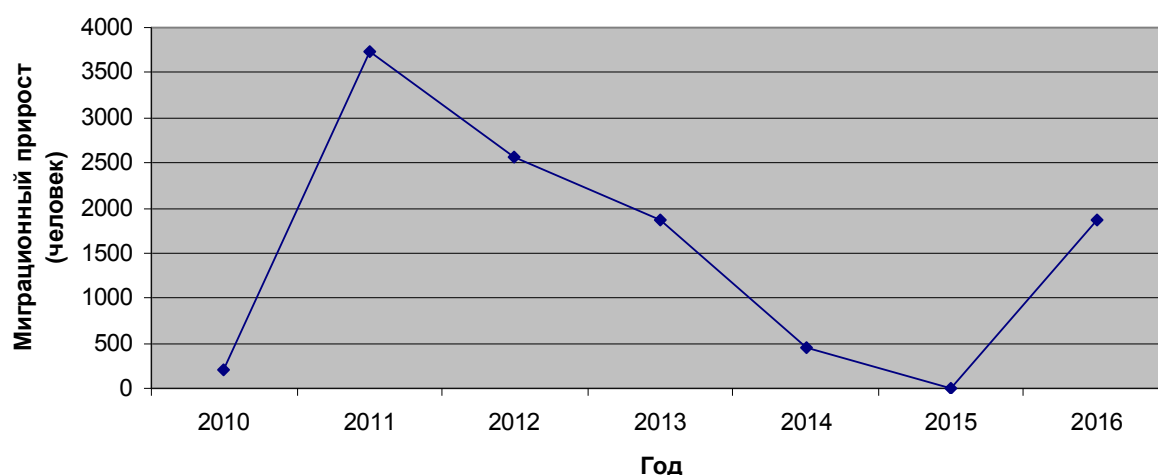


Рис. 1. Показатель миграции в Рязанской области

Далее на основании многочисленных научных работ в области исследования миграции рассмотрим основные факторы, оказывающие влияние на показатель миграции. В большинстве случаев к ним относятся следующие показатели представленные в таблице 2.

Таблица 2. Показатели, оказывающие влияние на миграцию

Переменная	Значение показателя	Единица измерения
x1	ВРП на душу населения	руб.
x2	Численность населения	тыс. чел.
x3	Среднемесячная номинальная начисленная заработная плата работников организаций	руб.
x4	Численность рабочей силы	тыс. чел.
x5	Средние цены на первичном рынке жилья	руб. за 1 кв. м.

Для того, чтобы определить какие из этих факторов наиболее значимые проведем вычисления с помощью пакета “Анализ данных” программы MS Excel. Оценим данные показатели, используя полученное Р-значение для каждой из переменных. Нормативное Р-значение, при котором переменная оказывает влияние на уровень миграции, находится на уровне значимости 0,05. При этом, чем ниже полученное Р-значение тем выше уровень его значимости и тем соответственно большее влияние оказывает этот показатель на уровень миграции. Получившийся результат представлен в таблице 3.

Таблица 3. Р-значение переменных

Переменная	Р-значение	Уровень значимости
x1	4,34563E-05	3
x2	3,7124E-10	1
x3	0,001860174	4
x4	1,36478E-08	2
x5	0,017157364	5

Исходя из полученных результатов можно сделать вывод, что наибольшее влияние на показатель миграции в Рязанской области в период с 2010 по 2016 годы оказывали численность населения (переменная x_2), численность рабочей силы (переменная x_4) а наименьшее средние цены на первичном рынке жилья (переменная x_5).

Таким образом, в ходе проведенного исследования были выявлены факторы, оказывающие наибольшее влияние на уровень миграции населения в Рязанской области в период с 2010 по 2016 годы. Для привлечения в регион мигрантов необходимо прежде всего вводить меры, стимулирующие повышение численности населения а также уделить особое внимание численности рабочей силы.

Библиографический список

1. Регионы России. Социально-экономические показатели: статистический сборник. 2011–2017 гг. [Электронный ресурс] // Федеральная служба государственной статистики. URL: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/doc_1138623506156 (дата обращения 10.02.2019 г.).
2. Российский статистический ежегодник: статистический сборник. 2018 г. [Электронный ресурс] // Федеральная служба государственной статистики. URL: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/doc_1135087342078 (дата обращения 12.02.2019 г.).
3. Корепина Т.А. Сравнительный анализ подходов к моделированию миграции // Вопросы территориального развития. 2017. № 1 (36). С. 1-12.
4. Надирбаева Л.А. Применение методов экономико-математического моделирования для анализа миграционных процессов в России // World Science: Problems and Innovations: материалы конференции. Пенза, 2017. С. 205-207.

УДК 517.977.55; ГРНТИ 27.29.21

ЧИСЛЕННЫЙ МЕТОД ОЦЕНКИ ОБЛАСТИ ДОСТИЖИМОСТИ ДЛЯ ЛИНЕЙНЫХ НЕАВТОНОМНЫХ СИСТЕМ

К.М. Ву

*Рязанский государственный радиотехнический университет,
Российская Федерация, Рязань, vuquangminh2631990@gmail.com*

Аннотация. В данной работе оценим область достижимости начала координат для систем линейных неавтономных дифференциальных уравнений второго порядка в любой момент времени с помощью численного метода.

Ключевые слова: область достижимости, линейные автономные и линейные неавтономные системы, достижим в малом.

NUMERICAL METHOD OF ESTIMATION OF AREA OF ATTAINABILITY FOR LINEAR NON-AUTONOMOUS SYSTEMS

Q.M. Vu

*Ryazan State Radio Engineering University,
Russia, Ryazan, vuquangminh2631990@gmail.com*

The summary. In this paper, we estimate the attainability domain of the origin for systems of linear non-autonomous differential equations of second order at any time using the numerical method.

Key words: reachable domain, linear autonomous and linear non-autonomous systems, achievable in small.

В начале рассмотрим систему двух линейных неавтономных дифференциальных уравнений:

$$\frac{dx}{dt} = A(t)x + v(t)u, \quad (1)$$

где $x = [x_1(t), x_2(t)]^T$ - вектор фазовых переменных системы;

$u = [u_1, u_2]^T$ - постоянный вектор;

$v(t)$ - известная нормированная кусочно-постоянная (или кусочно-непрерывная) функция управления,

$$-1 \leq v \leq 1;$$

$A = \begin{bmatrix} a(t) & b(t) \\ c(t) & d(t) \end{bmatrix}$ - матрица с элементами, которые являются функциями от времени t .

Постановка задачи

Исследовать существование области достижимости начала координат для системы (1) численным методом.

Для системы (1) найдем область начальных данных в произвольный момент времени t , из каждой точки которой можно достичь начала координат за конечное время.

В работе Карасева [1,2] сформированы и доказаны следующие теоремы оценки существования области достижимости для линейных систем.

Теорема 1. Для того, чтобы начало координат было достижимо «в малом» для системы (1), необходимо и достаточно, чтобы число $k = \frac{u_2}{u_1}$ не является корнем уравнения

$$b(t)z^2 + [a(t) - d(t)]z - c = 0, \quad (2)$$

Теорема 2. Пусть для системы (1)

- 1) начало координат достижимо в малом.
- 2) выполнено одно из условий:
 - А) $\operatorname{Re} \lambda_i < 0, \quad i = 1, 2, \quad \lambda_1 \neq \lambda_2$,
 - Б) $\lambda_1 = \lambda_2 \leq 0$ и матрица A имеет кратный элементарный делитель.
 - В) $\lambda_1 < 0, \lambda_2 = 0$,
 - Г) $\operatorname{Re} \lambda_i = 0, \operatorname{Im} \lambda_i \neq 0, i = 1, 2$.

Тогда начало координат достижимо в большом для системы (1).

Теорема 3. Пусть для системы дифференциальных уравнений (1) начало координат достижимо в малом и пусть выполнено одно из условий:

- а) $\operatorname{Re} \lambda_i > 0, \quad i = 1, 2, \quad \lambda_1 \neq \lambda_2$,
- б) $\lambda_1 = \lambda_2 > 0$ и матрица A имеет кратный элементарный делитель;
- в) $\lambda_1 < 0; \lambda_2 > 0$,
- г) $\lambda_1 = 0, \lambda_2 > 0$.

Тогда областью достижимости D является некоторая часть фазового пространства R^2 .

Согласно этим теоремам оценка существования области достижимости для системы (1) осуществляется по следующим шагам:

Шаг 1. Проверить является ли число $k = u_2/u_1$ корнем уравнения (2) в рассматриваемом интервале времени $[t_0, t_1]$. Если нет то области достижимости для системы (1) не существует. В противном случае перейдем к шагу 2.

Шаг 2. Найдем собственные значения матрицы A системы (1) и проверить их с условиями в теоремах 2,3.

Необходимо найти собственные значения матрицы A системы (1).

Характеристическое уравнение для системы (1):

$$\begin{vmatrix} a(t) - \lambda & b \\ c & d(t) - \lambda \end{vmatrix} = 0.$$

В итоге мы получим уравнение относительно λ :

$$\lambda^2 - \lambda[a(t) + d(t)] + a(t)d(t) - b(t)c(t) = 0. \quad (3)$$

Если дискриминант $\Delta(t) \geq 0$ то мы получим вещественные решения уравнения (3):

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= \frac{a(t) + d(t) - \sqrt{\Delta(t)}}{2} = \frac{f(t) - \sqrt{\Delta(t)}}{2}, \\ \lambda_2 &= \frac{a(t) + d(t) + \sqrt{\Delta(t)}}{2} = \frac{f(t) + \sqrt{\Delta(t)}}{2}. \end{aligned}$$

Здесь $f(t) = a(t) + d(t)$.

Если дискриминант $\Delta(t) < 0$, то мы получим комплексные решения уравнения (3):

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= \frac{a(t) + d(t) - i\sqrt{-\Delta(t)}}{2} = \frac{f(t) - i\sqrt{-\Delta(t)}}{2}, \\ \lambda_2 &= \frac{a(t) + d(t) + i\sqrt{-\Delta(t)}}{2} = \frac{f(t) + i\sqrt{-\Delta(t)}}{2}. \end{aligned}$$

Шаг 3. По результатам, полученным в шагах 1 и 2, оценим области достижимости для системы (1).

Отметим, что в случае, когда $f(t)$ и $\Delta(t)$ – сложные выражения, использование этих теорем оценки существования области достижимости неудобное.

В связи с этим мы оценим области достижимости системы (1) численным методом.

Оценка области достижимости линейной неавтономной системы численным методом

Например, для системы (1): $f(t) = t^2 + 2$, $\Delta(t) = t^3 - 1$, $[t_0, t_1] = [0, 3]$, $k = u_2/u_1 = 1$ и соответствующее уравнение (2) для чисел $k = 1$: $t^2 + 3t + 1 = 0$.

Не трудно видеть, что $t^2 + 3t + 1 > 0 \forall t \in [0, 3]$. Следовательно, число $k = \frac{u_2}{u_1} = 1$ не является корнем уравнения (2) $\forall t \in [0, 3]$.

Далее очевидно, что дискриминант $\Delta(t) < 0$ в интервале времени $[0, 1)$ и $\Delta(t) \geq 0$ в отрезке времени $[1, 3]$.

При $\Delta(t) \geq 0$:

$$\lambda_1 = \frac{t^2 + 2 - \sqrt{t^3 - 1}}{2},$$

$$\lambda_2 = \frac{t^2 + 2 + \sqrt{t^3 - 1}}{2}.$$

На рисунке 1 показаны значения λ_1 и λ_2 в произвольные моменты времени t в интервале $[1, 3]$, например $t = 1,5$ и $t = 2,75$.

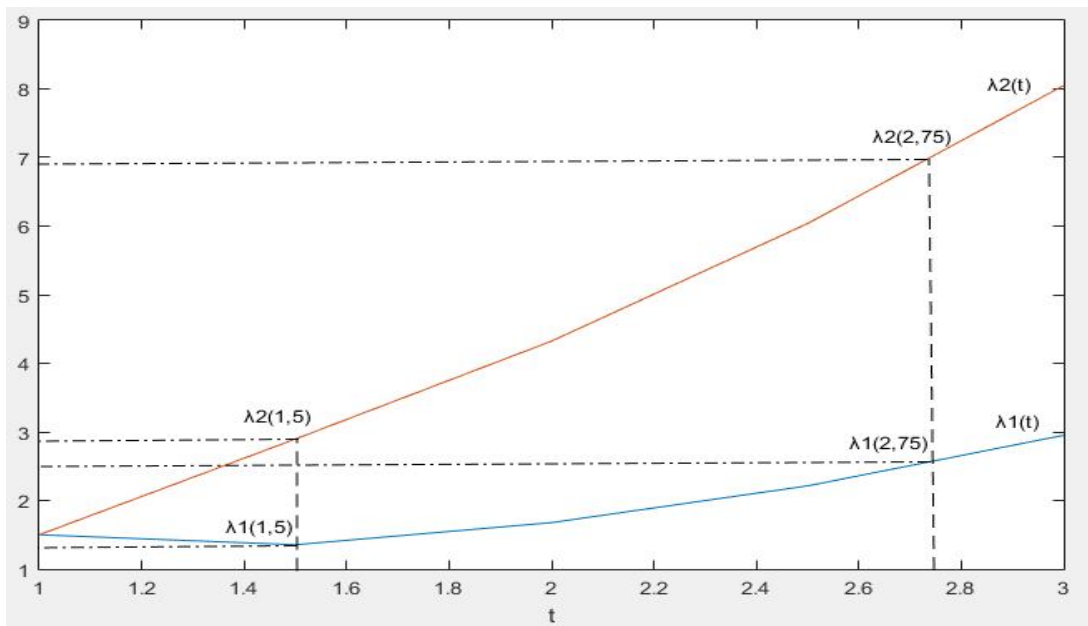


Рис. 1. Нахождение λ_1 и λ_2 в интервале $[1, 3]$ при $t = 1,5$ и $t = 2,75$

Согласно теореме 3 в моменты времени $t = 1,5$ и $t = 2,75$ областью достижимости для системы (1) является некоторая часть фазовой плоскости R^2 .

При $\Delta(t) < 0$:

$$\lambda_1 = \frac{t^2 + 2 - i\sqrt{1 - t^3}}{2},$$

$$\lambda_2 = \frac{t^2 + 2 + i\sqrt{1 - t^3}}{2}.$$

В этом случае нас только интересует вещественная часть собственных значений.

Определим значения λ_1 и λ_2 в произвольные моменты времени t в интервале $[0,1)$ например $t = 0,4$ (рис.2).

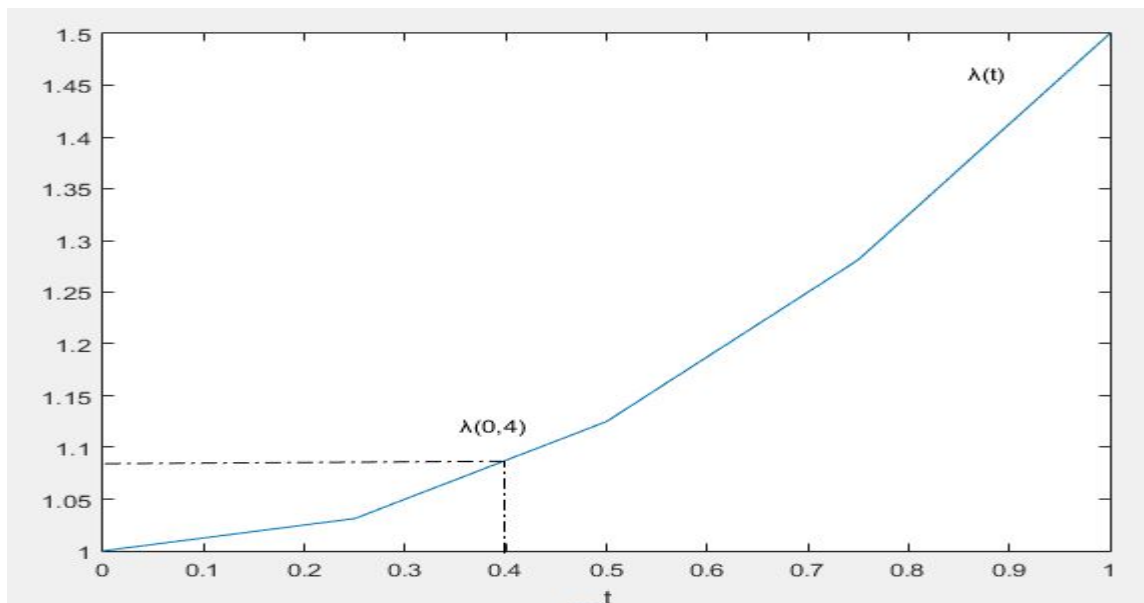


Рис. 2. Нахождение вещественных частей λ_1 и λ_2 в интервале $[0,1)$ при $t = 0,4$

Видно, что в моменты времени $t = 0,4$ областью достижимости для системой (1) является некоторая часть фазовой плоскости R^2 .

Библиографический список

1. Карасёв И.П. О существовании области достижимости // Дифференциальные уравнения. – 1967. – Т.3. – № 12. – С. 68-74.
2. Миронов В.В., Митрохин Ю.С. Новый подход к исследованию устойчивости и управляемости динамических систем // Труды международной конференции «Алгебраические и аналитические методы в теории дифференциальных уравнений». – Орел, 1996. – С. 127–129.

УДК 519.852; ГРНТИ 27.43.51

НАХОЖДЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ ПЕДАГОГА В УСЛОВИЯХ СОВРЕМЕННОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОСТРАНСТВА

А.Ю. Бацева, С.А. Бельман

Рязанский государственный университет имени С.А. Есенина,

Российская Федерация, Рязань, an_batseva@mail.ru, sabelman@mail.ru

Аннотация. В работе производится построение задачи линейного программирования для нахождения оптимального соотношения между рабочим временем учителя и размером заработной платы за выполнение соответствующих функций. Приводятся основные факторы влияющие на размер оплаты труда учителя.

Ключевые слова: рабочее время педагога, задача линейного программирования, оптимальное решение, симплекс-метод.

FINDING OF THE OPTIMUM OPERATING MODE OF THE TEACHER IN THE CONDITIONS OF MODERN EDUCATION

A.Yu. Batseva, S.A. Belman

Ryazan State University named for S.A. Yesenin,

Russia, Ryazan, an_batseva@mail.ru, sabelman@mail.ru

The summary. The article deals with creation finding of an optimum ratio between working hours of the teacher and the teacher's wage. The major factors that influence on the teacher's wage are given.

Keywords: working hours of the teacher, linear programming, optimal solution, simplex- method.

В результате мониторинга, проведенного органами государственной статистики в середине 2018 года, было выявлено, что в различных регионах страны степень дифференциации размера оплаты труда учителя велика. Во многом такая тенденция сложилась по причине высокой рабочей нагрузки педагогов. Высокая рабочая нагрузка дестимулирует учителей вести педагогическую деятельность. В связи с этим проблема оптимального режима работы педагога в условиях современного образовательного пространства России особенно актуальна.

Педагогическая эргономика – это наука, занимающаяся вопросами оптимизации педагогической системы. Педагогическая система в этом аспекте включает следующие элементы: ученик, учитель и учебная среда. Для создания оптимальных условий функционирования педагогической системы при минимальных затратах различных ресурсов педагогическая эргономика занимается проблемами трудовых возможностей ученика и учителя.

Для эффективной деятельности педагога необходимо найти оптимальный режим его работы, при котором размер заработной платы достигает высокого уровня. В связи с этим возникает вопрос: «Какая математическая модель позволит найти оптимальную продолжительность рабочего времени учителя так, чтобы при этом размер оплаты труда был максимизирован?».

На наш взгляд, в данном случае целесообразно применять задачу линейного программирования, так как постановка вышеуказанного вопроса предполагает нахождение оптимального решения, при котором целевая функция достигает экстремума с учетом заданных ограничений ресурсов. Ограничениями являются временные рамки для выполнения учителем различных обязанностей, а целевая функция $f(x)$ описывает взаимосвязь между размером заработной платы и рабочим временем педагога.

Задача линейного программирования, учитывающая базовые функции учителя

При построении задачи линейного программирования были использованы данные о средних размерах оплаты труда учителя школы за выполнение различных видов должностных обязанностей в г. Рязань.

В целях упрощения расчетов примем, что заработная плата учителя складывается из следующих элементов: базовой и стимулирующей частей. Базовая часть заработной платы учителя – это вознаграждение за выполнение педагогом должностных обязанностей. В данную категорию входит ведение уроков и подготовка к ним, проверка тетрадей, внеурочная деятельность. Стимулирующая часть заработной платы включает выплаты за выполнение учителем дополнительных функций.

Трудовой кодекс РФ и ряд нормативных актов регламентирует ограничения режима педагогов: минимальное рабочее время учителя составляет 18 часов в неделю, максимальное – 36 часов в неделю. Согласно законодательству Рязанской области минимальный оклад педагогических работников средней школы составляет 4 680 руб. [1].

Размер оплаты труда за проверку учителями тетрадей составляет:

- около 10 % от количества часов русского языка и математики для учителей начальных классов;
- около 10 % от количества часов математики для учителей математики средней школы.

Для основного общего образования объем внеурочной деятельности согласно ФГОС не должен превышать за 5 лет 1 750 часов [2]. Средний еженедельный размер оплаты труда учителя за ведение внеурочной деятельности составляет 250 руб.

С учетом вышеуказанных данных составим задачу линейного программирования для нахождения оптимального режима работы на неделю учителя математики средней школы в г. Рязань. При этом учтены только базовые должностные обязанности педагога.

$$f(x) = 65x_1 + 25x_2 + 250x_3 \rightarrow \max \quad (1)$$

$$\begin{cases} x_1 + x_2 + x_3 \leq 36, \\ x_1 \geq 18, \\ x_2 \geq 1, \\ x_3 \leq 6, \end{cases} \quad (2)$$

$$x_1, x_2, x_3 \geq 0, \quad (3)$$

где x_1 – рабочее время учителя в неделю, которое он тратит на подготовку и ведение уроков, часов;

x_2 – рабочее время учителя в неделю, которое он тратит на проверку тетрадей, часов;

x_3 – рабочее время учителя в неделю, которое он тратит на внеурочную работу, часов.

Решая полученную задачу линейного программирования (1), (2), (3) симплекс-методом, найдем оптимальное решение. Конечная симплекс-таблица приведена в таблице 1.

Таблица 1. Конечная симплекс-таблица

Базис	В	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9
x_5	11	0	0	0	1	1	1	-1	-1	-1
x_1	29	1	0	0	1	0	1	-1	0	-1
x_2	1	0	1	0	0	0	-1	0	0	1
x_3	6	0	0	1	0	0	0	1	0	0
$\square_j$	3 410	0	0	0	65	0	40	185	0	40

На основании полученных результатов можно сделать вывод о том, что в г. Рязань оптимальный режим работы учителя математики составляет: 29 часов в неделю на подготовку и ведение уроков, 1 час в неделю на проверку тетрадей и 6 часов в неделю на ведение внеурочной деятельности и тогда размер его максимальной еженедельной заработной платы составит 3 410 руб.

Задача линейного программирования, учитывающая базовые и дополнительные функции учителя

Кроме базовых должностных обязанностей учитель выполняет дополнительные функции, за которые согласно действующему законодательству предусмотрены надбавки. Каждая надбавка входит в состав стимулирующей части заработной платы учителя. Надбавки предусмотрены педагогу, например за работу с родителями, разработку дидактических материалов и др. Составим задачу линейного программирования, в которой помимо рабочего времени учителя на выполнение базовых должностных обязанностей учитывается время, отводимое на дополнительные задачи: работа с родителями и разработка дидактических материалов. Размер надбавок за данные виды работ составляет:

- 10 % от окладной части за работу с родителями;
- 15 % от окладной части за разработку дидактических материалов.

Таким образом, получим следующую задачу линейного программирования:

$$f(x) = 65x_1 + 25x_2 + 250x_3 + 4.68x_4 + 7.02x_5 \rightarrow \max \quad (4)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} x_1 + x_2 + x_3 \leq 36, \\ x_1 \geq 18, \\ x_2 \geq 1, \\ x_3 \leq 6, \\ x_4 \geq 1, \\ x_5 \geq 1, \\ x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 \leq 80, \end{array} \right. \quad (5)$$

$$x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 \geq 0, \quad (6)$$

где x_1 – рабочее время учителя в неделю, которое он тратит на подготовку и ведение уроков, часов;

x_2 – рабочее время учителя в неделю, которое он тратит на проверку тетрадей, часов;

x_3 – рабочее время учителя в неделю, которое он тратит на внеурочную работу, часов;

x_4 – рабочее время учителя в неделю, которое он тратит на работу с родителями, часов;

x_5 – рабочее время учителя в неделю, которое он тратит на разработку дидактических материалов, часов.

Оптимальное решение задачи (4), (5), (6) полученное симплекс-методом, приведено в таблице 2.

Таблица 2. Конечная симплекс-таблица

Базис	В	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅	x ₆	x ₇	x ₈	x ₉	x ₁₀	x ₁₁	x ₁₂	x ₁₃	x ₁₄	x ₁₅	x ₁₆
x ₇	11	0	0	0	0	0	1	1	1	-1	0	0	0	-1	-1	0	0
x ₁	29	1	0	0	0	0	1	0	1	-1	0	0	0	0	-1	0	0
x ₂	1	0	1	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0
x ₃	6	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
x ₄	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	1	0
x ₅	43	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	1	0	1	0	0	-1	0
x ₁₁	42	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	1	1	1	0	0	-1	-1
□ _j	3716.54	0	0	0	0	0	57.98	0	40	185	2.34	0	7.02	0	-40	-2.34	0

Таким образом, за счет введения в задачу линейного программирования новых компонент – дополнительных функций учителя, оптимальное решение изменилось. На основании данной модели оптимальный режим работы учителя математики составляет: 29 часов в неделю на подготовку и ведение уроков, 1 час в неделю на проверку тетрадей и 6 часов в неделю на ведение внеурочной деятельности, 1 час в неделю – работа с родителями, 43 часа в неделю – время, отводимое учителем на разработку дидактических материалов. При этом размер максимальной еженедельной заработной платы учителя составит 3 716,54 руб.

Полученные задачи линейного программирования имеют недостаток: совокупность рассмотренных факторов ограничена. Необходимо выявить и учесть другие значимые факторы, влияющие на соотношение заработной платы учителя и его режима работы, тогда оптимальное решение будет вычислено наиболее точно.

Библиографический список

1. Об утверждении Примерного положения об оплате труда работников муниципальных образовательных учреждений, реализующих основную общеобразовательную программу дошкольного образования в городе Рязани [Текст]: Решение Рязанской городской Думы от 29.11.2010 № 604-І.
2. Федеральный Государственный образовательный стандарт основного общего образования [Текст]: Приказ Минобрнауки России от 17.12.2010 № 1897 (ред. от 31.12.2015).

УДК 51; ГРНТИ 27.35

ДИНАМИЧЕСКОЕ СЛУЧАЙНОЕ МНОЖЕСТВО КАК ОБОБЩЕНИЕ ПОНЯТИЙ НЕЧЁТКОГО И СЛУЧАЙНОГО МНОЖЕСТВ

Г.С. Орлов

Рязанский государственный радиотехнический университет,
Российская Федерация, Рязань, gen.orlov2016@yandex.ru

Аннотация. В работе описывается процедура обобщения понятий случайного и нечёткого множеств до динамического случайного множества. Рассматривается пример применения динамического случайного множества в задачах социального моделирования.

Ключевые слова: случайное множество, нечёткое множество, случайный процесс, математическое моделирование в социологии.

DYNAMIC CASUAL SET AS GENERALIZATION OF CONCEPTS OF FUZZY AND CASUAL SETS

G.S. Orlov

Ryazan State Radio Engineering University,
Russia, Ryazan, gen.orlov2016@yandex.ru

The summary. The paper describes the procedure of generalization of concepts of casual and fuzzy sets as dynamic casual set. The paper shows example of application of dynamic casual set in tasks of social modeling.

Keywords: casual set, fuzzy set, casual process, mathematical modeling in sociology.

Математически строгое определение случайного множества принадлежит Шоке [1], который также дал полное математическое описание этого объекта. Напомним классическое определение случайного множества. Пусть [2] E - некоторое локально компактное хаусдорфово (отделимое) сепарабельное топологическое пространство (ЛКС – пространство). Другими словами, каждая точка из E обладает компактной окрестностью и топология пространства E обладает счётной базой. Пусть $F(E)$ - пространство замкнутых подмножеств E . Это пространство (см. [2]) наделяется топологией F_f , порождённой двумя семействами, – семейством F^K , $K \in K(E)$, где $K(E)$ - пространство компактных подмножеств E , $F^K = \{F; F \in F(E), F \cap K = \emptyset\}$ ($K \subset E$) и семейством F_G , $G \in \mathfrak{Z}(E)$, где $\mathfrak{Z}(E)$ - пространство всех открытых подмножеств в E , $F_G = \{F; F \in F(E), F \cap G \neq \emptyset\}$ ($G \subset E$). В [2] доказано, что пространство $F(E)$ является компактным хаусдорфовым сепарабельным пространством.

С топологией F_f на $F(E)$ связана σ - алгебра σ_f борелевских множеств, порождаемая этой топологией, то есть σ - алгебра, порождённая классами F^K , $K \in K(E)$ и F_G , $G \in \mathfrak{Z}(E)$. Случайное замкнутое множество (СЗМ) определяется [2] как измеримое отображение Φ некоторого вероятностного пространства $(\Omega, \mathcal{A}, P')$ в измеримое пространство $(F(E), \sigma_f)$. То есть, если P - вероятностная мера, индуцированная на σ_f , то $P\{\Theta\} = P'(\Phi^{-1}(\Theta))$ для всех $\Theta \in \sigma_f$.

Как справедливо замечает Матерон [2], СЗМ можно определить гораздо проще, непосредственно задав на измеримом пространстве $(F(E), \sigma_f)$ вероятностную меру (вероятность) P . При таком задании СЗМ Φ будет тождественным отображением ($\Phi(F(E)) = F(E)$) пространства $F(E)$ на себя. В этом случае говорят [2], что СЗМ Φ является каноническим СЗМ на вероятностном пространстве $(F(E), \sigma_f, P)$.

Как известно, любая случайная величина полностью характеризуется заданием её функции распределения. Для СЗМ вводится аналогичное понятие. Пусть Φ есть некоторое каноническое СЗМ, соответствующее определённой на σ_f вероятности P .

Если для любого $K \in \mathcal{K}(E)$ и любого $G \in \mathcal{Z}(E)$ определить функционал T правилами $T(K) = P(F_K) = P(\Phi \cap K \neq \emptyset)$ и $T(G) = P(F_G) = P(\Phi \cap G \neq \emptyset)$, то вероятность P на σ_f будет полностью определена [2].

Напомним классическое определение нечёткого подмножества чёткого множества, введённого Заде [3], и функции принадлежности. Пусть [4] E есть множество, счётное или нет, и x - элемент E . Тогда нечётким подмножеством (НП) A множества E называется множество упорядоченных пар $\left\{ (x | \mu_A(x)) \right\}$, для $\forall x \in E$, где $\mu_A(x)$ - степень принадлежности x в A . И далее [4], функция $\mu_A(x)$ - характеристическая функция принадлежности, принимающая свои значения во вполне упорядоченном множестве M . Множество M будем называть множеством принадлежностей. Как известно, «...все нечёткие объекты можно классифицировать по виду области значений функции принадлежности. Помимо интервала $[0,1]$ функция принадлежности может принимать свои значения в интервале $[-1,1]$, на некоторых других интервалах числовой прямой, а также в различных множествах, наделённых некоторой структурой» [5].

Анализируя и сравнивая эти два понятия – СЗМ и НП, можно прийти к следующим выводам. В ситуации со случайным множеством (СМ) мы, по сути, имеем дело с некоторым универсальным (будем считать – конечным) множеством U (элементами которого являются все необходимые нам при решении задачи объекты), на семействе $V = \{V_1, \dots, V_n\}$ подмножеств которого (берутся либо все возможные подмножества, то есть булеан $V = B(U)$; либо только ограниченный класс подмножеств, удовлетворяющих некоторым важным в дальнейшем свойствам, например, замкнутые, компактные или сепарабельные подмножества) задаётся (тем или иным способом) функция распределения вероятностей. Говоря другими словами, каждому множеству $V_j \in V$ ($j = \overline{1, n}$) сопоставляется вещественное число $p_j \in [0,1]$,

удовлетворяющее условию нормировки $\sum_{j=1}^n p_j = 1$. Эксперимент в данном случае состоит в

том, что мы случайным образом выбираем среди множеств семейства V какое-то одно - V_k . Причём, чем больше значение p_k , тем более вероятен выбор именно V_k . Рассмотрим пример из области социологического моделирования. Предположим, что в некотором военкомате на учёте находятся ровно 100 призывников. То есть $U = \{u_1, u_2, \dots, u_{100}\}$. Представим U в виде $U = V_1 \cup V_2 \cup V_3 \cup V_4$, где $V_1 = \{u_1, \dots, u_{20}\}$ - негодные по состоянию здоровья к службе в армии призывники; $V_2 = \{u_{21}, \dots, u_{50}\}$ - ограниченно годные к службе призывники; $V_3 = \{u_{51}, \dots, u_{90}\}$ - годные без ограничений и $V_4 = \{u_{91}, \dots, u_{100}\}$ - годные к службе в частях спецназначения. Допустим, что личные дела призывников находятся в соответствующих папках - $\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3, \Pi_4$. Если эксперимент состоит в том, что сотрудник военкомата наудачу (случайным образом) берёт одну из этих папок, то, очевидно, что $p_1 = p_2 = p_3 = p_4 = 0.25$. Заметим, что вероятность выбора конкретного множества $V_j \in V$ ($j = \overline{1, 4}$) в данном случае не зависит от числа его элементов.

В ситуации с нечётким подмножеством множества U мы должны, во-первых, определить, какое именно из четырёх множеств V_1, V_2, V_3, V_4 нас интересует, например, V_k ; и,

во-вторых, каждому элементу $u_j \in U$ ($j = \overline{1,100}$) сопоставить вещественное число $\mu_{V_k}(u_j) \in [0,1]$, определяющее степень принадлежности элемента $u_j \in U$ множеству V_k . Заметим, что величины $\mu_{V_k}(u_j)$ в данном случае – не нормированы. Если провести операцию нормирования этих величин, то, формально, можем интерпретировать их как вероятность принадлежности элемента $u_j \in U$ множеству V_k . Допустим, что военкома особо интересуют призывники, годные без ограничений к службе в армии, то есть множество $V_3 \cup V_4$. Можно определить функцию принадлежности следующим образом: $\mu_{V_3 \cup V_4}(u_j) = 0$, если $j = \overline{1,50}$ и, соответственно, $\mu_{V_3 \cup V_4}(u_j) = 1$, если $j = \overline{51,100}$. Но при таком задании функции принадлежности мы получим обыкновенные чёткие подмножества множества U . А вот если военком видит, что для обеспечения плана призыва элементов множеств (призывников) $V_3 \cup V_4$ не хватает, то он, по-видимому, будет вынужден добавить к ним призывников из множества ограниченно годных, то есть из V_2 . Обозначим такое расширенное множество через $\tilde{V}$. С формальной точки зрения это будет означать, что для некоторых $u_j \in U$ ($j = \overline{21,50}$): $0 < \mu_{\tilde{V}}(u_j) < 1$. То есть $\tilde{V}$ будет уже нечётким подмножеством множества U . Пусть для всех $u_j \in U$ определены значения функции принадлежности $\mu_{\tilde{V}}(u_j)$ ($j = \overline{1,100}$). Если провести операцию нормирования величин $\mu_{\tilde{V}}(u_j)$, то есть, перейти к $\hat{\mu}_{\tilde{V}}(u_j) = \frac{\mu_{\tilde{V}}(u_j)}{\sum_{k=1}^{100} \mu_{\tilde{V}}(u_k)}$, то можно

считать, что величина $\hat{\mu}_{\tilde{V}}(u_k)$ даёт вероятность события, состоящего в том, что наудачу отобранный (например, зашедший в данный момент в военкомат) призывник, может быть призван в армию.

Недостатком и первого и второго рассмотренных подходов к моделированию ситуации является то, что в обоих случаях не учитывается временной фактор. Например, призывник, сегодня годный к службе без ограничений, завтра, в результате несчастного случая, может вообще не подлежать призыву. И наоборот, ограниченно годный сегодня, завтра, после соответствующего лечения, может быть признан годным без ограничений. Таким образом, при моделировании социальных процессов необходимо учитывать временное сечение.

Как известно, математическим объектом, учитывающим временное сечение, является случайный процесс. Напомним, что «случайным процессом $X(t)$ называется процесс, значение которого при любом фиксированном $t = t_0$ является случайной величиной $X(t)$ » [7]. Таким образом, нам требуется задать некоторый случайный процесс (СП), описывающий рассматриваемую ситуацию.

Если СП строить на основе понятия СМ, то в каждом временном сечении $t = t_l$ ($l = \overline{0,1,...,T}$) мы должны задать некоторое биективное соответствие между элементарными исходами какого-то случайного эксперимента и множествами семейства $V = \{V_1, ..., V_n\}$. Или, что то же самое, функцию распределения вероятностей на семействе множеств $\{V_1, ..., V_n\}$, зависящую от параметра t . Возвращаясь к нашему примеру, мы должны для выбранных (по критерию практической значимости) множеств из булеана $B(U)$ множества стоящих на учёте призывников $U = \{u_1, u_2, ..., u_{100}\}$ определить их вероятность для каждого временного сечения t_l ($l = \overline{0,T}$). Можно, конечно, как предлагалось ранее (ситуация с папками личных дел призывников) считать, что все вероятности равны (то есть в соответствии с принципом рав-

ных возможностей [6]). Однако, представляется сомнительным, что в какой-то момент (например, при осеннем призыве) военкомат будут одинаково (с одной и той же вероятностью) интересоваться множества $V_s \in B(U)$ и $V_r \in B(U)$. Где, в данном случае, элементами V_s являются два призывника-наркомана, а элементами V_r - несколько десятков годных к службе без ограничений призывников. А, следовательно, такое распределение не подходит. И, кроме того, в каждое временное сечение определяемое распределение вероятностей должно учитывать как состав (объём) конкретного множества, так и свойства его элементов (то есть – содержание). Причём и объём, и содержание в свою очередь зависят от конкретного временного сечения (например, в осенний призыв больше больных призывников). Таким образом, логично при построении *СП* взять за основу нечёткие множества. Заметим, однако, что в рассматриваемом нами примере важно знать не только степень принадлежности элемента $u_j \in U$ конкретному множеству $V_k \in V$, то есть величину $\mu_{V_k}(u_j)$, но также и степени принадлежности этого элемента вообще всем множествам из семейства $V = \{V_1, \dots, V_n\}$. Такая ситуация требует дальнейшего расширения понятия нечёткого множества, то есть перехода к теории полных нечётких множеств.

В соответствии с [8], под конечным полным множеством $A \subset U$ будем понимать объект вида $A = [O_{i_1}^A, O_{i_2}^A, \dots, O_{i_n}^A | P_A(O)]$, где каждый из объектов $O_{i_j}^A$ ($j = \overline{1, n}$) является элементом множества A . Поясним, что объект $O_{i_j}^A \in U$ является элементом множества A , если [8] он удовлетворяет каждому из условий ω_k^A ($k = \overline{1, m}$) правила $P_A(O) \equiv \langle \omega_1^A, \omega_2^A, \dots, \omega_m^A \rangle$ и, кроме того, входит в объём множества A . Обратим внимание на то, что множество A , вообще говоря, не обязано содержать все объекты множества U , удовлетворяющие условиям ω_k^A ($k = \overline{1, m}$). Допускается ситуация, когда объём множества A пуст, то есть, когда $A = [\quad | P_A(O)]$. В качестве условий ω_k^A ($k = \overline{1, m}$) правила $P_A(O)$ задаются условия, которым должен удовлетворять элемент $u_j \in U$, чтобы он мог быть элементом множества A .

Ясно, что выдвигаемые условия обладают разной значимостью (важностью). Поэтому, каждому такому условию ω_k^A ($k = \overline{1, m}$) сопоставляется уровень значимости данного условия χ_k^A ($k = \overline{1, m}$). Уровень значимости, как правило, задаёт эксперт, формирующий множество A , например, по десятибалльной шкале.

В соответствии с [8], проведём процедуру нормирования величин χ_k^A ($k = \overline{1, m}$) и перейдём к величинам ξ_k^A ($k = \overline{1, m}$) равным $\xi_k^A = \frac{\chi_k^A}{\sum_{k=1}^m \chi_k^A}$ ($k = \overline{1, m}$). Вектор $\bar{\xi}_A = (\xi_1^A, \xi_2^A, \dots, \xi_m^A)$

называется (см. [8]) вектором значимости условий множества A .

В работе [8] было введено понятие полного нечёткого подмножества. А именно, конечным полным нечётким подмножеством A полного множества $A = [O_{i_1}^A, O_{i_2}^A, \dots, O_{i_n}^A | P_A(O)]$ называется множество $A \approx [\tilde{O}_{i_1}^A, \tilde{O}_{i_2}^A, \dots, \tilde{O}_{i_n}^A | P_A(O)]$, в котором каждый из объектов $\tilde{O}_{i_j}^A \in U$ может либо удовлетворять, либо не удовлетворять, либо не в полной мере удовлетворять каждому из условий ω_k^A ($k = \overline{1, m}$) правила $P_A(O)$.

Для каждого такого объекта $O_{i_j}^A$ ($j = \overline{1, n}$) сформируем так называемый (см. [8]) характеристический вектор $\bar{\varsigma}_{i_j} \equiv (\varsigma_1^{i_j}, \varsigma_2^{i_j}, \dots, \varsigma_m^{i_j})$, координаты которого $\varsigma_k^{i_j} \in \{0, \frac{1}{2}, 1\}$ и опреде-

ляются следующим правилом. Если объект $O_{i_j}^A (j=\overline{1,n})$ полностью удовлетворяет условию $\omega_k^A (k=\overline{1,m})$, то $\varsigma_k^{i_j} = 1$. Если объект $O_{i_j}^A (j=\overline{1,n})$ однозначно не удовлетворяет условию $\omega_k^A (k=\overline{1,m})$, то $\varsigma_k^{i_j} = 0$. Если же лицо, принимающее решение не может высказаться однозначно (ни за, ни против), то $\varsigma_k^{i_j} = \frac{1}{2}$.

В результате (см. [8]) приходим к полному нечёткому подмножеству A полного чёткого множества $A = [O_{i_1}^A, O_{i_2}^A, \dots, O_{i_n}^A | P_A(O)]$:

$$A = [(\tilde{O}_{i_1}^A | (\varsigma_1^{i_1}, \dots, \varsigma_m^{i_1})), (\tilde{O}_{i_2}^A | (\varsigma_1^{i_2}, \dots, \varsigma_m^{i_2})), \dots, (\tilde{O}_{i_n}^A | (\varsigma_1^{i_n}, \dots, \varsigma_m^{i_n})) | P_A(O)],$$

где $P_A(O) \equiv \langle (\omega_1^A | \xi_1^A), (\omega_2^A | \xi_2^A), \dots, (\omega_m^A | \xi_m^A) \rangle$ и $\varsigma_k^{i_j} \in \{0, \frac{1}{2}, 1\} (\forall k=\overline{1,m})$, а $\sum_{k=1}^m \xi_k^A = 1$.

Осталось заметить, что скалярное произведение векторов $\bar{\varsigma}_{i_j} \equiv (\varsigma_1^{i_j}, \varsigma_2^{i_j}, \dots, \varsigma_m^{i_j})$ и $\bar{\xi}_A = (\xi_1^A, \xi_2^A, \dots, \xi_m^A)$, а именно $\bar{\varsigma}_{i_j} \cdot \bar{\xi}_A = \sum_{k=1}^m \varsigma_k^{i_j} \cdot \xi_k^A$, даёт вещественное число из отрезка $[0,1]$ числовой прямой. Обозначим его [8] через $\bar{\varsigma}_{i_j} \cdot \bar{\xi}_A \stackrel{def.}{=} p_{i_j}^A$. Таким образом, каждому элементу $\tilde{O}_{i_j}^A (j=\overline{1,n})$ множества A сопоставляется вещественное число $p_{i_j}^A \in [0,1]$. Будем считать это число значением функции принадлежности множества A на элементе $\tilde{O}_{i_j}^A$: $\mu_A(\tilde{O}_{i_j}^A) = p_{i_j}^A (\forall j=\overline{1,n})$. Заметим, что после того, как функция принадлежности задана, полное нечёткое множество A удобно записать в виде $A = [(\tilde{O}_{i_1}^A | p_{i_1}^A), (\tilde{O}_{i_2}^A | p_{i_2}^A), \dots, (\tilde{O}_{i_n}^A | p_{i_n}^A) | P_A(O)]$.

Вернёмся к рассмотрению нашего примера. Имеем $U = \{u_1, u_2, \dots, u_{100}\}$, причём $U = V_1 \cup V_2 \cup V_3 \cup V_4$, где множества $V_k \in V (k=\overline{1,4})$ заданы выше. От неполного множества U , перейдём к полному $U = [u_1, u_2, \dots, u_{100} | P_U(O)]$, задав условия правила $P_U(O) \equiv \langle \omega_1^U, \omega_2^U, \omega_3^U, \omega_4^U \rangle$ следующим образом:

$\omega_1^U \equiv$ «призывник по состоянию здоровья не годен к службе в армии»;

$\omega_2^U \equiv$ «призывник ограниченно годен»;

$\omega_3^U \equiv$ «призывник годен без ограничений»;

$\omega_4^U \equiv$ «годен к службе в частях спецназначения».

Зададим уровни значимости условий $\chi_k^U (k=\overline{1,4})$ по десятибалльной шкале. Напри-

мер, так: $\chi_1^U = 0$, $\chi_2^U = 4$, $\chi_3^U = 8$, $\chi_4^U = 10$. Проведём нормирование: $\xi_k^U = \frac{\chi_k^U}{\sum_{k=1}^4 \chi_k^U} (k=\overline{1,4})$.

Получим $\xi_1^U = \frac{0}{22}$, $\xi_2^U = \frac{4}{22}$, $\xi_3^U = \frac{8}{22}$, $\xi_4^U = \frac{10}{22}$. Таким образом, вектор значимости условий имеет вид $\bar{\xi}_U = (\frac{0}{22}, \frac{4}{22}, \frac{8}{22}, \frac{10}{22})$.

Далее перейдём к нечёткому подмножеству $U_{\approx} = [u_1, u_2, \dots, u_{100} | P_U(O)]$ полного чёткого множества $U = [u_1, u_2, \dots, u_{100} | P_U(O)]$, в котором каждый из элементов $u_j \in U_{\approx}$ может либо удовлетворять, либо не удовлетворять, либо не в полной мере удовлетворять каждому из условий ω_k^U ($k = \overline{1, 4}$) правила $P_U(O)$ в конкретном временном сечении.

Для каждого элемента u_j ($j = \overline{1, 100}$) сформируем характеристический вектор $\bar{\zeta}_j(t) = (\zeta_1^j(t), \zeta_2^j(t), \zeta_3^j(t), \zeta_4^j(t))$, координаты которого $\zeta_k^j(t)$ зависят от временного сечения. Полное нечёткое множество $U_{\approx} = [u_1, u_2, \dots, u_{100} | P_U(O)]$ запишем в виде

$$U_{\approx} = [(u_1 | (\zeta_1^1(t), \zeta_2^1(t), \zeta_3^1(t), \zeta_4^1(t))), \dots, (u_{100} | (\zeta_1^{100}(t), \zeta_2^{100}(t), \zeta_3^{100}(t), \zeta_4^{100}(t))) | P_U(O)],$$

где $t = t_1, t_2, \dots, t_T$.

Теперь в любом временном сечении t_l мы можем сформировать множества $V_1^{t_l}, V_2^{t_l}, V_3^{t_l}, V_4^{t_l}$, допустим, по следующему алгоритму. Если $\zeta_1^j(t_l) = 1$, то считаем объект u_j элементом множества $V_1^{t_l}$ (призывники не годные к службе). Если $\zeta_4^j(t_l) = 1$, то считаем объект u_j элементом множества $V_4^{t_l}$ (призывники годные к службе в частях спецназначения). Если $\zeta_3^j(t_l) = 1$, то считаем объект u_j элементом множества $V_3^{t_l}$ (призывники годные к службе без ограничений). Всех остальных призывников помещаем во множество $V_2^{t_l}$ (годных с ограничениями).

Заметим, что если в данном призыве (временное сечение t_k) недостаточно призывников для прохождения службы в частях спецназначения, то военкомат имеет возможность увеличить их число за счёт тех элементов u_j из $V_3^{t_k}$, у которых $\zeta_4^j(t_{k+1}) = 1$. Аналогично можно увеличить число элементов множества $V_3^{t_k}$ за счёт перспективных элементов множества $V_2^{t_k}$.

Отметим, что скалярное произведение $\bar{\zeta}_j(t_k) \cdot \bar{\xi}_U = \sum_{k=1}^m \zeta_k^j(t_k) \cdot \xi_k^U = p_j^U(t_k)$ определяет функцию принадлежности $\mu_{U_{\approx}}^{t_k}(u_j) = p_j^U(t_k)$ для каждого элемента $u_j \in U_{\approx}$ множеству $U_{\approx}$ в момент времени t_k . А, следовательно, варьируя значения параметра $\alpha \in [0, 1]$, можно получать множества $V_w^{t_k}$ ($\bigcup_{w=1}^N V_w^{t_k} = U$) как соответствующие подмножеством α – уровня полного нечёткого множества $U_{\approx}$.

После того как все множества $V_1^{t_l}, V_2^{t_l}, V_3^{t_l}, V_4^{t_l}$ ($l = \overline{1, T}$) для каждого временного сечения сформированы, мы можем задать распределение вероятностей на совокупности данных множеств. Это возможно сделать разными способами. Например, исходя из числа элементов конкретного множества в данном временном сечении. В этом случае, чем больше призывников в данном множестве, тем больше его вероятность. Можно также выбрать вероятности исходя из важности конкретного множества в данном временном сечении. Например, если ставится задача увеличения количества войск специального назначения за счёт очередного призыва (временное сечение t_k), то вероятность множества $V_4^{t_k}$ следует задать наибольшей и так далее.

Отметим, что распределение вероятностей на семействе множеств $V_1^{t_i}, V_2^{t_i}, V_3^{t_i}, V_4^{t_i}$ зависит от конкретного временного сечения. Таким образом, мы пришли к случайным множествам, распределение вероятностей на которых зависит от времени. Логично назвать такие объекты *динамическими случайными множествами*.

Библиографический список

1. Chouquet G. (1953/54) Theory of capacities, Ann. Just. Fourier, 5, 131 – 295.
2. Матерон Ж. Случайные множества и интегральная геометрия. – М.: Мир, 1978.
3. Zadeh L. A. – Fuzzy Setz. Inform. And Control. Vol. 8, pp. 338 – 353. June 1965.
4. Кофман А. Введение в теорию нечётких множеств. – М.: Радио и связь, 1982.
5. Яхьяева Г. Э. Нечёткие множества и нейронные сети. – М.: БИНОМ, 2006.
6. Коршунов Ю. М. Математические основы кибернетики. – М.: Энергоатомиздат, 1987.
7. Вентцель Е. С., Овчаров Л. А. Теория случайных процессов и её инженерные приложения. – М.: Наука, 1991.
8. Орлов Г. С. Основы теории полных чётких и нечётких множеств: монография. – Рязань, РГРТУ, 2012.

УДК 519.6;

О МЕТОДАХ КОНЕЧНЫХ РАЗНОСТЕЙ

Ш.Р. Сеттиев

*Ташкентский филиал «РЭУ им. Г.В. Плеханова», Ташкент
Республика Узбекистан, г. Ташкент, shamsis@rambler.ru*

Аннотация. В данной работе рассмотрены способы применения конечно-разностных методов к решению дифференциальных уравнений. В частности вопросы аппроксимации простейших дифференциальных операторов конечно разностными схемами и постановка разностной задачи.

Ключевые слова: дифференциальное уравнение, дифференциальный оператор, аппроксимация, разностная задача, уравнение гидравлики.

ABOUT METHODS OF FINAL DIFFERENCES

Sh.R. Settiev

*Tashkent Branch of Russian Economic University after G.V. Plekhanov in Tashkent
Uzbekistan, Tashkent, shamsis@rambler.ru*

Abstract. In this work it is considered ways application of final and differential methods to the solution of the differential equations. In particular questions of approximation of the simplest differential operators of course differential schemes and statement of a differential task.

Keywords: differential equation, differential operator, approximations, differential task, hydraulics equation.

Основные конечно-разностные формулы для частных производных могут быть получены при помощи разложения в ряды Тейлора. Для того чтобы написать разностную схему, приближенно описывающую данное дифференциальное уравнение, нужно совершить следующие два шага:

- Необходимо заменить область непрерывного изменения аргумента областью дискретного его изменения;
- Необходимо заменить дифференциальный оператор некоторым разностным оператором, а также сформулировать разностный аналог для краевых условий и для начальных данных.

После осуществления такой процедуры мы приходим к алгебраической системе уравнений. Таким образом, задача о численном решении исходного (линейного) дифференциального уравнения сводится к вопросу о нахождении решения полученной алгебраической системы.

Подробно рассмотрим эти вопросы. При численном решении той или иной математической задачи мы, очевидно, не можем воспроизвести разностное решение для всех значений аргумента, изменяющегося внутри некоторой области евклидова пространства. Естественно поэтому выбрать в этой области некоторое конечное множество точек и приближенное решение искать только в этих точках. Такое множество точек называется *сеткой*. Отдельные точки называют *узлами* сетки.

Функция, определенная в узлах сетки, называется *сеточной функцией*. Таким образом, мы заменили область непрерывного изменения аргумента сеткой, т.е. областью дискретного изменения аргумента; иными словами, мы осуществили аппроксимацию пространства решений дифференциального уравнения пространством сеточных функций.

Свойства разностного решения и, в частности, его близость к точному решению зависят от выбора сетки.

Основными видами сеток является равномерная и неравномерная сетка на отрезке и на плоскости.

Таким образом, область $\bar{G}$ изменения аргумента x мы заменяем сеткой $\bar{\omega}_h$, т. е. конечным множеством точек x_i принадлежащих $\bar{G}$. Вместо функций $u(x)$ непрерывного аргумента $x \in \bar{G}$ будем рассматривать сеточные функции $y(x_i)$, т. е. функции точки x_i , являющейся узлом сетки $\bar{\omega}_h = \{x_i\}$. Сеточную функцию $y(x_i)$ можно представить в виде вектора. Если перенумеровать все узлы в некотором порядке $x_1, x_2, \dots, x_N$, то значения сеточной функции в этих узлах можно рассматривать как компоненты вектора $Y = (y_1, y_2, \dots, y_N)$. Обозначим множества сеток $\{\omega_h\}$, зависящих от шага h как от параметра. Поэтому и сеточные функции $y_h(x)$ зависят от параметра h (или от числа узлов N в случае равномерной сетки). Если сетка ω_h неравномерна, то под h следует понимать вектор $h = (h_1, h_2, \dots, h_N)$ с компонентами $h_1, h_2, \dots, h_N$. Это же замечание относится и к случаю, когда область G многомерна, $x = (x_1, x_2, \dots, x_p)$; тогда $h = (h_1, h_2, \dots, h_p)$, если ω_h равномерна по каждому из аргументов $x_1, x_2, \dots, x_p$.

Аппроксимация простейших дифференциальных операторов конечно-разностными схемами

Пусть дан линейный дифференциальный оператор L , действующий на функцию $u = u(x)$. Заменяя входящие в L производные разностными отношениями, мы получим вместо Lu разностное выражение $L_h u_h$, являющееся линейной комбинацией значений сеточной функции u_h на некотором множестве узлов сетки, называемом *шаблоном*:

$$L_h u_h(x) = \sum_{\xi \in \Pi(x)} A_h(x, \xi) u_h(\xi)$$

или

$$(L_h u_h)_i = \sum_{x_j \in \Pi(x_i)} A_h(x_i, x_j) u_h(x_j),$$

где $A_h(x, \xi)$ — коэффициенты;

h — шаг сетки;

$\Pi(x)$ — шаблон в точке x .

Такая приближенная замена Lu на $L_h u_h$ называется аппроксимацией дифференциального оператора разностным оператором (или разностной аппроксимацией оператора L).

Постановка разностной задачи

Итак, дифференциальные операторы приближенно заменяются разностными операторами. Однако задачи математической физики помимо дифференциального уравнения включают и дополнительные условия — краевые и начальные, которые обеспечивают выделение единственного решения из всей совокупности возможных решений. Поэтому при формулировке разностной задачи, помимо аппроксимации дифференциального уравнения, необходимо эффективно описывать в разностном виде эти дополнительные условия. Совокупность разностных уравнений, аппроксимирующих основное дифференциальное уравнение и дополнительные условия (краевые и начальные), называют разностной схемой.

Разностные схемы

Разностные схемы разделяются на явные и неявные.

Явная схема если значения решения на верхнем временном слое y^{n+1} определяются через значения на предыдущем слое по явным формулам

В неявных схемах значения решения на верхнем временном слое y^{n+1} иначе (например, через системы линейных алгебраических уравнений).

Первая краевая задача для уравнения теплопроводности.

$$Lu = \frac{\partial u}{\partial t} - \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = f(x, t), \quad 0 < x < 1, \quad 0 < t \leq t_0,$$

$$u(0, t) = \mu_1(t), \quad u(1, t) = \mu_2(t),$$

$$u(x, 0) = u_0(x).$$

Выбрав равномерную сетку

$$\omega_{h\tau} = \{(x_i = ih, \quad t_j = j\tau), \quad i = 0, 1, \dots, N_1, \quad j = 0, 1, \dots, N_2\}$$

и простейший четырехточечный шаблон, получим разностную задачу

$$y_t = y_{\bar{x}x} + \varphi,$$

или в индексной форме:

$$\frac{y_i^{j+1} - y_i^j}{\tau} = \frac{y_{i-1}^j - 2y_i^j + y_{i+1}^j}{h^2} + \varphi_i^j, \quad 1 \leq i \leq N_1 - 1, \quad 0 \leq j \leq N_2 - 1$$

$$y_0^j = \mu_1(t_j), \quad y_{N_1}^j = \mu_2(t_j),$$

$$y_i^0 = u_0(x_i).$$

где $y_{\bar{x}x} = (y_{i+1} - 2y_i + y_{i-1})/h^2$ — вторая разностная производная в точке x_i .

Правую часть φ можно задавать различными способами:

$$\varphi_i^j = f(x_i, t_j), \quad \varphi_i^j = f(x_i, t_{j+1/2}), \quad \text{и т.д.}$$

Эта разностная задача является примером использования так называемой явной

схемы: значения решения на верхнем временном слое y^{j+1} определяются через значения на предыдущем слое по явным формулам

$$y^{j+1} = y^j + \tau(y_{\bar{x}x}^j + \varphi^j)$$

Рассмотрим неявную схему:

$$y_t = \hat{y}_{\bar{x}x} + \varphi, \quad y(x, 0) = u_0(x), \quad y(0, t) = \mu_1(t), \quad y(1, t) = \mu_2(t), \\ t \in \omega_\tau, \quad x \in \omega_h.$$

Для определения значений $\hat{y} = y^{j+1}$ на $j + 1$ -м слое получаем систему алгебраических уравнений

$$\frac{y^{j+1}}{\tau} - y_{\bar{x}x}^{j+1} = F^j, \quad F^j = \frac{y^j}{\tau} + \varphi^j$$

или

$$y_{i-1}^{j+1} - \left(2 + \frac{h^2}{\tau}\right) y_i^{j+1} + y_{i+1}^{j+1} = -h^2 F_i^j, \quad 0 < i < N,$$

$$y_0^{j+1} = \mu_1(t_{j+1}), \quad y_N^{j+1} = \mu_2(t_{j+1})$$

с трехдиагональной матрицей. Эту систему можно решать методом прогонки.

Кроме того при использовании конечно-разностных схем необходимо рассмотреть вопросы о корректности разностной задачи, устойчивость, аппроксимация и сходимость разностных схем.

Применение разностных схем в задачах гидравлики

Конечно-разностные схемы часто используются при решении задач гидроаэромеханики. Обычно они используются совместно другими методами например производная по времени аппроксимируется разностной схемой а пространственные производные пробными функциями (спектральные методы Галеркина).

Существует различные способы решение уравнений гидродинамики. Среди них часто используется аналитические и полуаналитические методы решение. Это зависит от сложности и нелинейности рассматриваемой задачи. В качестве примера рассмотрим одну из уравнений (система уравнений) гидравлики. Это система уравнений получается из уравнений Навье – Стокса (при замене вязкого члена к гидравлическому сопротивление вида $\lambda \frac{|\bar{v}|}{2h} \bar{v}$ где h - глубина потока и λ - коэффициент сопротивления) и уравнений сохранения

массы для жидкости и твердых частиц. С учетом периодических граничных условий решается задача об неустойчивости течений вязкой несжимаемой жидкости над песчаным дном [1]. Рассмотрение частного случая когда дно канала недормируема получено аналитическое решение в линейном приближении. Здесь задача сводится к отысканию собственного значения. В нелинейном анализе неустойчивости это задача решается численно с помощью полуаналитическим методом т.е. псевдоспектральным методом Галеркина [2]. Временная производная аппроксимируется конечно-разностной схемой так называемой схемой Адамса-Бешфорта а пространственные (переменные) производные аппроксимируются рядами Фурье. В итоге получается система уравнений относительно коэффициентов

разложений в ряд Фурье. В численном расчете неоднократно используется быстрое преобразование Фурье. Изучается поведение каждого члена системы уравнений. Кроме того применяемые методы используются при решении тестовых задачах которые дают высокую сходимость к точному решению.

Библиографический список

1. Сеттиев Ш.Р. О критической значимости числа Фруда в течениях над песчаным дном. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2009. Т. 17. № 12. С. 123-126.
2. Сеттиев Ш.Р., Ражабов Ж.Ш. Некоторые применения спектральных методов Галеркина. Потенциал современной науки. 2015. № 7 (15). С. 6-11.
3. Самарский А. А. Теория разностных схем., учебное пособие, Главная редакция физико-математической литературы изд-ва «Наука», М.,1977, 656 с.

УДК 51-76, 332.3; ГРНТИ 27.35.43

АНАЛИЗ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИРОДООХРАННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НОВОМИЧУРИНСКОЙ ГРЭС

Н.И. Карасева, М.Н. Дмитриева, И.А. Акимова

*Рязанский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова,
Россия, Рязань, karaseva.18@mail.ru, dmitrm05@mail.ru*

Аннотация. В данной работе описаны результаты проведенного анализа экономической эффективности природоохранной деятельности на Рязанской ГРЭС (Новомичуринск), включающей вторичное использование золошлаковых отходов.

Ключевые слова: экономическая эффективность, природоохранная деятельность, вторичное использование, золошлаковые отходы, золошлаковые материалы, эколого-гигиеническая безопасность.

ANALYSIS OF THE ECONOMIC EFFICIENCY OF THE ENVIRONMENTAL PROTECTION ACTIVITY OF NOMOMICHURINSK'S GRES

N.I. Karaseva, M.N. Dmitrieva, D.V. Kulyukin

*Ryazan State Medical University named after academician I.P. Pavlov,
Russia, Ryazan, karaseva.18@mail.ru, dmitrm05@mail.ru*

Abstract. This paper describes the results of the analysis of the economic efficiency of environmental activities at the Ryazan GRES (Novomichurinsk), including the recycling of ash and slag waste.

Keywords: economic efficiency, environmental activities, recycling, ash and slag wastes, ash and slag materials, environmental hygienic safety.

Развитие абсолютного большинства предприятий в нашей стране связано с воздействием на объекты окружающей среды. Проведение природоохранных мероприятий, как правило, весьма экономически затратных, влияет на увеличение себестоимости выпускаемой продукции и может привести к снижению прибыли предприятия. Тем не менее, игнорирование природоохранной деятельности неизбежно ведет к ухудшению качества природной среды, что, в свою очередь, может привести к нарушению устойчивости экологических систем и, как следствие, деградации природных процессов. Основные направления природоохранной деятельности должны предотвратить необратимые процессы в природной среде путем развития безотходных технологий, использования заменителей природных материалов, внедрения экологически чистых производств, широкого использования нетрадиционных видов энергии и др. [1, 2, 3] Понятно, что одновременное сохранение темпов экономического развития и эффективная природоохранная деятельность находятся в некотором противоречии. В этих условиях приобретает большое значение проблема двусторонней оценки: с одной стороны издержек производства и потребления продукции, включая и природоохранные меро-

приятия, с другой - результатов производственной деятельности человека (в том числе негативное последствие воздействия на природную среду) [4, 5].

Анализ экономической эффективности природоохранных мероприятий на Новомичуринской ГРЭС возможен путем оценки результатов работы по оптимизации использования природных ресурсов и качественного состояния окружающей среды [3, 6, 7]. Первостепенное значение в экономическом анализе природоохранной деятельности предприятия занимает показатель, характеризующий рациональное использование и охрану земельных ресурсов в связи с тем, что под основными отходами производства, а это золошлакоотходы, заняты большие, ежегодно увеличивающиеся, земельные площади. Объем названных отходов приближается к 40 млн. тонн. Эксплуатация данного объекта сопряжена с загрязнением атмосферного воздуха, подземных, поверхностных вод, почвы, постоянным отчуждением земель [4, 6]. В этой связи особую актуальность приобретает рассмотрение вопроса внедрения опыта зарубежных стран по вторичному использованию золошлаков, где годовое потребление золошлаковых отходов (ЗШО) от общего количества образующихся составляет от 50 до 90%. Этому способствует ежегодно возрастающая потребность в строительных материалах, истощение минерально-сырьевой базы страны, возможность замены природного сырья при производстве цемента, силикатных изделий, керамического сырья и др. Однако решение вопроса реализации и использования в строительной индустрии золошлаковых отходов сопряжено с определенными трудностями, связанными с требованиями их эколого-гигиенической безопасности. Предприятия, использующие ЗШО в качестве сырья в естественном виде должны получать лицензию на данный вид деятельности. Процедура лицензирования достаточно обременительна по многим аспектам, начиная с временных, и, заканчивая экономическими, что снижает привлекательность применения золошлаковых материалов. В связи с этим легальное вторичное использование минерального сырья с Рязанской ГРЭС ограничено достаточно узким кругом крупных строительных предприятий.

Реализация золошлаковых материалов (ЗШМ) связана с обязательной санитарно-гигиенической сертификацией продукции, в частности радиационным контролем, проведение которого является довольно дорогостоящим и не вполне обоснованным мероприятием. С приобретением нового прибора спектрометра ПАО «ОГК-2»- Рязанская ГРЭС» прошла аккредитацию на проведение инструментальных радиологических испытаний, что позволяет сопровождать каждую партию реализуемых золошлаковых отходов необходимой разрешительной документацией непосредственно на предприятии, что явилось достаточно эффективным природоохранным мероприятием, затраты на которое были окуплены в течение одного года (400 тысяч рублей) [7].

Одним из пунктов бизнес-плана предприятия, связанных с увеличением использования ЗШМ, является наращивание объемов реализации отходов производства и, как следствие, снижение нагрузки на золошламонакопители, что определило внедрение нового природоохранного мероприятия на Новомичуринской ГРЭС, направленного на перевод ЗШО в продукцию. Прямое использование золы-уноса в цементном производстве и золошлаковых отходов в дорожном строительстве ограничено принадлежностью отходов к 4 классу опасности. Перевод золошлакоотходов в продукцию является мероприятием, носящим уникальный характер. Оно связано со значительным объемом работы по разработке технических условий на выпускаемую продукцию на основе золы-уноса, по ее эколого-гигиенической оценке, определению контролируемых параметров, гарантирующих гигиеническую, экологическую безопасность, разработке порядка контроля продукции, условий приемки предприятием-потребителем и др.. Это позволило привлечь новых потребителей сырья и материалов и, как следствие, снизить экологические платежи и нагрузку на шламонакопители. Таким образом, экономический эффект от внедрения данного мероприятия составил 68 млн. руб., что составляет 700 тысяч рублей в год.

Совершенно очевидно, что одним из природоохранных мероприятий является выбор наиболее экологического вида топлива. Причем критерии, определяющие этот выбор могут быть самыми разнообразными. В нашем случае это уменьшение объемов золошлаковых отходов в связи с применением угля с наименьшей зольностью. Имеющиеся характеристики на указанное твердое топливо различных месторождений позволили перевести предприятие на уголь месторождений Канско-Ачинского бассейна (Назаровский, Березовский, Переясловский, Бородинский). Так рассчитано, что перевод предприятия с Подмосковского угля на Березовский приведет к уменьшению образования ЗШО и платы за их размещение в 9,3 раза.

В связи с масштабным применением полигонов, как объектов обезвреживания коммунальных отходов, и возникающими при их эксплуатации проблемами технологического характера (отсутствие изолирующего материала) вопрос использования ЗШО заслуживает особого внимания. Строительство, эксплуатация, рекультивация нарушенных территорий с целью возврата отчужденных земель в хозяйственный оборот возможны путем применения отходов энергетических предприятий (ЗШО) только после проведенной разносторонней эколого-гигиенической оценки. Результаты проведенных лабораторных испытаний Новомичуринской ГРЭС на предмет санитарно-химических, токсикологических, микробиологических, гельминтологических, радиологических свойств ЗШО показали абсолютную инертность в отношении объектов окружающей среды [5, 6, 7].

Таким образом не вызывает сомнения целесообразность использования ЗШО в процессе строительства полигонов и всего дальнейшего эксплуатационного периода, что в свою очередь можно рассматривать как мероприятие, направленное на рациональное природопользование за счет использования ЗШО, экономии природных материалов и снижение техногенной нагрузки на окружающую среду с экономической выгодой 920 тысяч рублей в год.

Анализ экономической эффективности природоохранной деятельности на Новомичуринской ГРЭС показал, что на предприятии успешно реализуются мероприятия по охране окружающей среды. Администрация и коллектив предприятия заинтересованы в глубокой и объективной оценке состояния природоохранной деятельности, к которой привлечены высококвалифицированные специалисты разных профессий.

Библиографический список

1. Шимова О.С., Соколовский Н.К. Основы экологии и экономика природопользования: Учебник / О.С. Шимова, Н.К. Соколовский. 2-е изд., перераб. и доп. - Мн.: БГЭУ, 2002. - 367 с.
2. Кручинина, Н.В. Стимулирование природоохранной деятельности предприятий в современных условиях: особенности, формы, методы / Н.В. Кручинина // Проблемы современной экономики. - 2011. - № 2. - С. 413—416.
3. Астафьева, О.Е. О возможностях повышения эффективности управления природоохранной деятельностью / О.Е. Астафьева, Я.Д. Вишняков, А.Л. Новоселов // Менеджмент в России и за рубежом. - 2013. - №6. - С.80 – 87.
4. Карасева, Н.И. Интегральная оценка качества воды реки Оки как основного источника хозяйственно-питьевого водоснабжения города Рязани (на примере Соколовского водозабора) / Н.И. Карасева, М.Н. Дмитриева, Д.В. Кулюкин // Современные технологии в науке и образовании – СТНО-2018 [текст]: сб. тр. междунар. науч.-техн. форума: в 10 т. Т.5./ под общ. ред. О.В. Миловзорова. – Рязань: Рязан. гос. радиотехн. ун-т, 2018; Рязань. – С. 97-100.
5. Карасева Н.И., Дмитриева М.Н. Оценка аэрогенного риска здоровью населения при воздействии химических веществ воздушной среды закрытых помещений / Инновационные технологии в науке, транспорте и образовании: сборник статей международной научно-методической интернетконференции / под общ. ред. О.И. Садыковой, Е.И. Саниной, К.А. Сергеева, З.Л. Шулимановой. — Москва: Российский университет транспорта (МИИТ), 2018. — С. 189-194.
6. Карасева Н.И., Дмитриева М.Н. Обоснование необходимости интегральной оценки качества воды и ее использование на примере Борковского водозабора на реке Оке / Материалы 69-ой Международной научно-практической конференции «Инновационное научно-образовательное обеспечение агропромышленного комплекса» 25 апреля 2018 г., Рязань: РГАТУ, 2018. – ч.1, С. 135-139.
7. Сайт Рязанской ГРЭС <https://www.ogk2.ru/rus/branch/ryazangres/>

СЕКЦИЯ «ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ И УПРАВЛЕНИЕ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ»

УДК 517.977.55; ГРНТИ 89.23.99

НАБЛЮДАЕМОСТЬ «В МАЛОМ» МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ДЛЯ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

К.М. Ву, В.В. Миронов

*Рязанский государственный радиотехнический университет,
Российская Федерация, Рязань, vuquangminh2631990@gmail.com*

Аннотация. В работе рассмотрено обобщение и моделирование общей теории к частной задаче наблюдения малыми космическими системами для радиотехнических систем. С демонстрационными целями возможностей метода решены тестовые задачи.

Ключевые слова: наблюдаемость «в малом», радиотехнические системы, малые космические системы.

OPTIMAL CONTROL "IN SMALL" FOR SMALL SPACE APPARATUS

Q.M. Vu, V.V. Mironov

*Ryazan State Radio Engineering University,
Russia, Ryazan, vuquangminh2631990@gmail.com*

The summary. The paper considers the generalization and modeling of the general theory to the particular problem of controlling small space systems, which are described by two-dimensional linear non-autonomous models. With demonstration goals of the method capabilities test problems are solved.

Keywords: observability "in the small", radio engineering systems, small space systems.

В настоящее время для исследования и освоения космического пространства нам необходимо научиться создавать малые космические аппараты и управлять ими с Земли или космической платформой. Мы разрабатываем и реализуем бортовые и наземные радиотехнические системы управления космическими аппаратами. Как правило, после выведения космических аппаратов на орбиту и отделения его от ракеты-носителя управление берет на себя автоматическая система управления.

При изменении взаимного положения космических аппаратов и измерительной станции за счёт эффекта Доплера происходит изменение частоты сигнала, излучаемого космическими аппаратами и принимаемого измерительной станцией [2]. Для более точного получения данных от космических аппаратов необходимо управлять и наблюдать космические аппараты «в малом» (в ограниченном пространстве) для космической платформы. Тогда процесс наблюдения космических аппаратов и получение информации от них становится очень важным.

Малые космические системы

Несмотря на соперничество ведущих космических держав в создании ракет-носителей большой грузоподъемности, уже в ближайшей перспективе бурное развитие получают малые и сверхмалые космические аппараты (МКА). Так, они относительно недороги, легко модифицируются для решения определенной задачи, создают меньше радиопомех

В условиях перегруженности околоземного пространства ставка на МКА может оказаться весьма перспективной. И не только потому, что они в разы дешевле многотонных машин, а эффективность их работы ничуть не меньше. служить летающими лабораториями для исследований высоких технологий и делают возможным более широкое участие международных групп в работе над совместным аппаратом.

Моделирование наблюдаемости в малом для космических аппаратов

Пусть малый космический аппарат (МКА) в системе координат (O, x_1, x_2, x_3) жестко связанной с космической платформой (КП) движется по траектории, описываемой следующей системой:

$$\begin{aligned}\dot{x} &= A(t)x + vu \\ y &= C(t)x\end{aligned}\quad (1)$$

где $x = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix}, A(t) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & t \end{bmatrix}, y = \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{pmatrix}$, управление $v(t)$ кусочно-постоянное и $|v(t)| \leq 1$.

$$C(t) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & t \\ 0 & 1 & 0 \\ t & 0 & 1 \end{bmatrix}, u = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix};$$

Наблюдаемый в малом ли МКА для КП за конечное время?

Исследуем систему (1) на наблюдаемость в малом для начала координат (КП).

Решение. Сначала найдем смешанное произведение $\dot{x}_o, \ddot{x}_o, \dddot{x}_o$ в начале координат и проверим линейно независимость столбцов матриц $H(t)$.

Получим $(\dot{x}_o, \ddot{x}_o, \dddot{x}_o)$:

$$(\dot{x}_o, \ddot{x}_o, \dddot{x}_o) = v^3 \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & t \\ 1 & 4 & t^2 + 2 \end{vmatrix} = v^3 (t^2 - 3t + 4) \quad (2)$$

Из (2) очевидно, что $(\dot{x}_o, \ddot{x}_o, \dddot{x}_o) > 0 \forall t$. Это означает, что векторы $\dot{x}_o, \ddot{x}_o, \dddot{x}_o$, вычисленные в начале координат, линейно независимы.

Итак, первое условие наблюдаемости в малом для начала координат выполнено. Теперь проверим второе условие теорема в работе [1] о наблюдаемости системы (1).

Сформулируем матрицу $H(t)$. Как известно, $H(t) = C(t)Y(t)Y^{-1}(t_0)$, поэтому нам в начале необходимо найти фундаментальную матрицу $Y(t)$ однородной системы $\dot{x} = A(t)x$ и ее обратную матрицу $Y^{-1}(t_0)$.

Решая систему $\dot{x} = A(t)x$, легко выберем три следующих вектора в качестве фундаментальной системы решения:

$$X_1 = \begin{pmatrix} e^t \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, X_2 = \begin{pmatrix} 0 \\ e^{2t} \\ 0 \end{pmatrix}, X_3 = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ e^{t^2/2} \end{pmatrix}$$

Тогда получаем фундаментальную матрицу $Y(t)$:

$$Y(t) = \begin{bmatrix} e^t & 0 & 0 \\ 0 & e^{2t} & 0 \\ 0 & 0 & e^{t^2/2} \end{bmatrix} \quad (3)$$

Далее получим обратную матрицу $Y^{-1}(t_0)$:

$$Y^{-1}(t_0) = \frac{1}{\det Y(t_0)} (Y^*)^T = \frac{1}{e^{3t_0 + t_0^2/2}} \begin{bmatrix} e^{2t_0 + t_0^2/2} & 0 & 0 \\ 0 & e^{t_0 + t_0^2/2} & 0 \\ 0 & 0 & e^{3t_0} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e^{-t_0} & 0 & 0 \\ 0 & e^{-2t_0} & 0 \\ 0 & 0 & e^{-t_0^2/2} \end{bmatrix} \quad (4)$$

Из (3) и (4) получим:

$$H(t) = C(t)Y(t)Y^{-1}(t_0) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & t \\ 0 & 1 & 0 \\ t & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} e^t & 0 & 0 \\ 0 & e^{2t} & 0 \\ 0 & 0 & e^{t^2/2} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} e^{-t_0} & 0 & t \\ 0 & e^{-2t_0} & 0 \\ 0 & 0 & e^{-t_0^2/2} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} e^{t-t_0} & 0 & te^{t^2-t_0^2/2} \\ 0 & e^{2(t-t_0)} & 0 \\ te^{t-t_0} & 0 & e^{t^2-t_0^2/2} \end{pmatrix}$$

Далее проверим линейно независимость столбцов матрицы $H(t)$. Для этого необходимо рассчитать определитель, созданный из столбцов матрицы $H(t)$.

$$\det H(t) = \begin{vmatrix} e^{t-t_0} & 0 & te^{(t^2-t_0^2)/2} \\ 0 & e^{2(t-t_0)} & 0 \\ te^{t-t_0} & 0 & e^{(t^2-t_0^2)/2} \end{vmatrix} = e^{2(t-t_0)} \begin{vmatrix} e^{t-t_0} & te^{(t^2-t_0^2)/2} \\ e^{t-t_0} & e^{(t^2-t_0^2)/2} \end{vmatrix} = e^{2(t-t_0)} \left[e^{(t^2-t_0^2)/2 + t-t_0} - t^2 e^{(t^2-t_0^2)/2 + t-t_0} \right] \quad (5)$$

Из (5) очевидно, что $\det H(t) = 0$ при $t = \pm 1$. Следовательно, столбцы матрицы $H(t)$ линейно независимы в интервалах времени $[0; 1)$ и $(1; +\infty]$.

Поскольку $(\ddot{x}_o, \ddot{x}_o, \ddot{x}_o) > 0 \forall t$ и тогда по теореме 1 система (1) наблюдаема в малом для начала координат в интервалах времени $[0; 1)$ и $(1; +\infty]$.

Замечание. Видно, что процесс наблюдения в малом МКА, который достигнет начала координат, прекращается в момент времени $t = 1$. МКА управляем и наблюдаем в малом в интервале $[0; 1)$, но этого времени может не хватить, чтобы МКА достиг начал координат.

Библиографический список

1. Миронов В.В., Митрохин Ю.С. Устойчивость систем автоматического управления с переменной структурой // Вестник РГРТА. – 1999. – Вып. 6. – С. 37–40.
2. Молотов Е. П. Наземные радиотехнические системы управления космическими аппаратами. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 256 с.

УДК 517.977.55; ГРНТИ 27.29.21

ИЗУЧЕНИЕ ОБЛАСТИ ДОСТИЖИМОСТИ ДЛЯ СИСТЕМ ОПТИМАЛЬНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТРЕТЬЕГО ПОРЯДКА

К.М. Ву, В.В. Миронов

*Рязанский государственный радиотехнический университет,
Российская Федерация, Рязань, vuquangminh2631990@gmail.com**Аннотация.* В данной работе оценим область достижимости начала координат для систем линейных неавтономных дифференциальных уравнений третьего порядка в любой момент времени. Приведены теоретические результаты.*Ключевые слова:* область достижимости, линейные автономные и линейные неавтономные системы, достижим в малом.

STUDYING THE SCOPE OF REACHABILITY FOR OPTIMAL REGULATION SYSTEMS OF THE THIRD ORDER

Q.M. Vu, V.V. Mironov

*Ryazan State Radio Engineering University,
Russia, Ryazan, vuquangminh2631990@gmail.com**The summary.* In this paper, we estimate the attainability domain of the origin for systems of third-order linear non-autonomous differential equations at any time instant. Theoretical results are given.*Key words:* reachable domain, linear autonomous and linear non-autonomous systems, achievable in small.

В настоящее время в современной теории управления изучение и определение называемой области достижимости динамических систем занимает центральное место. При решении ряда задач управления, наблюдения и устойчивости объектов можно оценить возможности достижения цели управления, выбрать оптимальное управление. Перечисленные задачи тесно связаны с построением или оцениванием области достижимости динамических систем.

В начале рассмотрим систему трех линейных нестационарных дифференциальных уравнений:

$$\frac{dx}{dt} = A(t)x + v(t)u, \quad (1)$$

где $x = [x_1(t), x_2(t), x_3(t)]^T$ - вектор фазовых переменных системы; $u = [u_1(t), u_2(t), u_3(t)]^T$ - постоянный вектор, $v(t)$ - известная нормированная кусочно-постоянная (или кусочно-непрерывная) функция управления.

$$-1 \leq v \leq 1, \dots\dots\dots$$

$$A = \begin{bmatrix} a_{11}(t) & a_{12}(t) & a_{13}(t) \\ a_{21}(t) & a_{22}(t) & a_{23}(t) \\ a_{31}(t) & a_{32}(t) & a_{33}(t) \end{bmatrix} - \text{матрица с элементами, которые являются функциями от}$$

времени t .

Постановка задачи. Исследовать существование области достижимости начала координат для системы (1).

Для системы (1) найдем область начальных данных в произвольный момент времени t , из каждой точки которой можно достичь начала координат за конечное время.

Нахождение области достижимости для системы (1) в какой-либо произвольный момент времени соответствует тому, что мы зафиксируем желаемый момент времени t и тогда найдем область достижимости системы (1).

При фиксировании времени t система (1) примет следующий вид:

$$\frac{dx}{dt} = Ax + v(t)u, \quad (2)$$

где $A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix}$ - матрица с постоянными элементами.

В работе Карасева [1] указаны и доказаны теоремы оценки существования области достижимости для линейных систем. Согласно теоремам работ [1-3] для оценки области достижимости необходимо составить уравнений поверхности переключения l и определения фазовых координат особых точек.

Отметим, что использование этих теорем оценки существования области достижимости крайне затруднительно из-за громоздких вычислений.

В связи с этим сформулируем несколько теорем о существовании области достижимости для системы (2), связывая достижимость с собственными значениями λ_1, λ_2 и λ_3 матрицы A . Это позволяет нам быстрее оценить область достижимости для линейной системы (2).

Сначала необходимо найти собственные значения матрицы A системы (2):

Характеристическое уравнение для системы (2):

$$|A - \lambda E| = 0$$

$$\text{Или} \quad \begin{vmatrix} a_{11} - \lambda & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} - \lambda & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} - \lambda \end{vmatrix} = 0 \quad (3)$$

В итоге мы получим кубическое уравнение относительно λ :

$$\lambda^3 + b\lambda^2 + c\lambda + d = 0 \quad (4)$$

где b, c, d - постоянные, полученные из уравнения (3).

Для нахождения корней кубического уравнения (4) использованы формулы итальянского математика Кардано.

Вычислим дискриминант :

$$\Delta = \left(\frac{q}{2}\right)^2 + \left(\frac{p}{3}\right)^3$$

где для системы (3) $p = \frac{3c - b^2}{3}$, $q = \frac{2b^3 - 9bc + 27d}{27}$.

Далее оценим дискриминант Δ и найдем корни кубического уравнения (4):

1) $\Delta < 0$ - три вещественных корня λ_1, λ_2 и λ_3 . Введем y_1, y_2, y_3 :

$$y_1 = 2\sqrt{\frac{-p}{3}} \cos\left(\frac{\varphi}{3}\right), y_2 = 2\sqrt{\frac{-p}{3}} \cos\left(\frac{\varphi}{3} + \frac{2\pi}{3}\right), y_3 = 2\sqrt{\frac{-p}{3}} \cos\left(\frac{\varphi}{3} + \frac{4\pi}{3}\right)$$

где $\varphi = \arctg \left(\frac{\sqrt{-\Delta}}{\frac{-q}{2}} \right)$ при $q < 0$, $\varphi = \arctg \left(\frac{\sqrt{-\Delta}}{\frac{-q}{2}} \right) + \pi$ при $q > 0$ и $\varphi = \frac{\pi}{2}$ при $q = 0$

Получим собственные значения для (2):

$$\lambda_1 = y_1 - \frac{b}{3}, \lambda_2 = y_2 - \frac{b}{3}, \lambda_3 = y_3 - \frac{b}{3}$$

2) $\Delta > 0$ - один вещественный корень и два сопряженных комплексных корня.

$$y_1 = \sqrt[3]{\frac{-q}{2} + \sqrt{\Delta}} + \sqrt[3]{\frac{-q}{2} - \sqrt{\Delta}},$$

$$y_2 = -\frac{1}{2} \left(\sqrt[3]{\frac{-q}{2} + \sqrt{\Delta}} + \sqrt[3]{\frac{-q}{2} - \sqrt{\Delta}} \right) + i \frac{\sqrt{3}}{2} \left(\sqrt[3]{\frac{-q}{2} + \sqrt{\Delta}} - \sqrt[3]{\frac{-q}{2} - \sqrt{\Delta}} \right),$$

$$y_3 = -\frac{1}{2} \left(\sqrt[3]{\frac{-q}{2} + \sqrt{\Delta}} + \sqrt[3]{\frac{-q}{2} - \sqrt{\Delta}} \right) - i \frac{\sqrt{3}}{2} \left(\sqrt[3]{\frac{-q}{2} + \sqrt{\Delta}} - \sqrt[3]{\frac{-q}{2} - \sqrt{\Delta}} \right),$$

Получим собственные значения для (2):

$$\lambda_1 = y_1 - \frac{b}{3}, \lambda_2 = y_2 - \frac{b}{3}, \lambda_3 = y_3 - \frac{b}{3}$$

3) $\Delta = 0$ - один однократный вещественный корень и один двукратный, или, если $p = q = 0$, то один трёхкратный вещественный корень.

$$y_1 = 2\sqrt[3]{\frac{-q}{2}}, y_2 = -\sqrt[3]{\frac{-q}{2}},$$

$$\lambda = -\frac{b}{3}.$$

Итак, с помощью формул Кардано мы нашли все корни характеристического уравнения (3). Далее оценим область достижимости для системы (4) путем следующих теорем.

Теорема 4. Пусть для системы (2)

3) начало координат достижимо в малом.

4) выполнено одно из условий:

А) $\operatorname{Re} \lambda_i < 0$, $i = 1, 2, 3$ $\lambda_1 \neq \lambda_2 \neq \lambda_3$.

Б) $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 \leq 0$ и матрица A имеет кратный элементарный делитель.

В) $\lambda_1 < 0$, $\lambda_2 = \lambda_3 = 0$,

Г) $\lambda_1 < 0$, $\lambda_2 < 0$, $\lambda_3 = 0$.

Тогда начало координат достижимо в большом для системы (2).

Доказательство. Случай А). Здесь возможны два подслучая:

А₁) λ_1, λ_2 и λ_3 - вещественные собственные значения матрицы A ;

А₂) λ_1 - вещественное собственное значение и λ_2, λ_3 - сопряженные комплексные собственные значения.

В обоих подслучаях применяя теорему 1 в работе [1, 2], устанавливаем справедливость случая.

На доказательстве остальных случаев мы не останавливаемся.

Теорема 5. Пусть для системы дифференциальных уравнений (2) начало координат достижимо в малом и пусть выполнено одно из условий:

- а) $\operatorname{Re} \lambda_i > 0, \quad i = 1, 2, 3 \quad \lambda_1 \neq \lambda_2 \neq \lambda_3.$
- б) $\operatorname{Re} \lambda_i > 0, \quad i = 1, 2; \lambda_3 \leq 0, \quad \lambda_1 \neq \lambda_2 \neq \lambda_3.$
- в) $\operatorname{Re} \lambda_i < 0, \quad i = 1, 2; \lambda_3 > 0, \quad \lambda_1 \neq \lambda_2 \neq \lambda_3.$
- г) $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 > 0$ и матрица A имеет кратный элементарный делитель;
- д) $\lambda_1 > 0; \lambda_2 \leq 0; \lambda_3 \leq 0.$
- ж) $\lambda_1 > 0; \lambda_2 > 0; \lambda_3 \leq 0.$

Тогда областью достижимости D является некоторая часть фазового пространства R^3 .

Доказательство. Рассмотрим все случаи по порядку.

Случай а). Здесь возможны два подслучая:

а₁) λ_1, λ_2 и λ_3 - вещественные собственные значения матрицы A ;

а₂) λ_1 - вещественное собственное значение и λ_2, λ_3 - сопряженные комплексные собственные значения.

Особые точки α^+ и α^- при $v=1$ и $v=-1$ соответственно есть неустойчивые узлы [2]. Построив поверхность переключения l и замкнутую кривую γ , состоящую из отрицательных полутраекторий γ^+ и γ^- , проходящих через точки α^+ и α^- соответственно, мы можем показать, что выполнены все пункты теоремы 3 работы [1]. Поэтому область, ограниченная кривой γ , является областью достижимости начала координат для системы (2) в случае а).

Таким образом, мы провели полное исследование существования области достижимости для системы (2).

Библиографический список

1. Карасёв И.П. О существовании области достижимости // Дифференциальные уравнения. – 1967. – Т.3. – № 12. – С. 68-74.
2. Миронов В.В., Митрохин Ю.С. Новый подход к исследованию устойчивости и управляемости динамических систем // Труды международной конференции «Алгебраические и аналитические методы в теории дифференциальных уравнений». – Орел, 1996. – С. 127–129.
3. Миронов В.В., Митрохин Ю.С. Устойчивость систем автоматического управления с переменной структурой // Вестник РГРТА. – 1999. – Вып. 6. – С. 37–40.

УДК 621.396; ГРНТИ 47.47

РАЗРАБОТКА И РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА ВЫДЕЛЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ ВОЗДУШНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ФИЛЬТРАЦИИ

М.А. Иванов, А.Б. Фельдман

Рязанский государственный радиотехнический университет,
Российская Федерация, Рязань, taxruazan@mail.ru

Аннотация. В работе рассмотрен алгоритм выделения изображений воздушных объектов на основе пространственной фильтрации. Представлена реализация данного алгоритма в среде SIMULINK.

Ключевые слова: изображение, алгоритм пространственной фильтрации, видеопоследовательность.

DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF THE ALGORITHM FOR SELECTION OF IMAGES OF AIR TARGETS BASED ON THE SPATIAL FILTERING

M.A. Ivanov, A.B. Feldman

Ryazan State Radio Engineering University,

Russia, Ryazan, maxryazan@mail.ru

The summary. In the article the algorithm of aerial objects extraction from video sequences based on the filtering in the spatial domain is described. The main idea of the algorithm and its implementation in the Simulink environment is discussed.

Keywords: image, spatial filtering algorithm, video sequence.

1. Введение

Многообразие практических задач дало толчок тому, что область применения цифровой обработки изображений (ЦОИ) значительно расширилась [1]. Методы обработки изображений уже играют значительную роль в научных исследованиях, промышленности, медицине, космических исследованиях, контроле за движением воздушных и наземных транспортных средств. С развитием глобальных компьютерных сетей актуальными становятся проблемы передачи изображений по узкополосным каналам связи, разработка методов кодирования изображений [2].

Множество различных задач, связанных с ЦОИ, породило и множество самых разнообразных методов и алгоритмов их решения. При этом исторически большее внимание уделялось вопросам обработки отдельно взятых кадров изображений. Именно применительно к таким задачам были достигнуты наиболее значимые результаты. Здесь возникают проблемы, связанные с автоматическим обнаружением появляющегося на изображении объекта, выделением принадлежащих ему точек, оценкой таких его параметров, как координаты, размеры, яркость. В качестве фонового изображения могут выступать леса, дома, дороги, облака и т.п.

Вместе с тем, во многих случаях, для получения эффективных решений, необходимо рассматривать и анализировать последовательности изображений. Это, прежде всего, относится к задачам выделения и слежения за движущимися объектами, измерения их координат и скоростей их движения. Сцены можно подразделить на два больших класса. В первом объекты являются точечными или малоразмерными и наблюдаются на относительно ровном фоне, подобные задачи являются традиционными для активной радио- и оптической локации. При этом применяются и разработанные для этих условий модели процессов. Во втором при использовании телевизионных средств с высокой разрешающей способностью, контролируемые объекты часто выглядят протяженными, перемещающимися на сложном неоднородном фоне. К сожалению, большинство известных методов и алгоритмов обработки изображений, рекомендуемых для работы в таких условиях (корреляционно-экстремальные методы, разностные методы, методы сегментации), имеют эвристическое происхождение и часто не обеспечивают надежного решения задач при наличии неоднородного фона и изменяющихся с течением времени параметров, характеризующих объекты наблюдения. Сложившаяся ситуация в значительной степени объясняется отсутствием адекватных математических моделей изображений приемлемой сложности, на основе которых можно было бы синтезировать алгоритмы обработки информации. Поэтому до сих пор существует необходимость разработки эффективных и не слишком сложных алгоритмов, которые могут быть реализованы на современной и перспективной элементной базе в реальном масштабе времени. Задачи, которые ставятся в рамках обработки изображений, не всегда возможно решить с помощью известных методов. Это приводит к необходимости разработки специальных алгоритмов обработки визуальной информации.

“Зоной особого внимания” исследователей в настоящее время стала задача выделения и слежения за объектами. Эта задача актуальна, так как является начальным этапом при решении более сложных проблем автоматического распознавания объектов, сопровождения и

др. и находит широкое применение в разработках системах технического зрения, научных исследованиях [3].

Выделение и слежение за объектами как этап обработки визуальной информации является естественным и логическим расширением функциональных возможностей систем ЦОИ, так как позволяет осуществить визуальный анализ областей объектов, их яркостных и геометрических характеристик [4]. В то же время от качества выделения и обнаружения объектов во многом зависит успех решения задачи распознавания изображений, интерпретации или идентификации визуально наблюдаемых объектов и, в конечном счете, выработки управляющих воздействий в робототехнических системах.

В данной работе разработан алгоритм пространственной фильтрации для обнаружения и оценки параметров воздушных объектов [5, 6], как составная часть системы выделения и слежения за объектами. Тема данной работы актуальна в связи с тем, что алгоритм пространственной фильтрации для обнаружения и оценки параметров воздушных объектов требуется для работы в составе бортовых информационных комплексов, которые предназначены для установки на автомобильную и авиационную технику, системы мониторинга и контроля движения в воздушном пространстве, системы противовоздушной безопасности промышленных предприятий.

2. Алгоритм выделения изображений воздушных объектов на основе пространственной фильтрации

Пространственная обработка базируется на информации, заложенной в одном телевизионном кадре. Данный класс методов широко использует априорную информацию о размерах объектов. Оптимальные пространственные методы обработки учитывают корреляционные связи между выборками сигналов в соседних точках изображения.

Функциональная схема алгоритма выделения изображений на основе пространственной фильтрации представлена на рисунке 1:

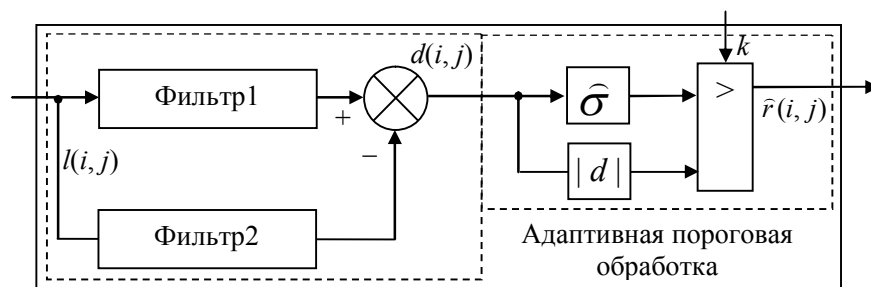


Рис. 1. Функциональная схема пространственного алгоритма

В начале осуществляется процедура компенсации фона. Для выполнения оценки фона, исходное изображение $l(i, j)$ пропускается через фильтр 2, имеющий маску h_2 большой размерности. Параллельно $l(i, j)$ сглаживается маской h_1 меньшего размера, после чего из результата фильтрации вычитается оценка фоновое изображение.

При большом диапазоне варьирования размеров объектов можно использовать линейные усредняющие фильтры (1, 2), которые могут быть реализованы с высокой вычислительной эффективностью.

$$f_1(i, j) = \sum_{m_x=-q_1}^{q_1} \sum_{m_y=-q_1}^{q_1} h_1(m_x, m_y) l(i - m_x, j - m_y), \quad (1)$$

$$f_2(i, j) = \sum_{m'_x=-q_2}^{q_2} \sum_{m'_y=-q_2}^{q_2} h_2(m_x, m_y) l(i - m_x, j - m_y), \quad (2)$$

где f_1, f_2 – изображения, полученные на выходе фильтров 1 и 2 соответственно;
 h_1 и h_2 – маски фильтров размерностями $(2q_1+1) \times (2q_1+1)$ и $(2q_2+1) \times (2q_2+1)$ соответственно,
 причем $q_1 < q_2$.

Вид масок может быть следующим:

$$h_1(m_x, m_y) = 1/(2q_1+1)^2, \quad m_x, m_y = \overline{-q_1, q_1};$$

$$h_2(m_x, m_y) = \begin{cases} 0, & \text{при } m_x, m_y = \overline{-q_1, q_1}, \\ 1/((2q_2+1)^2 - (2q_1+1)^2), & \text{иначе.} \end{cases} \quad (3)$$

Кроме линейных фильтров могут использоваться и нелинейные, например медианные, максимедианные и др.

Для нахождения адаптивного порога оценивается дисперсия шума и остаточного фона. Эксперименты показывают, что практически оценка сводится к нахождению второго начального момента, так как математическое ожидание, как правило, близко к нулю.

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{1}{N_x \cdot N_y} \sum_{i=1}^{N_x} \sum_{j=1}^{N_y} d^2(i, j). \quad (4)$$

После этого применяется решающее правило (5).

$$\hat{r}(i, j) = \begin{cases} 1, & |d(i, j)| > k\hat{\sigma}, \\ 0, & \text{иначе,} \end{cases} \quad (5)$$

где k – полуширина доверительного интервала.

3. Реализация алгоритма в среде SIMULINK

Рассмотренный алгоритм был реализован в среде Simulink пакета MatLab. Simulink – это графическая среда имитационного моделирования, позволяющая при помощи блок-диаграмм в виде направленных графов, строить динамические модели, включая дискретные, непрерывные и гибридные, нелинейные и разрывные системы [8].

Разработанная модель (рисунок 2) для реализации алгоритма обнаружения воздушных объектов на основе пространственной фильтрации наблюдаемых изображений состоит из следующих блоков:

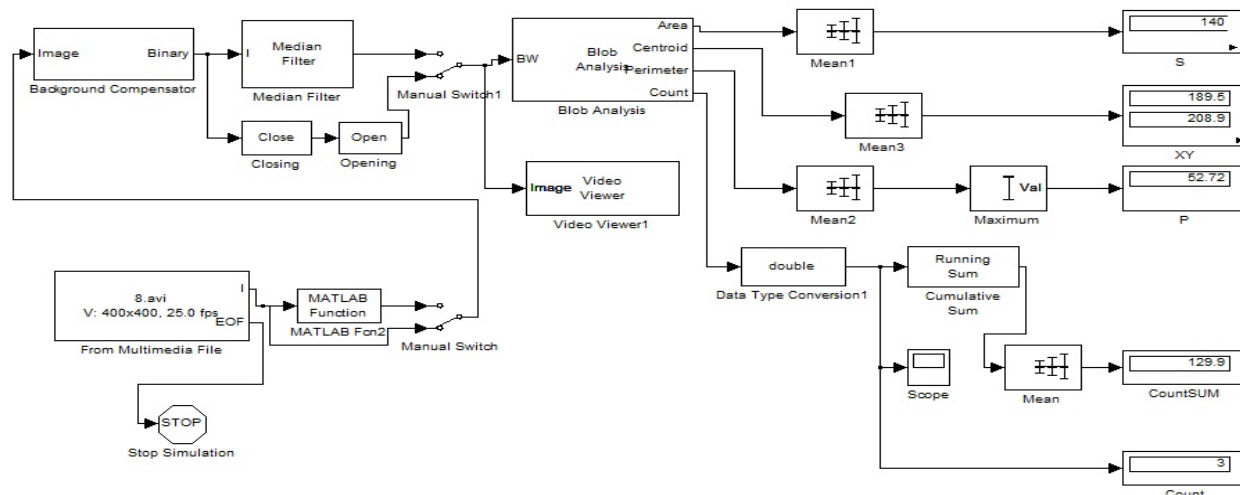


Рис. 2. Simulink-модель алгоритма пространственной фильтрации

- Блок From Multimedia File применяется для чтения видеофайлов;
- Блок Video Viewer. В нем реализован вывод изображения на экран;
- Для реализации алгоритма на основе пространственной фильтрации изображения добавлен блок Background Compensator.
- Для нахождения числа бинарных сегментов применяется блок Blob Analysis. В случае большого количества сегментов для вывода правильного результата используется блок Data Type Conversion, который преобразует данные выхода Count блока Blob Analysis к типу double.
- Блок Mean. Определяет математическое ожидание (среднее значение) по столбцам, строкам или всей матрице. В данном случае используется для сглаживания значений по времени.
- Медианный фильтр [9] (блок Median Filter) - один из видов цифровых фильтров, широко используемый в цифровой обработке сигналов и изображений для уменьшения уровня шума. Значения отсчетов внутри окна фильтра сортируются в порядке возрастания (убывания); и значение, находящееся в середине упорядоченного списка, поступает на выход фильтра. В случае четного числа отсчетов в окне выходное значение фильтра равно среднему значению двух отсчетов в середине упорядоченного списка. Окно перемещается вдоль фильтруемого сигнала и вычисления повторяются.
- Операции морфологического открытия и закрытия [9], осуществляющиеся с помощью блоков Closing и Opening, применяются для снижения числа ложных сегментов, порожденных воздействием шума;

4. Выводы

Экспериментальная проверка алгоритма в основном производилась с использованием характерных естественных видеопоследовательностей продолжительностью от 250 до 550 кадров, снятых в ТВ и ИК диапазонах. Полученные результаты показывают, что алгоритм обнаруживает изображения крупноразмерных и малоразмерных воздушных объектов в условиях зашумленной видеопоследовательности. Применение фильтров с различными размерами масок, операций морфологического открытия и закрытия позволяет обеспечить сокращения количества ложно выделяемых объектов.

На основании полученных результатов можно сделать вывод, что разработанная модель для реализации алгоритма выделения изображений воздушных объектов на основе про-

пространственной фильтрации по данным видеонаблюдения может быть успешно применена к реальным видеопоследовательностям.

Возможными областями применения алгоритма выделения изображений воздушных объектов на основе пространственной фильтрации являются видеоинформационные комплексы летательных аппаратов, системы мониторинга воздушного пространства.

Дальнейшее улучшение результатов выделения изображений воздушных объектов возможно путем введения в дополнение к пространственной фильтрации этапа межкадровой обработки последовательности изображений.

Библиографический список

1. Алпатов Б.А., Бабаян П.В., Балашов О.Е., Степашкин А.И. Методы автоматического обнаружения и сопровождения объектов. Обработка изображений и управление. – М.: Радиотехника, 2008. – 176 с.: ил.
2. Визильтер Ю.В., Желтов С.Ю., Бондаренко А.В. и др. Обработка и анализ изображений в задачах машинного зрения. – М.: Физматкнига, 2010. – 672 с.
3. Алпатов Б.А., Бабаян П.В. Технологии обработки и распознавания изображений в бортовых системах технического зрения // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. – Рязань. – 2017. – №2. – С.34-44.
4. Алпатов Б.А., Блохин А.Н. Модели и алгоритмы обнаружения и выделения движущихся фрагментов изображений // Автометрия. – 1995. – №4. – С. 100-104.
5. Муравьев В.С. Пространственный алгоритм обнаружения и определения координат воздушных объектов на изображении // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. – Рязань, 2009. – №2(28). – С.17-20.
6. Алпатов Б.А., Муравьев В.С., Муравьев С.И. Обработка и анализ изображений в системах автоматического обнаружения и сопровождения воздушных объектов. – Рязань, 2012. 112 с.
7. Алпатов Б.А., Муравьев С.И., Муравьев В.С. Пространственный алгоритм выделения объектов на основе адаптивной пороговой обработки // Цифровая обработка сигналов и ее применения. Тез. докл. 8-й междунар. конф. Том 2. – М.: 2006. – С. 445-448.
8. Черных И.В. Simulink: среда создания инженерных приложений. – М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2003. – 496 с.
9. Гонсалес Р., Вудс Р., Эддинс С. Цифровая обработка изображений в среде MATLAB. – М.: Техносфера, 2006. – 616с.

УДК 004.931 ГРНТИ 28.23.29

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАСПОЗНАВАНИЯ РУКОПИСНЫХ ЦИФР В НЕЙРОСЕТЕВЫХ МЕТОДАХ

В.С. Муравьев, О.К. Архипова

*Рязанский государственный радиотехнический университет,
Российская Федерация, Рязань, helga.const@mail.ru*

Аннотация. В данной работе рассмотрены пути повышения эффективности нейросетевых методов, направленные на увеличение частоты правильной классификации рукописных цифр. Приведены результаты экспериментальных исследований на базе изображений MNIST, выполнено сравнение алгоритмов нормализации данных на основе количественных характеристик работоспособности нейросетевых методов.

Ключевые слова: распознавание, нейронная сеть, рукописные цифры, база данных MNIST.

IMPROVING THE EFFICIENCY OF HANDWRITTEN DIGIT RECOGNITION IN NEURAL NETWORKS

V.S. Muraviev, O.K. Arkhipova

*Ryazan State Radio Engineering University,
Russia, Ryazan, helga.const@mail.ru*

Abstract. This paper discusses ways to improve the efficiency of neural network aimed at increasing correct classification of handwritten digits. The results of experimental studies based on

MNIST images are presented, and algorithms are compared on the basis of performance characteristics of neural networks.

Keywords: recognition, neural network, handwritten digits, MNIST database.

В последнее десятилетие в мире быстро развивается новая прикладная область математики, специализирующая на искусственных нейронных сетях. Широкий круг задач, решаемый с помощью нейронных сетей, не позволяет в настоящее время создавать универсальные архитектуры, вынуждая разрабатывать специализированные сети и их структуры более подходящие для каждой конкретной задачи. В последнее время благодаря развитию методов обучения появилась возможность существенного увеличения числа слоев сети и нейронов в каждом слое для улучшения итогового результата. Также разрабатываются подходы, направленные на увеличение обучающей способности сетей и уменьшения вероятности переобучения.

В данной работе исследуются возможности применения нейронных сетей для распознавания рукописных цифр. Исторически одной из первых архитектур, которая применялась для решения данной задачи, являлся многослойный персептрон. Однако применение многослойного персептрона с традиционной структурой при решении реальных задач распознавания и классификации изображений вызывает определенные трудности: во-первых, изображения, как правило, имеют большую размерность, вследствие чего возрастает число нейронов и синаптических связей в сети, вследствие чего увеличивается время и вычислительная сложность процесса обучения; во-вторых, игнорируется топология входных данных.

Попыткой уменьшить недостатки традиционного многослойного персептрона стала разработка нейронной сети, построенной на каскаде автокодировщиков [1]. Данный подход показал неплохие результаты по сравнению с многослойным персептроном (частота правильной классификации достигает 96,1 %), однако предложенная архитектура оказалась не совершенной, тогда исследования сосредоточились на изучении сверточной нейронной сети (СНС). Для начала была взята самая простая архитектура LeNet-5 с чередованием сверточного, субдискретизирующего слоев и softmax-слоя на выходе [2]. Заявленный результат был значительно выше прежнего – 99,1 %, тогда дальнейшие исследования сосредоточились на различных попытках совершенствования методов обучения, нормализации данных и архитектуры этой сети, с целью достижения минимально возможной ошибки распознавания.

Применение различных подходов для повышения эффективности СНС

Функция активации. Нейронные сети способны приблизить сколько угодно сложную функцию, если в них достаточно слоев и функция активации является нелинейной. Однако применение нелинейных сигмоидной или тангенциальной функций иногда приводит к затуханию или увеличению градиентов при обучении по методу обратного распространения ошибки [3]. Поэтому при построении модели сети использовалась выпрямленная (полулинейная) функция активации ReLU:

$$\sigma(x) = \max(0, x) . \quad (1)$$

Так как ее производная равна единице, либо нулю, то не возникает проблемы разрастания или затухания градиентов. Более того использование данной функции приводит к прожиганию весов.

Dropout-регуляризация. Глубокие нейронные сети сильно подвержены переобучению из-за большого числа параметров. Одним из способов борьбы с этим недостатком является

процедура dropout-регуляризации, представленная на рисунке 1. Обучение глубокой нейронной сети, как правило, производят с помощью алгоритма стохастического градиентного спуска, случайно выбирая по одному объекту из выборки. Идея dropout-регуляризации состоит в том, что при выборе очередного объекта изменяется структура сети: каждый нейрон выбрасывается с некоторой вероятностью p . Для такой прореженной сети выполняется обратное распространение ошибки, причем при вычислении градиентов учитываются только оставшиеся веса, после чего на следующей итерации все выброшенные связи возвращаются в нейросеть. Таким образом, на каждой итерации метода стохастического градиента выбирается одна из возможных архитектур сети, где под архитектурой понимается структура связей между нейронами, а через N будет обозначаться суммарное число нейронов. При применении нейросети вероятность того, что нейрон останется в сети, составляет $-(1 - p)$. Таким образом, обученную с помощью dropout-регуляризации нейросеть можно рассматривать как результат усреднения 2^N сетей [3].

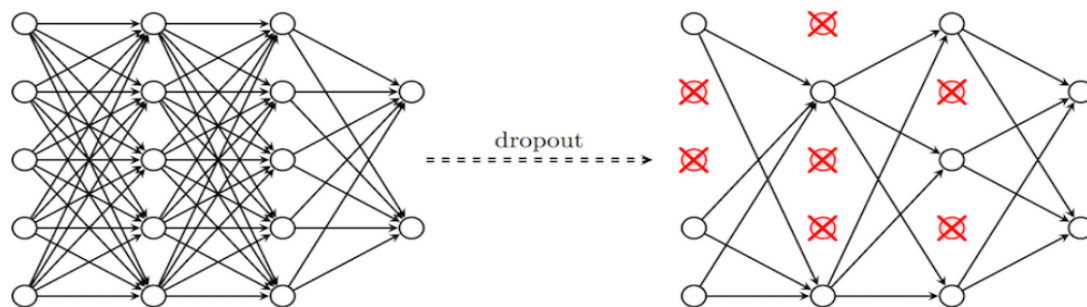


Рис. 1. Dropout-регуляризация

Новые алгоритмы обучения. Для обучения была выбрана модификация метода стохастического градиентного спуска – метод адаптивной инерции Adam. Стандартным методом обучения нейронных сетей является алгоритм стохастического градиентного спуска (SGD), однако он может расходиться или сходиться очень медленно, если шаг обучения настроен недостаточно аккуратно. Поэтому существует много альтернативных методов (Adam, Adagrad, Adadelta, RMSprop) с целью ускорить сходимость обучения и избавить пользователя от необходимости тщательной настройки гиперпараметров. Выбранный метод Adam, эффективно вычисляет градиенты и адаптивно изменяет шаг обучения по итерациям.

Пакетная нормализация данных. Помимо настройки шага для обучения сети, с которой неплохо справляется метод Adam, возникает эффект внутреннего ковариационного сдвига. Это можно объяснить таким образом. Когда обучающей системе на вход подаются данные, имеющие разное распределение на данные изменяющиеся со временем, скорость изменения весов в сети замедляется при обучении, так как веса сравнительно долго адаптируются под изменяющиеся условия. Было установлено [4], что обучение сходится быстрее, если предварительно нормализовать и декоррелировать входные данные в каждом слое нейронной сети. В этом и заключается принцип работы метода пакетной нормализации.

Расширение обучающего множества. Для улучшения результата обучения нейронной сети часто применяется искусственное увеличение объема обучающей выборки путем некоторой модификации образцов из этой выборки. Во время обучения каждый образец из обучающей выборки подвергался геометрическим и яркостным трансформациям, перед тем как быть поданным на вход нейронной сети. Параметры трансформации генерировались случайно и независимо для каждого предъявления образца [5]. Желательно обучить сеть так, чтобы она оставалась устойчивой к любым искажениям, но модель может обучаться только на ос-

нове тех образцов, которые ей предоставили, притом, что она проводит в некотором роде статистический анализ обучающего множества и экстраполирует его. Например, вот несколько изображений сдвинутых, масштабированных, повернутых, наклоненных цифр из набора MNIST рисунок 2.



Рис. 2. Пример трансформированных изображений из базы данных MNIST

Ансамбли. Ещё одна интересная особенность нейронных сетей, которую можно отметить, когда они используются для распределения данных на более чем два класса – это то, что при различных начальных условиях ряд сетей легче обучаются, в то время как другие могут оказаться хуже обученными. На примере MNIST можно обнаружить, что отдельно взятая нейронная сеть прекрасно умеет отличать цифру три от цифры пять, но может не учиться правильно отделять единицу от семи, в то время как дела с другой сетью обстоят наоборот. Данное наблюдение отражает статистический характер процесса учета особенностей данных при обучении сети. С этим несоответствием можно бороться с помощью метода статистических ансамблей, когда вместо одной сети предлагается построить несколько ее копий с разными начальными значениями и объединить их результаты для одних и тех же входных данных. Для решения задачи распознавания рукописных цифр предлагается использовать следующую структуру ансамбля из трех нейронных сетей. Структура данного ансамбля приведена на рисунке 3.

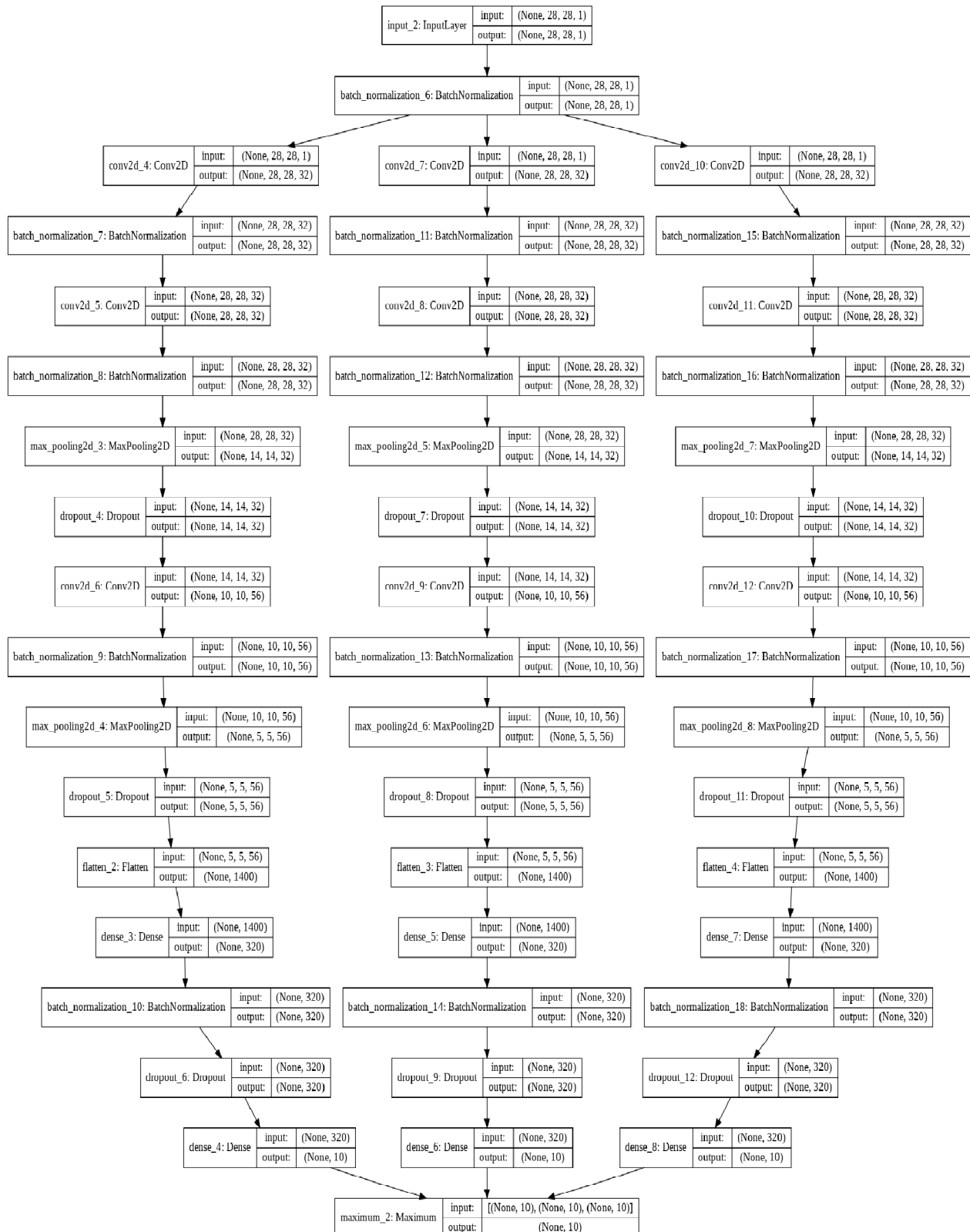


Рис. 3. Ансамбль сверточных нейронных сетей

Результаты экспериментальных исследований

В работе приведены результаты экспериментальных исследований эффективности применения различных подходов к улучшению распознавания рукописных цифр в нейросе-

тевых методах. При проведении моделирования нейронных сетей использовалась высокоуровневая библиотека глубокого обучения Keras [6], написанная на языке программирования Python. Она не является самостоятельной, а работает поверх библиотеки TensorFlow [7]. TensorFlow – открытая программная библиотека для машинного обучения, разработанная компанией Google в 2015 году для решения задач построения и тренировки нейронной сети с целью автоматического нахождения и классификации образов. Для исследований в качестве входных данных была использована база изображений рукописных цифр MNIST [8]. MNIST – база данных рукописных цифр от 0 до 9, имеющая подготовленный набор обучающей выборки в размере 60000 изображений, и 10000 тестовой выборки. Каждое изображение в этой базе размером 28x28 пикселей. Обычно значения, ассоциированные с пикселями, нормируются с целью привести их к диапазону [0; 1] (яркость каждого пикселя делится на максимально возможную яркость 255). На основании имеющейся эталонной информации и полученных результатов распознавания определяется вероятность правильной классификации рукописных цифр. В таблице 1 сведены результаты распознавания контрольной выборки из базы данных MNIST для различных методов построения классификатора.

Таблица 1.

Классификатор	Результаты правильного распознавания на тестовой выборке (%)
Персептрон	91,2
Автоэнкодер	96,1
Сверточная нейронная сеть	99,1
Dropout-регуляризация	99,16
Метод обучения Adam	99,28
Пакетная нормализация	99,42
Расширение обучающего множества	99,48
Ансамбль	99,66

Выводы

Необходимо отметить, что наилучшие результаты показал ансамбль НС, содержащий слои для нормализации и регуляризации. Комбинация различных подходов к обучению сверточной нейронной сети дает наилучший результат распознавания рукописных цифр, чем каждый из этих методов сам по себе.

Увеличение качества распознавания сопряжено с существенным увеличением вычислительной сложности и необходимостью увеличения числа тестовых примеров в выборке. Причем каждое последующее улучшение приводит к существенному росту вычислительных затрат. Увеличение числа нейронов приводит к сложностям при ее обучении. А так как используемые методы обучения построены на основе стохастических алгоритмов, то повторяемость результатов заметно ухудшается.

Библиографический список

1. Архипова О.К. Алгоритм распознавания рукописных цифр на основе разреженных автокодировщиков / О.К. Архипова // Сб. тр. междунар. науч.-техн. форума СТНО: в 10 т. Т.5. – 2018. – Рязань: РГРТУ. – С. 146-150.
2. Архипова О.К. Применение сверточных нейронных сетей для распознавания рукописных цифр / О.К. Архипова // сб. тр. всероссийской. науч.-техн. конф. НИТ. – 2017. – Рязань: РГРТУ. – С. 215-216.
3. Schmidhuber J. Deep Learning in Neural Networks: an Overview // Neural Networks. 2015. Vol. 1. P. 85–117.
4. LeCun Y., Bengio Y., Hinton G. Deep Learning // Nature. – 2015. – Vol. 521. pp. 436–444.
5. Deep Learning in Neural Networks: an Overview // Neural Networks. – 2015. – Vol 1. – pp. 16.
6. Schmidhuber J. Deep Learning in Neural Networks: an Overview // Neural Networks. – 2015. – Vol 1. – pp. 85–117.

7. Chollet F., et al. Keras. 2015. [Электронный ресурс]. URL: <https://github.com/fchollet/keras> (дата обращения: 22.01.2019).
8. Abadi M., Agarwal A., Barham P. TensorFlow: Large-Scale Machine Learning on Heterogeneous Distributed Systems // Proceedings of the 12th USENIX Symposium on Operating Systems Design and Implementation (OSDI '16) (Savannah, GA, USA, November, 2–4, 2016), 2016. P. 265–283.
9. hMatConvNet: [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.vlfeat.org/matconvnet/install> (дата обращения: 22.01.2019).
10. Haibing Wu, Xiaodong Gu Towards. Dropout Training for Convolutional Neural Networks // Neural Networks. – 2015. – Vol 1. – pp. 85–117.
11. Махлаев Ю.Н., Кухарев А.В. Сверточные нейронные сети // Ю.Н. Махлаев, А.В. Кухарев // Веснік № 3. – ВДУ. – С. 28–34.

УДК 004.931 ГРНТИ 28.23.29

ОБРАБОТКА И РАСПОЗНАВАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОЛНОСВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

А.А. Ильин

*Рязанский государственный радиотехнический университет,
Российская Федерация, Рязань, for-ide@mail.ru*

Аннотация. В работе рассматривается алгоритм обработки и распознавания изображений с использованием полносверточной нейронной сети. Приводятся основные особенности полносверточных сетей и их отличия от сверточных нейронных сетей

Ключевые слова: сверточные нейронные сети (CNN), полносверточные нейронные сети (FCN).

IMAGE PROCESSING AND RECOGNITION USING FULLY CONVOLUTIONAL NETWORKS

A.A. Ilyin

*Ryazan State Radio Engineering University,
Russia, Ryazan, for-ide@mail.ru*

The summary. The paper discusses the algorithm of image processing and recognition using a fully convolutional networks. Given the main features of fully convolutional networks and their differences from convolutional neural network.

Keywords: convolutional neural network (CNN), fully convolutional networks (FCN).

Одним из основных методов распознавания образов на изображении является применение нейронных сетей. Существует множество вариантов конфигураций нейронных сетей и постоянно появляются все новые, более приспособленные для решения конкретных задач по сравнению со своими предшественниками.

В последние несколько лет в сфере обработки изображений, распознавания образов и сегментации получила распространение модификация сверточных сетей (CNN) - полносверточная нейронная сеть (FCN). В отличие от обычных сверточных сетей, которые состоят из сверточных слоев и полносвязного слоя на выходе сети, полносверточные нейронные сети состоят только из сверточных слоев. Благодаря этому нейронная сеть получает возможность обрабатывать не только изображения того размера, на которых обучалась, но и любого другого [1].

Полносверточные нейронные сети используются например для задач, где нужно, для объекта или нескольких объектов определить местоположение форму. Также при помощи полносверточных нейросетей можно значительно ускорить такие операции над изображениями как: минимизация градиента, многомасштабная тональная обработка, перенос стиля фотографии [2]. Подобные задачи тяжело решить с помощью обычных сверточных сетей.

Результатом применения обычной сверточной сети являются числа или массивы чисел на ее выходе. Другими словами, сверточная нейросеть дает лишь частичную информацию о изображении.

Полносверточные нейронные сети после обработки выдают сегментированное изображение, которое соответствует по размерности входному. Из-за этого они имеют второе название – сегментационные нейронные сети.

Сегментация – это разделение объектов в различные группы по общим признакам. Благодаря этому возможно получить от сети гораздо больше информации, при этом результат может быть обработан простыми эвристическими методами.

Полносверточная нейросеть состоит из сверточной сети, которая производит свертку входного изображения, а также ее полного отражения, которое восстанавливает изображение из свертки. Благодаря этому на выходе полносверточной нейронной сети получается изображение, соответствующее по размеру входному, но сегментированное. Структура полносверточной нейронной сети представлена на рисунке 1.

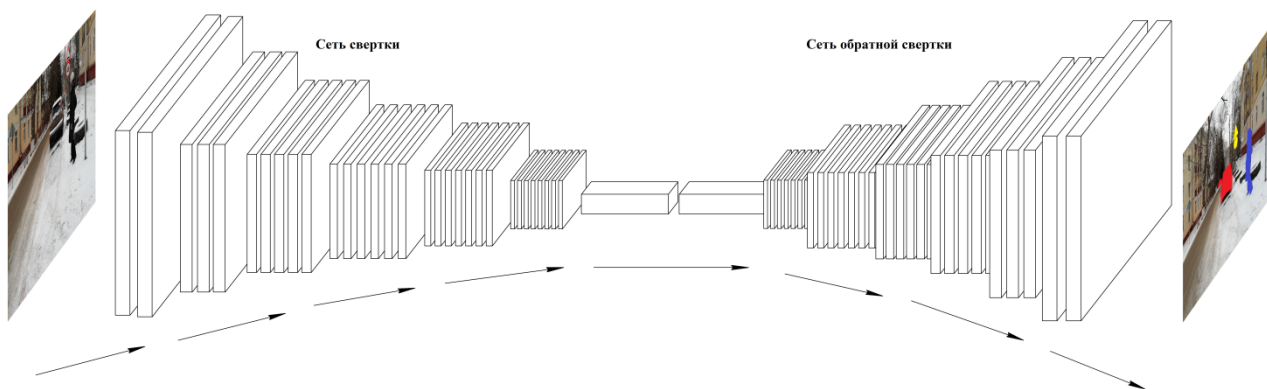


Рис. 1. Структура полносверточной нейронной сети

Идея СНС заключается в чередовании слоев свертки (C), функций активации ReLU, субдискретизирующих слоев (S). Многократное чередование C и S слоев позволяет составлять карты признаков из других карт признаков предыдущего слоя. В этом случае карта признаков вырождается в вектор, но при этом таких карт признаков становится очень много. Общая структура сверточной нейронной сети представлена на рисунке 2.

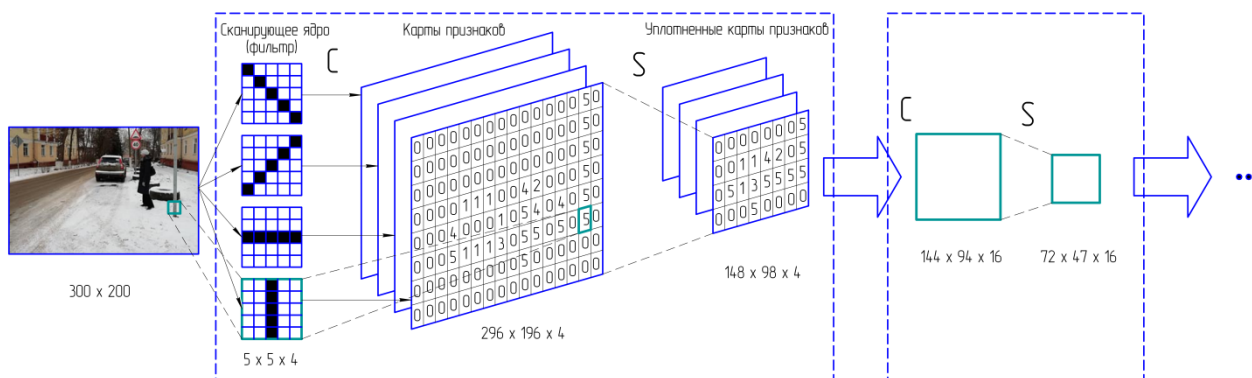


Рис. 2. Структура сверточной нейронной сети

Сверточный слой (CONV) перемножает значения ядра (фильтра) с исходными пикселями изображения (производит поэлементное умножение), после чего все результаты сум-

мируются. Каждая уникальная позиция ядра на исходном изображении преобразуется в число.

В блоке линейной ректификации (RELU) к данным применяется поэлементная функцию активации $f(x) = \max(0, x)$, которая устанавливает нулевой порог. Она используется для отсека ненужных детали путем замены на 0.

Слой субдискретизации или слой пулинга (POOL) выполняет понижение дискретизации размеров изображения (ширины и высоты), благодаря чему объем сокращается. Это называется нелинейным уплотнением карты признаков. Этот алгоритм можно представить так: если на предыдущем этапе операции свертки были найдены признаки, то для дальнейшего поиска подробное изображение больше не нужно, поэтому оно уплотняется до менее подробной картинки.

Во второй половине полносверточной нейронной сети выполняются операции обратные тем, что используются в сверточной части сети.

Слой UNPOOL. Операция субдискретизации не может быть полностью инвертирована. Из-за этого обычно на этапе субдискретизации записывают позицию максимума функции активации предыдущего слоя в специальную матрицу переменных. При операции Unpool значение функции активации из предыдущего слоя копируется в позицию, записанную в матрице переменных, а во все остальные позиции записывается ноль.

Слой DECONV использует те же ядра, что и соответствующий ему слой свертки в сверточной части сети.

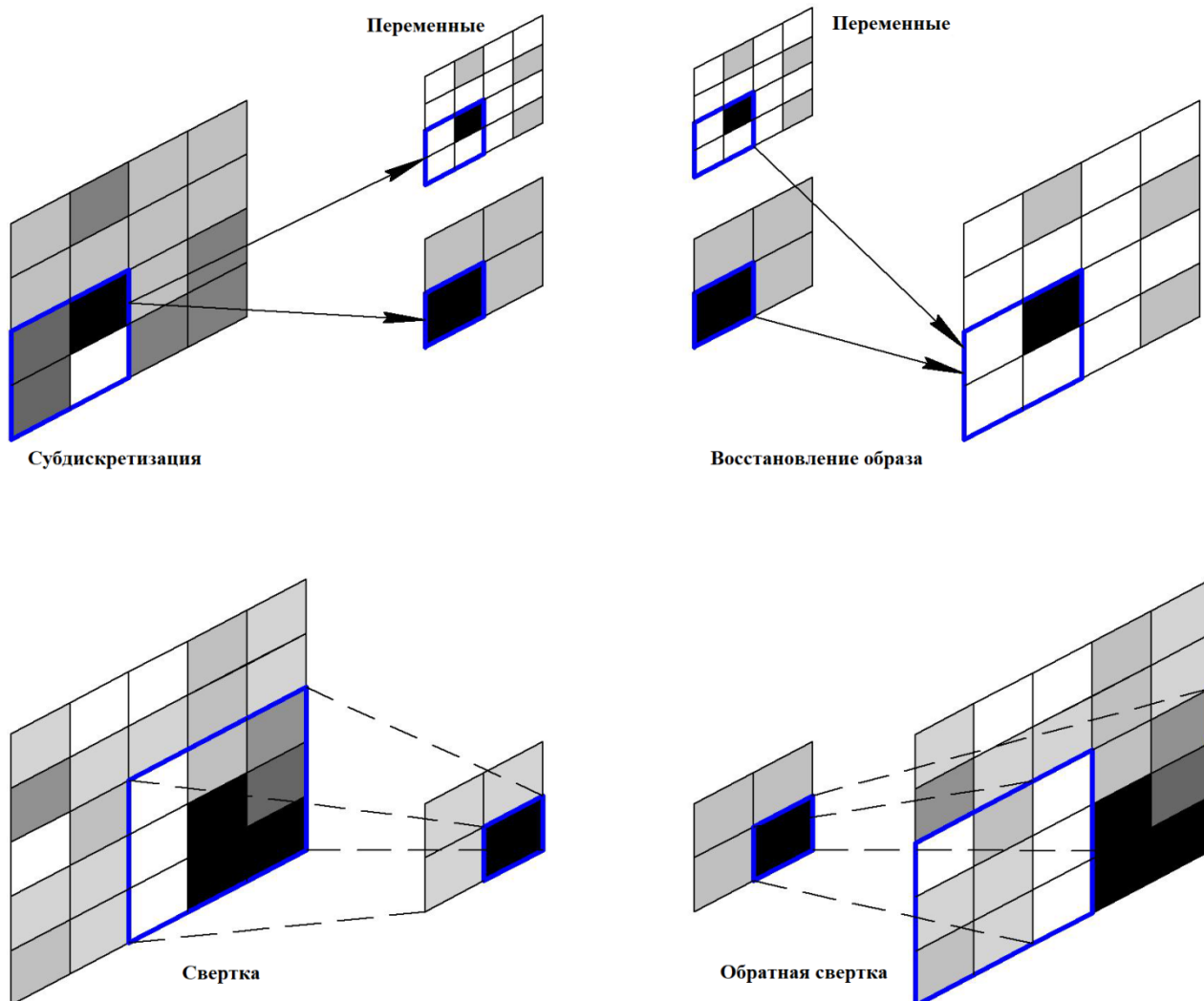


Рис. 3. Иллюстрация основных операций полносверточной нейронной сети

Рассмотренный в статье алгоритм распознавания объектов и сегментирования изображений при помощи полносвязных нейронных сетей может быть использован для поиска объектов, слежения за объектами, сопровождения объектов при их движении, оценки заборной обстановки, анализа подстилающей поверхности.

В рамках НИР было разработано ПО, способное распознавать рукописные цифры с вероятностью более 90%. Процесс обучения нейросети занял примерно 8 часов и составил 144 000 итераций.

На рисунке 4 показан основной интерфейс программы, а на рисунке 5 приведены примеры исходных данных для обучения.

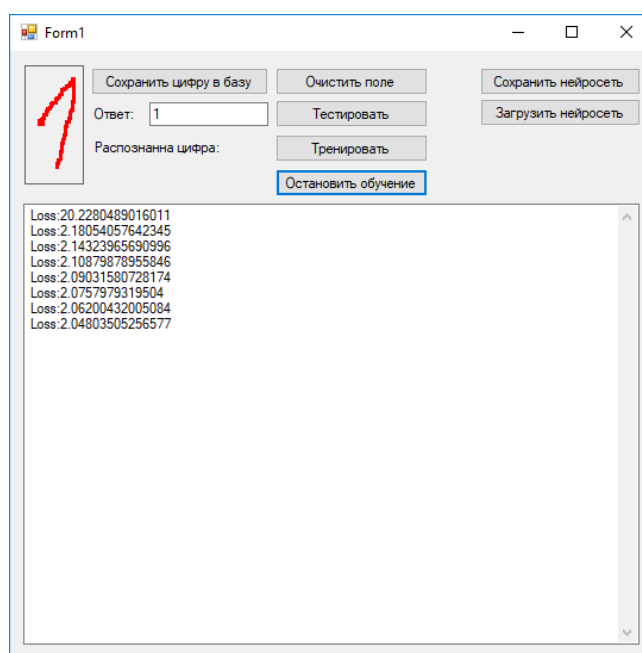


Рис. 4. Интерфейс ПО для распознавания образов на изображении при помощи сверточной нейронной сети



Рис. 5. Пример обучающей выборки

Программа написана на языке C# и поддерживает широкий спектр различных версий операционной системы Windows благодаря технологии .NET.

Разработанное ПО может быть применено в системах распознавания рукописных цифр при оцифровывании анкет, бухгалтерских документов, денежных переводах, почтовых отправлениях и других областях деятельности, требующих распознавания рукописных цифр.

Библиографический список

1. Jonathan Long, Evan Shelhamer, Trevor Darrell Fully Convolutional Networks for Semantic Segmentation // The Computer Vision Foundation. [Электронный ресурс] URL: https://www.cv-foundation.org/openaccess/content_cvpr_2015/app/2B_011.pdf (Дата обращения: 12.02.2019).

2. Qifeng Chen, Jia Xu, Vladlen Koltun Fast Image Processing with Fully-Convolutional Networks // The Computer Vision Foundation. [Электронный ресурс] URL: http://openaccess.thecvf.com/content_ICCV_2017/papers/Chen_Fast_Image_Processing_ICCV_2017_paper.pdf (Дата обращения: 12.02.2019).

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ СЛЕЖЕНИЯ ЗА ОБЪЕКТОМ НА ОСНОВЕ СОПОСТАВЛЕНИЯ С ЭТАЛОНОМ

Д.В. Слюсарь

Рязанский государственный радиотехнический университет

Российская Федерация, Рязань, den.slls@yandex.ru

Аннотация. В работе рассматривается разработка программного обеспечения, которое должно обеспечивать слежение за движущимся автомобилем

Ключевые слова: слежение, сопоставление с эталоном, корреляционные методы, шум, сглаживание, помехоустойчивость.

DEVELOPMENT OF SOFTWARE FOR TRACKING OUT AN OBJECT ON THE BASIS OF COMPARISON WITH THE STANDARD

D.V. Slyusar

Ryazan State Radio Engineering University,

Russia, Ryazan, den.slls@yandex.ru

The summary. The paper deals with the development of software that should provide tracking of a moving car.

Keywords: tracking, comparison with the standard, correlation methods, noise, anti-aliasing, noise immunity.

Введение

Технология слежения за выделенным объектом на видеопоследовательности в настоящий момент представляет большой практический интерес. Связанно это со следующими факторами. Развитие аппаратных средств, а именно рост вычислительной мощности носимой электроники и распространенность систем облачных вычислений, дает возможность для повсеместного использования программных продуктов, основанных на алгоритмах компьютерного зрения, причем не только в сфере научной и инженерной деятельности, но и в бытовой потребительской сфере. Создаются и активно поддерживаются разработчиками различные библиотеки и наборы инструментальных средств, которые облегчают применение этих методов при решении различных актуальных задач.

Возникающее вследствие этих факторов разнообразие практических задач требует не только широкого алгоритмического инструментария, но и комплексных программных продуктов, облегчающих решение этих задач на пользовательском уровне [1].

В статье будет уделено внимание слежению за объектами на основе сопоставления с эталоном.

Алгоритм слежения

Приведем разработанный алгоритм слежения.

1. Считываем кадр из видеопоследовательности.
2. Выделим положение эталона.

Первоначальное обнаружение объекта, за которым в дальнейшем будет осуществляться слежение, может осуществляться как вручную оператором, так и автоматически (с помощью какого-либо алгоритма выделения движущихся участков изображения). В первом случае предполагается наличие оператора, который выбирает объект для сопровождения и наводит на него рамку. Всё, что попало внутрь рамки, впоследствии будет считаться эталонным изображением и использоваться для поиска объекта в следующих кадрах.

3. Считываем очередной кадр.

4. Найдем новое положение объекта и выделим его.

Корреляционные методы чаще всего используются при оценивании параметров преобразования смещения. Пусть известно эталонное изображение $h(i, j), (i, j) \in H$, которое является частью наблюдаемого изображения $l(i, j), (i, j) \in L$. Предположим, что центр эталонного изображения смещен относительно центра изображения $l(i, j)$ на неизвестный вектор (a, b) . Кроме того, допустим, что наблюдаемое изображение искажено белым шумом $\xi(i, j)$. Тогда связь между $h(i, j)$ и $l(i, j)$ можно описать выражением $l(i, j) = h(i - \alpha, j - \beta) + \xi(i, j)$, при $(i - \alpha, j - \beta) \in H$ [2].

Для уменьшения объема требуемых вычислений при необходимости работы в телевизионном масштабе времени, используются критериальные разностные функции вида:

$$F(\alpha, \beta) = \sum_{(i, j) \in H} |l(i + \alpha, j + \beta) - h(i, j)|, \quad F(\alpha, \beta) = \sum_{(i, j) \in H} |l(i + \alpha, j + \beta) - h(i, j)|^2,$$

для которых необходимо отыскивать глобальный минимум. Преимуществом разностных функций является отсутствие операции умножения. В то же время известно, что точностные характеристики разностных функций при малых отношениях сигнал/шум несколько уступает взаимно корреляционным.

5. Произведем межкадровое сглаживание.

Важным обстоятельством, которое может сильно повлиять на эффективность корреляционного алгоритма измерения координат объекта, является возможное изменение яркости, размеров или конфигурации объекта со временем. Даже если ограничиться рассмотрением таких параметров, как смещение, масштаб и угол поворота (не учитывая изменение яркости и конфигурации), то многие известные на сегодняшний день методы оценки таких параметров требуют достаточно больших вычислительных затрат. В условиях ограниченности вычислительных ресурсов приходится искать различные способы адаптации эталона к изменениям, происходящим с объектом. Самый простой из них - покадровая смена эталона. Однако такой способ обновления эталонного изображения приводит к частым потерям объекта из-за быстрого накопления ошибки в оценке координат, вызванной ошибками дискретизации и шумами видеотракта, вносимыми в новый эталон [1].

Методам, основанным на анализе характера изменения функции отличия вблизи точки экстремума или на смене эталона при превышении функцией отличия некоторого порога, эти недостатки присущи в меньшей степени, однако и они не способны эффективно решать задачу отслеживания изменений в объекте с одновременной компенсацией влияния шумов видеотракта и эффектов дискретизации на точность определения координат.

Эффективным методом обновления эталона и компенсации влияния адаптивного шума и эффектов дискретизации на точность определения координат является экспоненциальное сглаживание, определяемое выражением $h_n(i, j) = k_h h_{n-1}(i, j) + (1 - k_h) h_{n-1}^*(i, j), (i, j) \in H$, где $h_n(i, j), (i, j) \in H$ - сглаженное эталонное изображение объекта, используемое для поиска объекта в n -м кадре; k_h - подбираемый эмпирически коэффициент ($0 < k_h < 1$); $h_{n-1}(i, j), (i, j) \in H$ - сглаженное эталонное изображение объекта, используемое для поиска объекта в $(n-1)$ -м кадре; $h_{n-1}^*(i, j), (i, j) \in H$ - выделенное из $(n-1)$ -го кадра изображение объекта [2].

6. Выведем обновленное изображение на экран.

На рисунке 1 показана блок-схема разработанного алгоритма слежения.

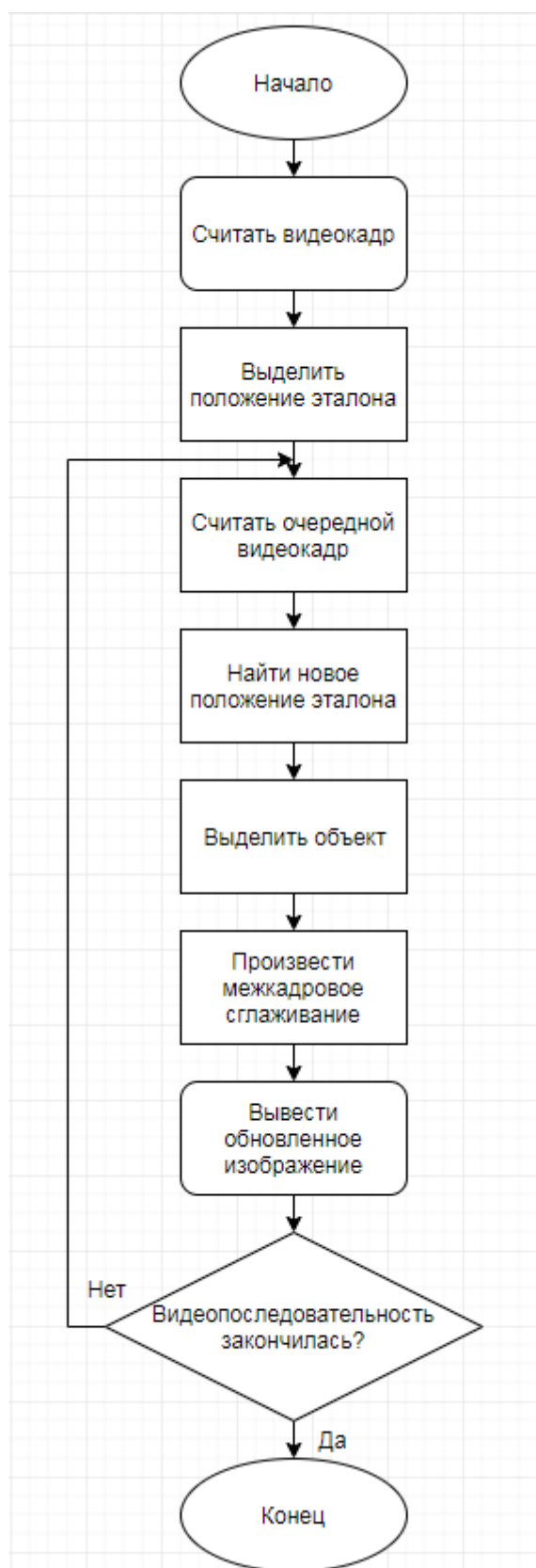


Рис. 1. Блок-схема алгоритма слежения.

Для сокращения вычислительных затрат при реализации корреляционных алгоритмов используются методы, основанные на связи взаимной корреляционной функции и взаимного спектра через преобразование Фурье. Сокращение объема вычислений может достигаться за счет использования алгоритма быстрого преобразования Фурье, однако заметный выигрыш в объеме вычислений проявляется при размерах изображений от 64x64 и выше.

Для помехоустойчивого слежения за объектом необходим корреляционный алгоритм, который будет работать точно и достаточно быстро, не будет использовать сложные модели внешнего вида и методы поиска будут более простыми и эффективными.

Средством для решения задач компьютерного зрения была выбрана библиотека OpenCV (Open Source Computer Vision Library).

OpenCV обладает обширным набором инструментов, подходящим для решения многих задач компьютерного зрения. Модули библиотеки предоставляют следующие возможности:

- реализация базовых структур, математических вычислений, XML- и YAML-сериализации и т.д.;
- обработка изображений ;
- модели машинного обучения;
- распознавание плоских примитивов;
- анализ движения, отслеживание объектов;
- обнаружение объектов;
- обработка стереоизображений.

В рамках НИР было разработано программное обеспечение. Результаты работы программного обеспечения для слежения за объектом с межкадровым сглаживанием показаны на рисунках 2-3.



Рис. 2. Выделение эталона.



Рис. 3. Слежение за объектом во время движения

В статье представлены результаты работы программного обеспечения для помехоустойчивого слежения на основе сглаживания эталона. А в будущем планируется усовершенствовать на основе оценки матрицы искажений наблюдаемого изображения [3].

Библиографический список

1. Алпатов Б.А., Бабаян П.В., Балашов О.Е., Степашкин А.И. Методы автоматического обнаружения и сопровождения объектов. Обработка изображений и управление. – М.: Радиотехника, 2008. – 176 с.: ил.
2. Слюсарь Д.В. Алгоритм помехоустойчивого слежения за объектом на основе сопоставления с эталоном // Новые информационные технологии в научных исследованиях: материалы XIII Всеросс. науч.-техн. конф. – Рязань: РГРТУ, 2018. – Том 2. – С. 36-38.
3. David S. Bolme, J. Ross Beveridge, Bruce A. Draper, Yui Man Lui. Visual Object Tracking using Adaptive Correlation Filters. Computer Science Department, Colorado State University Fort Collins, CO 80521, USA.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ РЕГУЛЯТОРА МЕТОДОМ ДИНАМИЧЕСКОГО ОБРАТНОГО ШАГА ДЛЯ ОБЪЕКТА ИЗ ДВУХ СПАРЕННЫХ РЕЗЕРВУАРОВ

А.И. Бобиков, А.А. Барина

*Рязанский государственный радиотехнический университет,
Российская Федерация, Рязань, bobikov.35@mail.ru, alice515053@yandex.ru*

Аннотация. В статье рассмотрено использование метода динамического обратного шага для нелинейной системы с чистой формой обратной связи в виде двух спаренных резервуаров. Приведены полученные законы управления и результаты моделирования.

Ключевые слова: спаренные резервуары, динамический метод обратного шага, нелинейные системы, чистая форма обратной связи.

DESIGNING THE REGULATOR BY A DYNAMIC BACKSTEPPING METHOD FOR OBJECT FROM TWO COUPLED TANKS

A.I.Bobikov, A.A.Barinova

Ryazan State Radio Engineering University,

Russia, Ryazan, bobikov.35@mail.ru, alice515053@yandex.ru

The summary. The paper discusses the use of the dynamic backstepping method for nonlinear systems with pure-feedback in the form of two coupled tanks. Given the obtained control laws and simulation results.

Keywords: coupled tank, dynamic backstepping, nonlinear system, pure-feedback.

Введение

Классический метод обратного шага (МОШ) [1,2], называемый также как бэкстеппинг, является одним из эффективных инструментов проектирования регуляторов для большого класса нелинейных систем. Регуляторы, проектируемые при помощи классического МОШ, достаточно эффективны, но использование классического бэкстеппинга ограничено системами, описываемыми моделями со строгой формой обратной связи. В последнее время был предложен динамический метод обратного шага (ДМОШ) [3], который применим для систем с чистой формой обратной связи. К таким системам относится объект из двух спаренных резервуаров, в котором требуется поддерживать заданный уровень жидкости. До появления метода ДМОШ в рамках классического метода МОШ было затруднительно решить задачу регулирования применительно ко второму резервуару.

В данной статье при помощи ДМОШ спроектирован регулятор, управляющий объектом из двух спаренных резервуаров и позволяющий стабилизировать уровень жидкости во втором резервуаре.

Теоретические сведения о динамическом методе обратного шага

Метод МОШ предполагает разбиение задачи проектирования всей системы управления на последовательность задач для ряда подсистем более низкого порядка. При этом происходит рекурсивное использование состояний подсистем в качестве виртуальных управлений, чтобы найти промежуточные законы управления с помощью функций управления Ляпунова. Проектирование начинается с поиска регулятора для подсистемы низкого порядка, самой удаленной от входного сигнала, и затем постепенно закон управления расширяется за счет учета динамики подсистемы низкого порядка, предшествовавшей исходной системе низкого порядка. Подобная стратегия упрощает процедуру проектирования регулятора для всей системы.

Идея ДМОШ заключается в расширении виртуальных (воображаемых) управлений на каждом рекурсивном шаге. В закон управления включаются новые динамики, из-за чего результирующий регулятор использует динамическую форму обратной связи. Процедура получения закона управления более детализирована, и по сравнению с классическим МОШ используется еще одна функция управления Ляпунова.

Пусть модель каскадного объекта второго порядка представлена в форме чистой обратной связи:

$$\dot{x}_1 = f_1(x_1, x_2), \quad (1)$$

$$\dot{x}_2 = f_2(x_1, x_2, u), \quad (2)$$

где $x_1, x_2 \in R$ – состояния, $u \in R$ – управление,
 f_1, f_2 – гладкие нелинейные функции.

Цель управления заключается в том, чтобы найти обратную связь по состоянию, стабилизирующую нулевое состояние равновесия ($x_1 = 0, x_2 = 0$). Уравнения (1) и (2) описывают каскадное соединение двух подсистем.

На первом шаге предполагаем, что мы можем стабилизировать первую подсистему, описываемую уравнением (1), с помощью воображаемого управления как решения $x_2 = x_a(x_1)$ неявного алгебраического уравнения:

$$f_1(x_1, x_a) = -K_1 x_1, \quad (3)$$

при квадратичной форме функции управления Ляпунова (ФЛУ) $V_{11} = 0.5x_1^2$ и коэффициенте $K_1 > 0$. Так как в отличие от классического метода обратного шага нельзя найти управление x_a в аналитическом виде, мы обойдем эту проблему, рассматривая динамику виртуального управления x_a , в надежде, что x_a будет асимптотически удовлетворять неявному алгебраическому уравнению, т.е. ошибка

$$e_1(x_1, x_a) = f_1(x_1, x_a) + K_1 x_1, \quad (4)$$

где $k_2(x_1, x_2, x_a)$ имеет вид (6):

$$k_2(x_1, x_2, x_a) = \Gamma(x_1, x_2, x_a) - \left(\frac{\partial f_1(x_1, x_2)}{\partial x_2} \right)^{-1} \left(x_1 + \left(\frac{\partial e_1}{\partial x_1} \right)^T e_1 + \left(\frac{\partial f_1(x_1, x_2)}{\partial x_1} - \frac{\partial f_1(x_1, x_a)}{\partial x_1} \right) f_1(x_1, x_2) - \frac{\partial f_1(x_1, x_a)}{\partial x_a} \dot{x}_a \right). \quad (6)$$

$V_{12} = V_{11} + 0.5e_1^2$, включающей квадрат этой ошибки.

На втором шаге рассматриваем совместно уравнения (1-2) и конструируем ФЛУ $V_{21} = V_{12} + 0.5[f_1(x_1, x_2) - f_1(x_1, x_a)]^2$, позволяющую переменной состояния второй подсистемы x_2 отслеживать x_a . Тем самым, фактически обеспечить сходимость $f_1(x_1, x_2)$ к $f_2(x_1, x_a)$ при $t \rightarrow \infty$. Тогда приходим к необходимости решения относительно управления (входа объекта) u неявного алгебраического уравнения

$$f_2(x_1, x_2, u) = k_2(x_1, x_2, x_a), \quad (5)$$

где $k_2(x_1, x_2, x_a)$ имеет вид (6):

Здесь

$$\Gamma(x_1, x_2, x_a) = -K_2 \left(\frac{\partial f_1(x_1, x_2)}{\partial x_2} \right) [f_1(x_1, x_2) - f_1(x_1, x_a)], K_2 > 0. \quad (7)$$

Как и в первом шаге, мы не можем найти решение u уравнения (5) в аналитическом виде. Аналогично мы преодолеем эту трудность, вводя вторую ошибку:

$$e_2(x_1, x_2, u, x_a) = f_2(x_1, x_2, u) - k_2(x_1, x_2, x_a) \quad (8)$$

и находя динамику управления u , при котором такая ошибка будет стремиться к 0 при $t \rightarrow \infty$. Подобный подход требует применения ФЛУ $V_{22} = V_{21} + 0.5e_2^2$, содержащей в качестве слагаемого квадрат второй ошибки.

Решение неявных алгебраических управлений (4) и (8) с помощью ФЛУ, позволяет найти выражения для первых производных по времени для каждого из искомым управлений:

$$\dot{x}_a = -K_{v1}e_1 - \left(\frac{\partial e_1}{\partial x_a}\right)^{-1} \left(\frac{\partial e_1}{\partial x_1} f_1(x_1, x_a) + x_1\right), \quad (9)$$

$$\dot{u} = -K_{v2}e_2 - \left(\frac{\partial e_2}{\partial u}\right)^{-1} \left(\begin{aligned} &\frac{\partial e_2}{\partial x_1} f_1(x_1, x_2) + \frac{\partial e_2}{\partial x_2} f_2(x_1, x_2, u) + \\ &+ \frac{\partial e_2}{\partial x_a} \dot{x}_{2a} + \left(\frac{\partial f_1(x_1, x_2)}{\partial x_2}\right)^T (f_1(x_1, x_2) - f_1(x_1, x_a)) \end{aligned} \right) \quad (10)$$

Интегрируя эти выражения, получаем виртуальное управление:

$$x_a = \int_0^t \dot{x}_a dt, x_a|_{t=0} = x_{a0}, \quad (11)$$

и закон управления с обратной связью по состоянию для замкнутой системы

$$u = \int_0^t \dot{u} dt, u|_{t=0} = u_0, \quad (12)$$

где коэффициенты $K_{v1} > 0$ и $K_{v2} > 0$, также как упомянутые выше коэффициенты $K_1 > 0$ и $K_2 > 0$ являются параметрами проектирования.

Если уравнение состояния второй подсистемы представлено в аффинной форме

$$\dot{x}_2 = f_2(x_1, x_2) + g_2(x_1, x_2)u \quad (13)$$

то уравнение (12) упрощается и принимают вид:

$$u = g_2^{-1}[-f_2(x_1, x_2) + k_2(x_1, x_2, x_a)], \quad (14)$$

где $k_2(x_1, x_2, x_a)$ то же самое, что и в (6).

Описание объекта из двух спаренных баков

На рисунке 1 представлено схематическое изображение исследуемого объекта – два резервуара, соединенных при помощи трубы, где S_1 и S_2 – площади поперечного сечения каждого из резервуаров.

Вода течет в первый резервуар через насос со скоростью u , что влияет на уровень воды в первом баке h_1 . Из первого резервуара вода вытекает во второй со скоростью q_1 , воздействуя на уровни воды h_1 и h_2 , из резервуара 2 вода вытекает со скоростью q_2 .

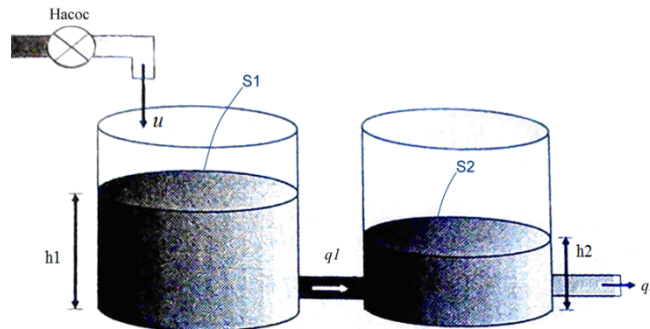


Рис. 1. Система из двух спаренных баков

Уравнения состояния для резервуаров получены с использованием уравнения Бернулли и уравнения баланса потоков. Дифференциальные уравнения для первого и второго резервуара имеют вид (13) и (14) соответственно:

$$\dot{h}_1 = \frac{1}{S_1}(u - q_1), \quad (15)$$

$$\dot{h}_2 = \frac{1}{S_2}(q_1 - q_2), \quad (16)$$

где q_1 и q_2 определены в [4] как:

$$q_1 = s_1 \sqrt{2g(h_1 - h_2)}, \text{ если } h_1 > h_2, \quad (17)$$

$$q_2 = s_2 \sqrt{2gh_2}, \text{ если } h_2 > 0. \quad (18)$$

В (15) и (16) s_1 и s_2 — площади поперечного сечения соединительной и выходной трубы соответственно. Подставляя (15) и (16) в дифференциальные уравнения, описывающие объект и полагая, что $S_1 = S_2 = S$, получаем:

$$\dot{h}_1 = \frac{1}{S}u - \frac{1}{S}c_1 \sqrt{|h_1 - h_2|} \text{sign}(h_1 - h_2), \quad (19)$$

$$\dot{h}_2 = \frac{1}{S}c_1 \sqrt{|h_1 - h_2|} \text{sign}(h_1 - h_2) - \frac{1}{S}c_2 \sqrt{h_2}, \quad (20)$$

где введены пропорциональные константы между первым и вторым резервуаром $c_1 = s_1 \sqrt{2g}$ и $c_2 = s_2 \sqrt{2g}$, которые зависят от площади поперечного сечения соединительных труб и гравитационной постоянной.

Задача управления заключается в поддержании заданного уровня жидкости во 2 баке.

ДМОШ для объекта из двух спаренных резервуаров

Для объекта из двух спаренных резервуаров с использованием формул (1–2) и (15–16) имеем:

$$f_1(h_1, h_2) = \frac{1}{S}c_1 \sqrt{|h_1 - h_2|} \text{sign}(h_1 - h_2) - \frac{1}{S}c_2 \sqrt{h_2},$$

$$f_2(h_1, h_2, u) = \frac{1}{S}u - \frac{1}{S}c_1 \sqrt{|h_1 - h_2|} \text{sign}(h_1 - h_2).$$

Согласно (4) неявное алгебраическое управление для ошибки принимает вид:

$$e_1(h_1, h_a) = \frac{1}{S} c_1 \sqrt{|h_1 - h_a|} \operatorname{sign}(h_1 - h_a) - \frac{1}{S} c_2 \sqrt{h_a} + K_1 h_1.$$

В соответствии с (9) имеем следующий вид виртуального управления $\dot{h}_a$:

$$\dot{h}_a = - \frac{K_{v1} c_1 (c_1 \sqrt{h_a - h_1} - c_2 \sqrt{h_1} + S K_1 h_1)}{2 S^2 \sqrt{h_a - h_1}}.$$

Так как второе уравнение состояния представлено в аффинной форме (13) и для данного случая имеем: $f_2(x_1, x_2) = \frac{1}{S} c_1 \sqrt{|h_1 - h_2|} \operatorname{sign}(h_1 - h_2)$ и $g_2(x_1, x_2) = 1$, то для поиска результирующего закона управления воспользуемся упрощенной формулой (14):

$$u = K_2 (h_a - h_2) + \frac{c_1 \sqrt{h_2 - h_1}}{S} - \frac{K_{v1} c_1 (c_1 \sqrt{h_a - h_1} - c_2 \sqrt{h_1} + S K_1 h_1)}{2 S^2 \sqrt{h_a - h_1}}.$$

Результаты моделирования

Положим все параметры проектирования K_1, K_2, K_{v1}, K_{v2} равными 1 и проведем моделирование созданной системы. На рисунке 3 представлены графики состояний, а на рисунке 4 – графики управлений при различных начальных условиях.

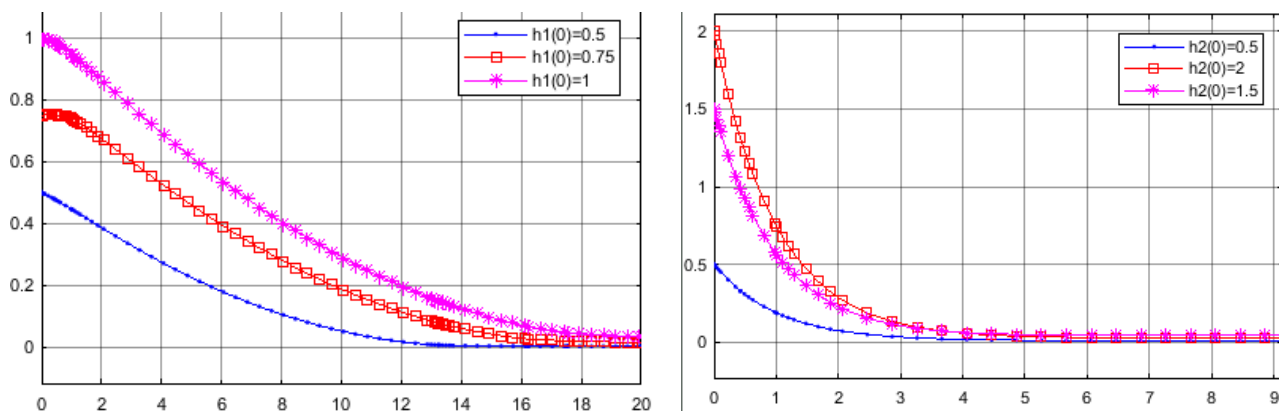


Рис. 2. Графики переменных состояния $h_1(t)$ и $h_2(t)$ при различных начальных условиях

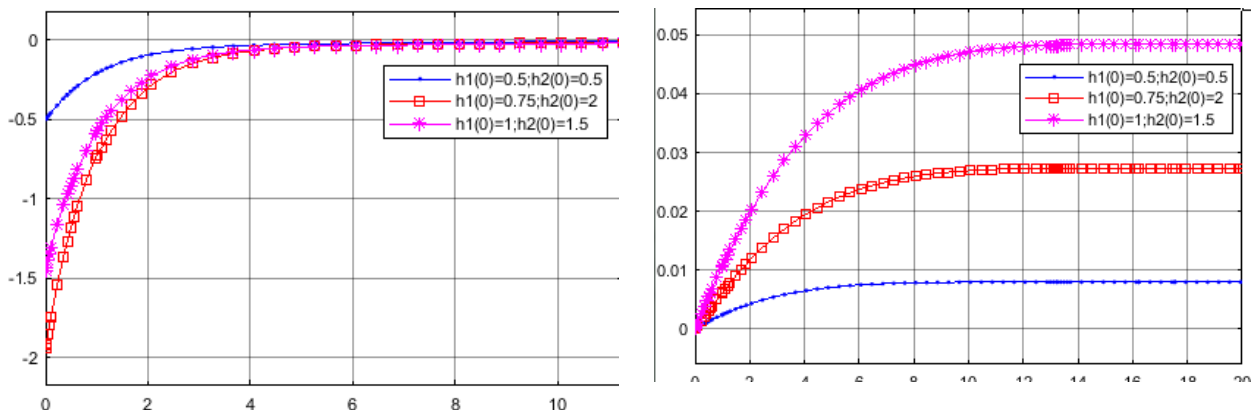


Рис. 3. Графики зависимости управления $u(t)$ (слева) и $h_a(t)$ (справа) при различных начальных условиях

Спроектированный закон управления позволяет стабилизировать объект из двух спаренных резервуаров за короткое время, при малом значении величины управляющего сигнала.

Заключение

В статье рассмотрено использование метода динамического обратного шага для системы из двух спаренных резервуаров. Разработанный закон управления позволяет стабилизировать замкнутую систему управления при различных начальных условиях. Моделирование проведено с использованием системы MATLAB.

Библиографический список

1. Krstic M, Kanellakopoulos I, and Kokotovic P. Nonlinear and adaptive control design. New York: Wiley, 1995.
2. Бобиков А.И. Анализ и проектирование нелинейных систем управления. Рязан. гос. радиотех. ун-т. Рязань, 2013.
3. Zhang, Sheng & Qian, Wei-qi. Dynamic backstepping control for pure-feedback nonlinear systems. 2017.
4. Fayiz Abu Khadra and Jaber Abu Qudeiri, "Second Order Sliding Mode Control of the Coupled Tanks System", Hindawi publishing Corporation Mathematical Problems in Engineering Volume 2015.

УДК 004.932; ГРНТИ 89.57.35

ИССЛЕДОВАНИЕ КОРРЕЛЯЦИОННО-ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ АЛГОРИТМОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ ОБЪЕКТА В ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

А.А. Селяев, А.А. Федичкин

Рязанский государственный радиотехнический университет,

Российская Федерация, Рязань, alexey.fedichkin@yandex.ru

Аннотация. Данная работа посвящена исследованию различных способов модификации корреляционно-экстремального метода определения координат объекта в последовательности изображений, для случая, когда объект движется по сложному неоднородному фону.

Ключевые слова: Корреляционно-экстремальные алгоритмы, слежение за объектом, исследование алгоритмов.

INVESTIGATION OF CORRELATION-EXTREME ALGORITHMS FOR DETERMINING THE COORDINATES OF AN OBJECT IN A SEQUENCE OF IMAGES

A.A. Selyaev, A.A. Fedichkin

Ryazan State Radio Engineering University,
Russia, Ryazan, alexey.fedichkin@yandex.ru

The summary: This report is devoted to the study of various methods for modifying the extremal correlation method for determining the coordinates of an object in a sequence of images, in the case when an object moves along a complex non-uniform background.

Keywords: correlation-extremal algorithm, object watching, algorithm research.

Введение

Одной из важных и в тоже время сложных задач, решаемых в современных системах технического зрения, является задача сопровождения движущегося объекта в последовательности изображений. Правильность ее решения во многом определяется точностью работы алгоритма определения координат объекта на изображении. Выбор конкретного алгоритма ограничен необходимостью учета следующих основных особенностей указанной задачи:

1) наличие на изображениях сложного, неоднородного фона сильно затрудняет обнаружение и оценку параметров объекта, особенно при слабых контрастах и малых отношениях сигнал-шум;

2) малый объем или полное отсутствие априорных сведений об объекте (из-за огромного разнообразия всевозможных объектов) сильно затрудняет разработку алгоритма отделения потенциального объекта от фона;

3) жесткие ограничения на время обработки текущего кадра.

Выбранный алгоритм должен быть с одной стороны достаточно совершенным, чтобы учесть, как можно больше возможных ситуаций, с другой стороны достаточно простым, чтобы допускать возможность его реализации в реальном масштабе времени.

В качестве основных факторов, влияющих на работоспособность алгоритма определения координат объекта в последовательности изображений, можно выделить:

характеристику яркости изображения объекта;

характеристику яркости изображения фона;

соотношение яркостей изображения объекта и окружающего его фона;

степень изменчивости изображения объекта в процессе слежения.

Корреляционно-экстремальные алгоритмы определения координат объекта в последовательности изображений

На практике широкое распространение получили корреляционно-экстремальные методы [1].

Сущность корреляционно-экстремальных методов заключается в вычислении выбранной функции соответствия эталонного и текущего изображений. Функции соответствия изображений принято разделять на функции сходства и функции различия.

Наибольшее распространение в качестве функции сходства получила нормированная взаимная корреляционная функция (1)

$$F_1(\gamma, \mu) = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M \left| g \left[i + \gamma - \frac{M}{2}, j + \mu - \frac{M}{2} \right] \cdot h[i, j] \right|}{\sqrt{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M g^2 \left[i + \gamma - \frac{M}{2}, j + \mu - \frac{M}{2} \right]} \sqrt{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M h^2[i, j]}} \quad (1)$$

где $g\left[i + \gamma - \frac{M}{2}, j + \mu - \frac{M}{2}\right]$ – элементы текущего изображения (ТИ) объекта размерностью $N \times N$ точек;

$h[i, j]$ – элементы эталонного изображения размером $M \times M$ точек;

$$\gamma, \mu = \frac{M}{2}, N - \frac{M}{2}; N > M.$$

Значения γ и μ , при которых достигается максимум выбранной функции сходства (1), принимаются за координаты объекта на изображении.

Среди функций различия изображений чаще всего используют функции (2) и (3)

$$F_3(\gamma, \mu) = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M \left| g\left[i + \gamma - \frac{M}{2}, j + \mu - \frac{M}{2}\right] - h[i, j] \right| \quad (2)$$

$$F_4(\gamma, \mu) = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M \left(g\left[i + \gamma - \frac{M}{2}, j + \mu - \frac{M}{2}\right] - h[i, j] \right)^2 \quad (3)$$

Если изображение объекта меняется полностью, то дальнейшее использование старого эталона становится невозможным и необходимо или заново его сформировать, как это делалось на этапе захвата объекта, или перейти к другим алгоритмам определения координат объекта, работающим на других принципах. Но, если изображение объекта меняется лишь частично, то можно использовать модифицированные корреляционно-экстремальные алгоритмы, в которых происходит сравнение только той части эталонного изображения объекта, которая не слишком сильно отличается от соответствующих участков текущего изображения объекта. В этом случае вместо разностной функции (2) можно использовать модифицированную критериальную функцию [2]

$$F_3^*(\gamma, \mu) = \frac{\sum_{i^* \in H_M} \sum_{j^* \in H_M} \left| g\left[i^* + \gamma - \frac{M}{2}, j^* + \mu - \frac{M}{2}\right] - h[i^*, j^*] \right|}{N_R}. \quad (4)$$

где H_M – область точек эталонного изображения, для которых удовлетворяется ограничение (5), N_R – число точек этой области

$$\left| g\left[i + \gamma - \frac{M}{2}, j + \mu - \frac{M}{2}\right] - h[i, j] \right| \leq R. \quad (5)$$

Исследование работы корреляционно-экстремальных алгоритмов

Вначале было проведено исследование характеристик различных критериальных функций для определения координат объекта на изображении. Исследовалась функция схождения (1) и две функции отличия (2) и (3). Выбиралось реальное изображение городского пейзажа, которое служило фоном. Затем на него накладывалось изображение прямоугольника, выступающего в качестве искомого объекта. Местоположение, яркость и размеры объекта задавались в начале программы. Затем некоторое количество кадров повторялись следующие операции:

Из нового файла формировалось очередное изображение фона. В него вставлялось изображение объекта, местоположение которого определялось случайным образом.

Задавалось местоположение зоны поиска, которое затем зашумлялось случайным нормальным шумом.

С помощью трехкритериальных функций происходило определение координат объекта в зоне поиска.

Вычислялись ошибки местоположения объекта относительно центра зоны поиска, которые записывались в соответствующие массивы.

Определялись максимальные значения этих ошибок для каждой критериальной функции и дисперсии этих ошибок.



Моделирование проводилось для двух типов фонов и двух яркостей объекта. Каждый эксперимент повторялся для различных дисперсий случайного нормального шума, искажающих изображение с целью оценки помехоустойчивости каждой из трех критериальных функций.

Во всех случаях хорошие результаты показали разностные функции. Нормированная корреляционная функция работала не менее хорошо, но она слишком сложна в вычислительном отношении.

В дальнейших исследованиях использовалась только критериальная разностная функция (2).

Было проведено исследование помехоустойчивости корреляционно-экстремального алгоритма (2) по отношению к аддитивным гауссовским шумам, искажающим изображение. Отмечено, что алгоритм остается работоспособным вплоть до уровня шумов, соответствующих отношению сигнал/шум = 10. Вместе с тем отмечено, что эта помехоустойчивость зависит от размеров объекта в эталоне. Чем меньшую часть эталона занимают точки объекта, тем меньше точность определения координат объекта.

Важным вопросом при использовании корреляционно-экстремального алгоритма является обновление эталонного изображения объекта. Для этого использовался алгоритм межкадрового сглаживания (6).

$$h_n[i, j] = \beta \cdot h_{n-1}[i, j] + (1 - \beta) \cdot g_n[i + \gamma^*, j + \mu^*] \quad (6)$$

Обычно при медленном изменении изображения объекта коэффициент сглаживания β выбирается в районе 0,8 – 0,9. В случаях существенных изменений изображения объекта возможно адаптивное изменение величины коэффициента β в ходе слежения за объектом. Было проведено моделирование, в котором от кадра к кадру изменялась яркость объекта. Если в алгоритме обновления эталона (6) выбрать какое-то фиксированное значение коэффициента β , то происходила потеря объекта. Был рассмотрен алгоритм, когда разностная функция (2) вычислялась параллельно для нескольких эталонов, отфильтрованных с разными значениями коэффициента β , и в качестве итогового результата выбиралось наименьшее из полученных значений этих функций [3]. Таким образом, происходило автоматическое переключение на эталон, наиболее близкий текущему изображению объекта.

При слежении за движущимся объектом возможно его частичное заслонение деревьями или другими объектами. Как показало моделирование, решить эту проблему с помощью алгоритмов обновления эталона не удастся. В подобных ситуациях лучшие результаты дал модифицированный разностный алгоритм (4). Было проведено исследование влияния степени заслонения объекта на работоспособность алгоритма. Предельной степенью заслонения объекта было примерно 40-60% его площади.

Было проведено исследование алгоритма на реальных видеосюжетах движущихся автомобилей. В большинстве случаев алгоритм устойчиво определял координаты искомого объекта.

Выводы

Корреляционно-экстремальные алгоритмы обеспечивают высокую точность определения координат объекта на изображении и позволяют устойчиво работать при отношениях сигнал/шум > 10 .

В качестве критериальной функции целесообразно использовать разностные критериальные функции, устойчиво работающие при любых соотношениях яркости объекта и фона и более простых в вычислительном отношении.

Для надежной работы корреляционно-экстремальных алгоритмов необходимо иметь качественное эталонное изображение объекта и своевременно его обновлять.

Для повышения быстродействия работы корреляционно-экстремальных алгоритмов среди всех возможных параметров искажений изображения объекта в каждом кадре следует оценивать только параметры сдвига. Остальные искажения изображения объекта: поворот, масштаб, проективные искажения и др., чаще всего от кадра к кадру меняются незначительно и не слишком сильно влияют на точность оценки местоположения объекта. Поэтому их изменение целесообразно оперативно отражать в новом эталонном изображении объекта.

В случае кратковременных частичных заслонений объекта фоном или значительных быстрых искажений части изображения объекта следует использовать модифицированный корреляционно-экстремальный алгоритм, в котором при принятии решения о местоположении объекта учитываются только те точки объекта и эталона, которые не слишком сильно отличаются друг от друга.

Библиографический список

1. Методы автоматического обнаружения и сопровождения объектов. Обработка изображений и управление / Б.А. Алпатов, П.В. Бабаян, О.Е. Балашов, А.Е. Степашкин. – М.: Радиотехника, 2008. – 176с.
2. Ларионов С.М., Селяев А.А. Определение положения объекта в сложных условиях наблюдения на основе метода сопоставления с эталоном // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. Рязань, 2017. – №1(59) – С. 99-105.
3. Алпатов Б.А., Селяев А.А. Методы адаптации эталонного изображения объекта в корреляционных следящих устройствах // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2004. № 14. С. 37-40.

УДК 004.932; ГРНТИ 28.23.15

КОМПЕНСАЦИЯ СИСТЕМАТИЧЕСКИХ ОШИБОК ВРЕМЯПРОЛЕТНЫХ КАМЕР

И.Е. Евтеев, П.В. Бабаян*Рязанский государственный радиотехнический университет,**Российская Федерация, Рязань, ilyaevteev38@gmail.com*

Аннотация. В работе рассматриваются способы компенсации систематических ошибок определения дальности и яркости, возникающие при использовании времяпролетных камер.

Ключевые слова: времяпролетная (ToF) камера, карта дальности, адаптивный фильтр (ANF), алгоритм с нарастанием областей.

COMPENSATION OF SYSTEMATIC ERRORS OF TOF CAMERAS

I.E. Evteev, P.V. Babayan*Ryazan State Radio Engineering University,**Russia, Ryazan, ilyaevteev38@gmail.com*

The summary. The paper discusses the methods of compensation of systematic errors in determining the range and brightness arising from the use of time-of-flight cameras.

Keywords: time-of-flight (ToF) camera, Z-depth, adaptive-neighborhood filters (ANF), region-growing algorithm.

Времяпролетные камеры – это новый тип устройств для одновременного получения монохромного изображения и карты дальности [1]. Такие камеры используют собственный источник освещения, который излучает инфракрасный моделированный свет. На основании отраженной световой волны формируется два изображения: карта дальности $D(i, j)$, которая вычисляется на основе фазового сдвига между излучённым и отраженным сигналами, и яркостное монохромное изображение $A(i, j)$, оцениваемое по амплитуде отраженного сигнала.

Времяпролетные камеры получают широкое применение в таких областях как медицина, промышленности, компьютерное зрение, видеонаблюдение и т.д. Однако, при использовании времяпролетных камер необходимо учитывать их особенности. Определение карты дальности и яркостного изображения происходит не точно, присутствуют большие систематические ошибки, которые необходимо корректировать.

Ошибки в яркостном изображении проистекают из физики распространения сигнала, мощность волны уменьшается пропорционально квадрату пройденного волной расстояния. Из-за этого яркость A будет сильно уменьшаться с увеличением расстояния от камеры. Так как времяпролетные камеры помимо яркости позволяют оценить еще и дальность до каждого пикселя сцены, можно было бы реализовать точную коррекцию яркостного изображения, увеличивая яркость пикселей на дальних участках сцены, т.е.

$$A'(i, j) = A(i, j)D^2(i, j), \quad (1)$$

где A' - скорректированное яркостное изображение.

Однако коррекция (1) не может применяться из-за шумов, присутствующих в карте дальности, особенно это проявляется на дальних участках сцены. Таким образом, необходима дополнительная обработка карты дальности. Одним из способов удаления шумов является пространственная фильтрация. Среди множества нелинейных фильтров, было решено использовать адаптивный фильтр [2], основным принципом которого является поиск для каждого пикселя изображения переменной окрестности, которая содержит только пиксели одного объекта. Определение окрестности выполняется в два этапа. Сначала применяется алгоритм с наращиванием областей [3] с порогом, равным среднему значению шума для конкретного сенсора. На втором этапе пиксели, значения которых отличаются от рассчитываемого меньше, чем на два средних значения яркости шума также добавляются в искомую об-

ласть. После этого значение фильтруемого пикселя рассчитывается усреднением яркости пикселей найденной адаптивной окрестности. Таким образом, итоговое яркостное изображение может быть рассчитано по следующей формуле:

$$A'(i, j) = A(i, j)D_{\text{АФ}}^2(i, j), \quad (2)$$

где $D_{\text{АФ}}$ – карта дальности после применения адаптивного фильтра.

Как уже отмечалось выше, карта дальности, получаемая с помощью времяпролетной камеры, не всегда точна. Тестирование показало, что ошибка измерения дальности увеличивается с расстоянием, особенно это характерно для темных объектов. Пиксели с одинаковой яркостью, расположенные на одном расстоянии, имеют одинаковые ошибки, поэтому данные неточности можно скомпенсировать. На рис. 1 представлен график зависимости ошибки измерения дальности от истинного значения дальности до темного объекта.

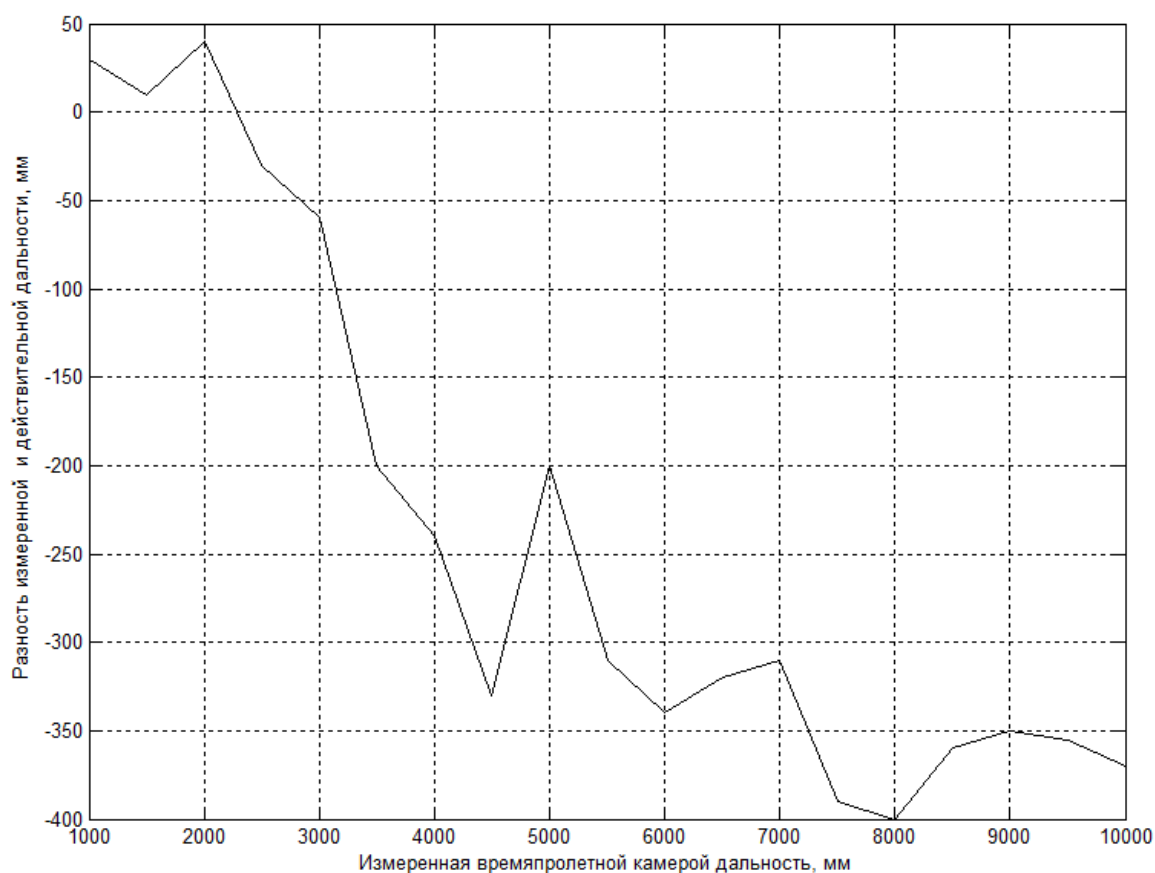


Рис. 1. График зависимости ошибки измерения дальности до темного объекта от измеренного расстояния

Для корректировки дальности до темных пикселей с использованием кривой на Рис. 1 необходимо определить, какие пиксели считать темными. Эта процедура должна учитывать яркость пикселей, которая зависит от расстояния. Поэтому пороговое значение, используемое для выделения, темных пикселей должно учитывать дальность до этих пикселей. На Рис. 2 представлена экспериментально определенная функция, позволяющая определить темные пиксели, на основе расстояния, на котором эти пиксели расположены.

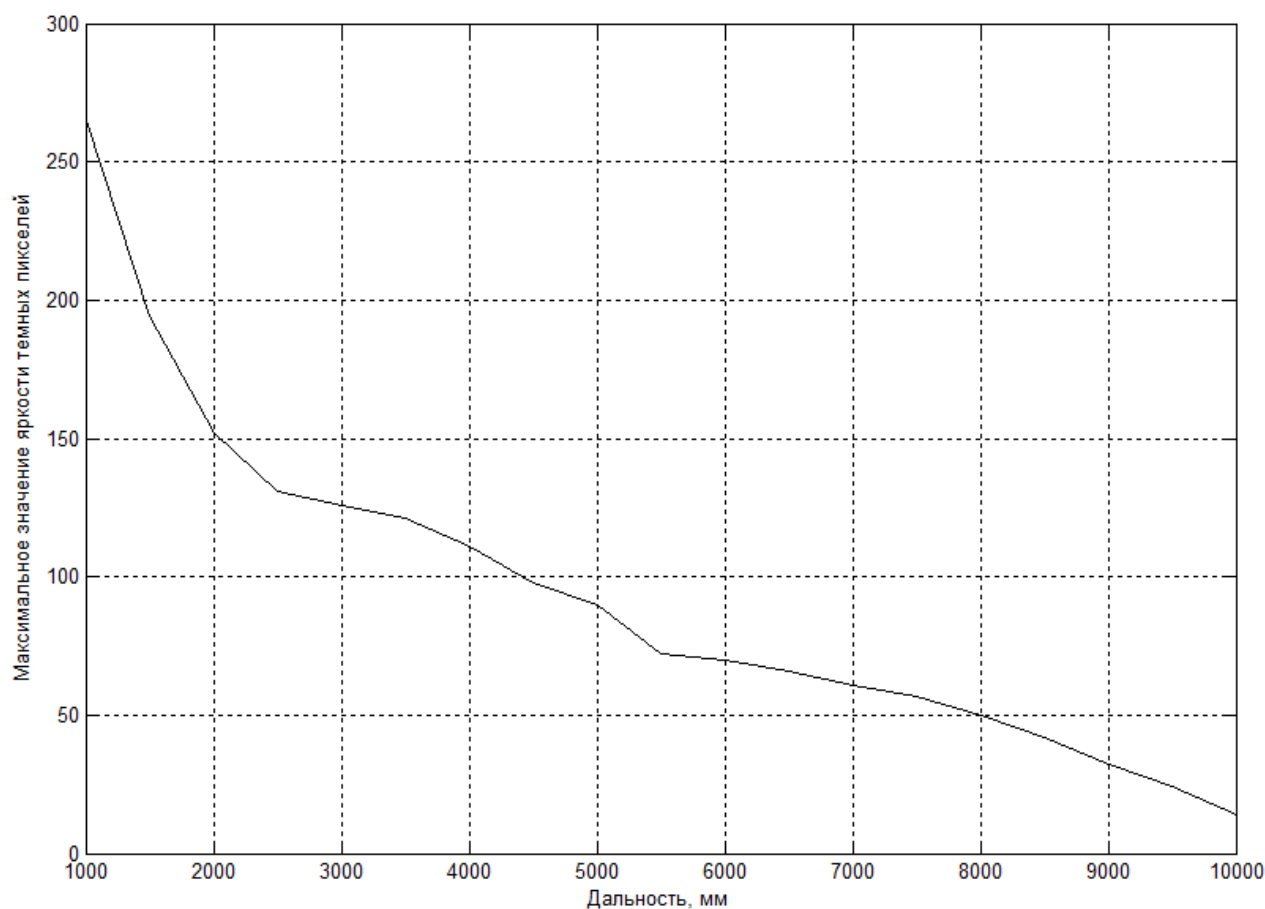


Рис. 2. График зависимости порогов, используемых для выделения темных пикселей от измеренной дальности

Исходя из вышеперечисленных наблюдений, процедура компенсации ошибок карты дальности состоит из следующих этапов:

- 1) Исключается из рассмотрения все пиксели, расстояние до которых меньше 3 метров. Считаем, что дальность до этих пикселей достоверна.
- 2) Из всех пикселей, оставшихся после шага 1, выбираются только те, что считаются темными, то есть $A(i, j) \leq f(D(i, j))$, где $f(\cdot)$ это функция, которая изображена на рис. 2.
- 3) Для отобранных темных пикселей применяется корректировка дальности:

$$D'(i, j) = D(i, j) + E(D(i, j)),$$

где $E(\cdot)$ – функция компенсации ошибки, представленная на рис. 1.

Библиографический список

1. R. Lange: 3D Time-of-flight distance measurement with custom solid-state image sensors in CMOS/CCD-technology. PhD thesis, University of Siegen, 2000
2. M. Ciuc, P. Bolon, E. Trouvé, V. Buzuloiu, and J. Rudant, “Adaptive neighborhood speckle removal in multitemporal synthetic aperture radar images,” *Appl. Opt.*, vol. 40, no. 32, pp. 5954–5966, Nov. 2001.
3. Rangarayan R.M., M. Ciuc, and F. Faghih, “Adaptive neighborhood filtering of images corrupted by signal-dependent noise,” *Appl. Opt.*, vol. 37, pp. 4477–4487, 1998.

РАЗРАБОТКА ТЕСТ-ОБЪЕКТОВ ДЛЯ КАЛИБРОВКИ КАМЕР СИСТЕМ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ

И.А. Кудинов

Рязанский государственный радиотехнический университет,

Российская Федерация, Рязань, igor.kudinov@mail.ru

Аннотация. В работе рассмотрены принципы построения универсальных тест-объектов для калибровки камер многоспектральных систем технического зрения. В ходе полунатурного эксперимента с камерами продемонстрированы результаты совмещения изображений каналов телевизионного, тепловизионного и коротковолнового инфракрасного диапазонов системы технического зрения для их последующего комплексирования.

Ключевые слова: калибровка камер, дисторсия, совмещение изображений, комплексирование изображений.

DEVELOPMENT OF TEST OBJECTS FOR TECHNICAL VISION SYSTEMS CAMERAS CALIBRATION

I.A. Kudinov

Ryazan State Radio Engineering University,

Russia, Ryazan, igor.kudinov@mail.ru

Abstract. The principles of constructing universal test objects for calibrating cameras of multi-spectral vision systems are considered. In the course of the semi-natural experiment with the cameras, the results of combining images from television, thermal and short-wavelength infrared imaging technical vision channels for their subsequent fusion were demonstrated.

Keywords: camera calibration, distortion, image superimposition, image fusion.

Одной из тенденций развития обзорных оптико-электронных систем (ОЭС) является переход к двум и более диапазонам оптического спектра. Такие системы зарубежной литературе принято называть многоспектральными (multispectral) или многодиапазонными. В многоспектральных ОЭС (МОЭС) за счет объединения (комплексирования) информации от каналов технического зрения (КТЗ), отличающихся физической природой формируемых телевизионными (ТВ), коротковолнового инфракрасного диапазона (SWIR) и тепловизионными (ТПВ) камерами изображений (соответственно отраженный объектом свет и его собственное тепловое излучение), достигается большая эффективность обнаружения и распознавания объектов сцены, чем для каждого из КТЗ в отдельности.

Существуют три основных подхода к решению задачи комплексирования [1]: слияние решений, слияние признаков (дескрипторов) и слияние изображений. Для обзорных МСТЗ, как правило, применяют последний подход, заключающийся в попиксельном объединении изображений от разнотипных КТЗ. Решение задачи попиксельного комплексирования предполагает [2] последовательное выполнение процедур:

- совмещения изображений ТВ и ТПВ камер;
- непосредственно комплексирования для формирования яркостной компоненты итогового кадра.

Задача совмещения i -го и j -го изображений от пространственно разнесенных камер (обозначенных на рис. 1 и 2 как K_1 и K_2) решается применением либо общей оптической системы со светоделителем СД (рис. 1), разделяющим волны видимого и инфракрасного (ИК) диапазонов, либо проективного преобразования (для КТЗ без общей оптической части, рис. 2):

$$\mathbf{x}_i = \mathbf{H}_{ij} \mathbf{x}_j,$$

где $\mathbf{H}_{ij}$ – матрица гомографии, связывающая однородные координаты пикселей изображений i -й и j -й камер $\mathbf{x}_i = [u_i, v_i, 1]^T$ и $\mathbf{x}_j = [u_j, v_j, 1]^T$, (u, v) – координаты пикселя, расположенного на пересечении u -й строки и v -го столбца.

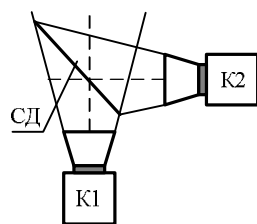


Рис. 1

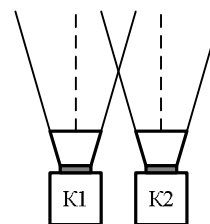


Рис. 2

В первом случае дополнительное применение механической юстировки позволяет приблизительно совместить кажущиеся оптические центры сенсоров и тем самым минимизировать ошибку совмещения. Во втором случае неколлинеарность оптических осей камер и разнесение их оптических центров приводят к появлению проективных искажений и эффекту оптического параллакса, однако именно такой подход (ввиду меньших габаритов системы камер) наиболее часто применяется на практике [3].

Универсальный алгоритм оценки **Н** основан на применении математического аппарата пар особых (ключевых) точек и их дескрипторов [4]. Основным ограничением алгоритмов автоматического поиска пар соответствий на кадрах от разноспектральных камер является различный физический принцип формирования изображения в видимом и ИК диапазонах, что приводит к отличиям яркости объектов сцены. По этой причине основными подходами к автоматическому совмещению являются:

- предварительная фотограмметрическая калибровка камер [4] по специальному тест-объекту (ТО), имеющему высокую контрастность как в видимом, так и в ИК диапазоне – если видеодатчики МОЭС конструктивно закреплены на жестком основании и в процессе съемки не перемещаются друг относительно друга, то данный подход требует для реализации меньшего объема вычислений и эффективен, когда изображение от одного или нескольких КТЗ имеет низкую контрастность;
- корреляционное совмещение по результатам контурного анализа [5] – несмотря на различия яркости и формы объектов на кадрах ТВ, SWIR и ТПВ камер, контуры ряда протяженных сюжетных элементов (например, линии горизонта, берегов водоемов, границ инфраструктурных объектов и др.) остаются практически неизменными, что позволяет оценить элементы матрицы гомографии [6].

Рассмотрим варианты конструкций универсальных ТО для калибровки камер коротковолнового ИК, длинноволнового ИК и видимого диапазонов. Один из вариантов реализации универсального ТО [7] заключается в следующем (рис. 3, а).

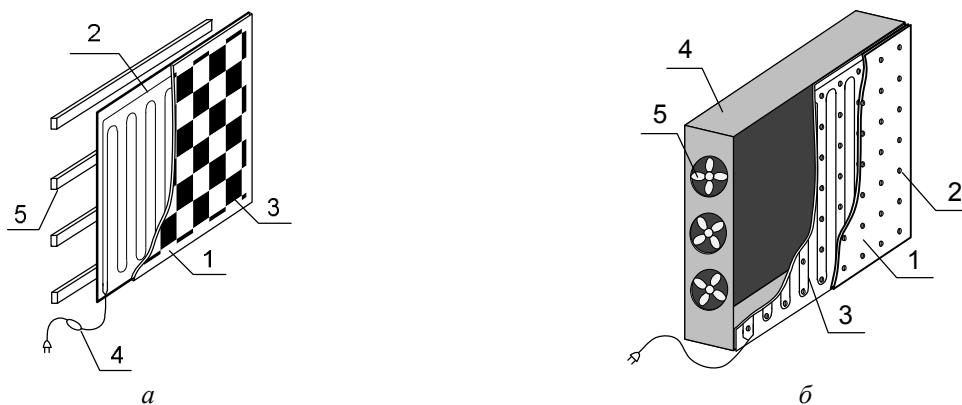


Рис. 3

На одной из сторон светлой пластины 1 с высокой теплопроводностью закрепляют электронагревательный элемент 2. На другой стороне пластины путем нанесения тонкой полимерной (виниловой) пленки 3 темного цвета формируют изображение типа «шахматная доска» с априорно известной длиной стороны клетки. Для предотвращения деформации пленки при перегреве устанавливают терморегулятор 4, обеспечивающий автоматическое тепловое регулирование ТО для получения необходимого теплового контраста. Для обеспечения плоскостности ТО на его обратную сторону закрепляют ребра жесткости 5. Клетки, закрытые темной пленкой, на кадре с ИК камеры формируют изображения с высокой яркостью; не закрытые – с низкой. Поэтому, чтобы изображения ТО на кадрах с ТВ (или SWIR) и ТПВ камер совпадали, перед калибровкой необходимо инвертировать кадр с ИК камеры.

На рис. 4, *а-в* показаны изображения универсального ТО на кадрах с камер соответственно видимого диапазона, длинноволнового ИК и коротковолнового ИК.

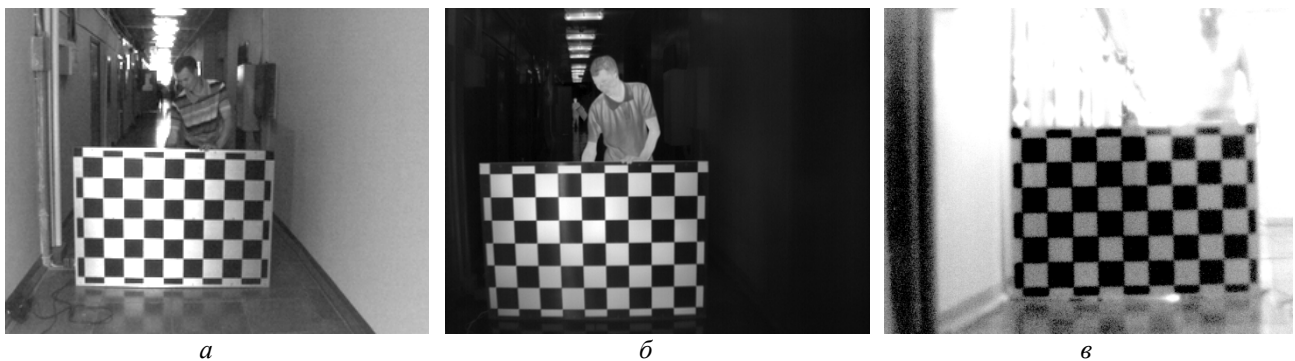


Рис. 4

Полимерная пленка в сочетании с подогреваемой пластиной обеспечивает малую толщину шаблона и его быстрый прогрев при включении электронагревательного элемента.

Альтернативным вариантом ТО является конструкция, предложенная в [8]. На светлой пластине 1 с высокой теплопроводностью выполняют совокупность отверстий 2, упорядоченных, например, в шахматном порядке, и имеющих фиксированное расстояние между соседними отверстиями (рис. 3, б). На обратной стороне пластины закрепляют электронагревательный элемент 3. Для обеспечения теплового контраста пластину помещают в корпус 4, в который приточными вентиляторами 5 нагнетают воздух. Воздух, выходящий из отверстий, имеет меньшую температуру, чем поверхность нагреваемой пластины. За счет этого обеспечивается тепловой контраст для ТПВ камеры: пиксели, соответствующие изображению пластины, будут иметь высокую яркость, а соответствующие изображению отверстий – низкую. ТВ и SWIR камеры будут формировать аналогичное изображение, поскольку пластина является светлой, а освещенность внутри корпуса 3 близка к нулю.

Связь матрицы гомографии и калибровочных параметров камер i и j при отсутствии дисторсии их объективов определяется выражением [4]:

$$\mathbf{H}_{ij} = \mathbf{K}_i (\mathbf{R}_{ij} - \mathbf{t}_{ij} \mathbf{n}^T / d) \mathbf{K}_j^{-1}, \quad (1)$$

где $\mathbf{K}_i$ и $\mathbf{K}_j$ – матрицы внутренних параметров, $\mathbf{R}_{ij}$ и $\mathbf{t}_{ij}$ – соответственно матрица поворота и вектор параллельного переноса для перехода от системы координат камеры j к камере i , $\mathbf{n}$ и d – соответственно вектор нормали к плоскости съемки и линейное расстояние до нее в системе координат i -й камеры. При выполнении условия $d \gg \|\mathbf{t}_{ij}\|$ справедливо приближенное равенство:

$$\mathbf{H}_{ij} \approx \mathbf{K}_i \mathbf{R}_{ij} \mathbf{K}_j^{-1}.$$

Для камер с широкоугольными объективами до совмещения необходимо предварительно выполнять процедуру компенсации дисторсии в соответствии с моделью Брауна – Конради [9] путем численного решения системы нелинейных уравнений:

$$\begin{aligned} x_{nd} &= x_n [1 + k_1 r^2 + k_2 r^4 + k_3 r^6] + [p_1 (r^2 + 2x_n^2) + 2p_2 x_n y_n], \\ y_{nd} &= y_n [1 + k_1 r^2 + k_2 r^4 + k_3 r^6] + [p_2 (r^2 + 2y_n^2) + 2p_1 x_n y_n], \end{aligned} \quad (2)$$

в которой k_i , $i = 1..3$, – коэффициенты радиальной дисторсии, p_i , $i = 1..2$, – коэффициенты тангенциальной дисторсии, (x_{ndi}, y_{ndi}) и (x_{ni}, y_{ni}) – соответственно нормированные координаты с дисторсией и без, $[x_n, y_n, 1]^T = \mathbf{K}^{-1} \mathbf{x}$, $r = (x_n^2 + y_n^2)^{1/2}$, с начальным приближением $x_n = x_{nd}$ (на практике с целью уменьшения объема вычислений ограничиваются только двумя первыми коэффициентами радиальной дисторсии, полагая остальные равными нулю).

Экспериментальные исследования выполнялись на макете системы технического зрения с тремя каналами различных диапазонов: ТВ камерой IDS 5240 RE с разрешением кадра 1280×1024, SWIR камерой Xenics Bobcat 640 с разрешением кадра 640×512 и LWIR камерой с разрешением кадра 640×480. Все камеры имели различные поля зрения объективов: ТВ камера – 70°×56°, SWIR камера – 24°×18°, LWIR камера – 40°×30°.

Перед началом эксперимента все камеры (без предварительной юстировки для обеспечения параллельности линий визирования) были жестко закреплены на кронштейне и откалиброваны по методике [10] с применением тест-объекта [7].

На рис. 5 показаны снятые одновременно кадры с ТВ (рис. 5, а), SWIR (рис. 5, б) и LWIR (рис. 5, в) камер с изображением городской застройки (условия наблюдения: плотная облачность, освещённость – 20 lx по люксметру Konica Minolta LS-100).



Рис. 5

На рис. 6 приведён их контурный препарат (для ТВ (рис. 6, а) и LWIR (рис. 6, в) приведены кропы изображений, соответствующие полю зрения SWIR (рис. 6, б) камеры). Из сопоставления изображений на рис. 6 можно сделать вывод, что для LWIR диапазона из-за отличия в физической природе формирования изображений контуры существенно отличаются от контурного препарата кадров ТВ и SWIR камер.

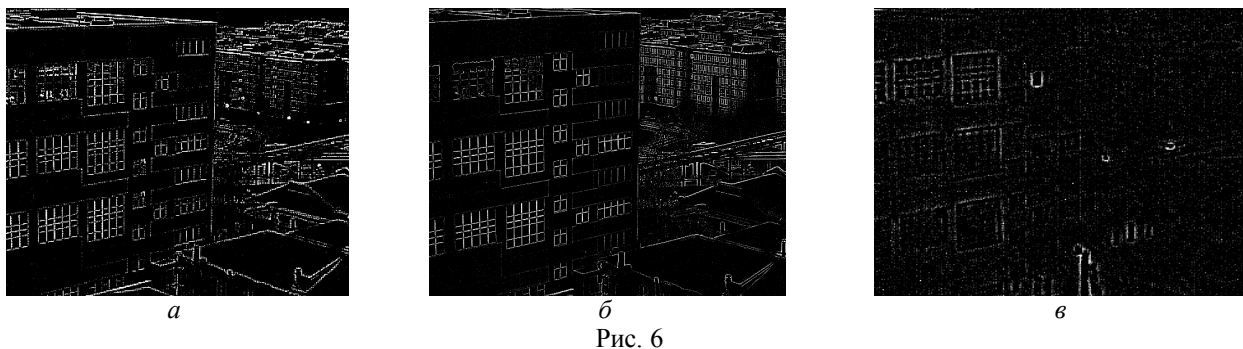


Рис. 6

Это не позволяет успешно решать задачу совмещения с использованием дескрипторов особых точек. Контурные препараты ТВ и SWIR изображений имеют высокую степень корреляции, однако из-за наличия на них участков с однородными текстурами (рамы окон и границы их стеклопакетов) при поиске особых точек количество неправильно найденных пар в данном случае соответствий превышает 30 %. При анализе видеопоследовательностей даже при использовании метода RANSAC [11, 12] это приводит к изменению элементов оцениваемой матрицы гомографии от кадра к кадру до 5 %.

На рис. 7 приведены результаты совмещения с компенсированной дисторсией ТВ и SWIR (рис. 7, а) изображений и ТВ и LWIR (рис. 7, б).

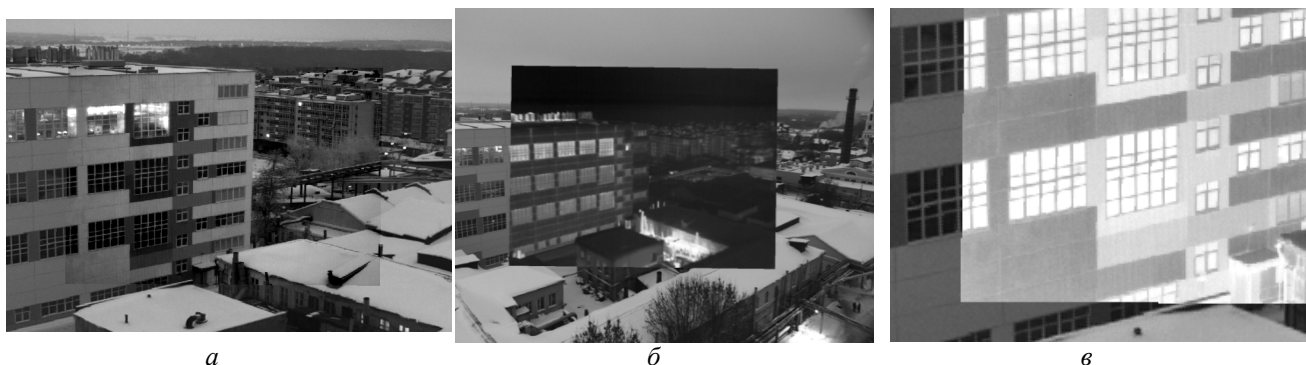


Рис. 7

Для наглядности на рис. 7, в приведен фрагмент результата совмещения ТВ и негатива SWIR по (1). Анализ этого изображения показывает, что калибровка разноспектральных камер по универсальному ТО обеспечивает погрешность совмещения не более 1 пикселя.

Таким образом, калибровка камер по рассмотренным тест-объектам обеспечивает с субпиксельной точностью совмещение разноспектральных изображений для их дальнейшего комплектирования.

Библиографический список

1. Luo, R.C. Multisensor Integration and Fusion for Intelligent Machines and Systems / R.C. Luo, M.G. Kay // Norwood: Ablex Publishing Corp. – 1995.
2. Pixel-level Image Fusion: a Survey of the State of the Art / Li S., Kang X., Fang L., Hu J., Yin H. // Information Fusion. – 2017. – Vol.33. – P. 100-112.
3. Круглосуточная панорамная система технического зрения для вертолетов / А. Бельский, Н. Жосан, Д. Брондз и др. // Фотоника. – 2013. – Вып. 38, №2. – С.80–86.
4. Close-range photogrammetry and 3D imaging / T. Luhmann, S. Robson, S. Kyle, J. Boehm // Berlin: De Gruyter. – 2013. – P. 684.
5. Совмещение изображений в корреляционно-экстремальных навигационных системах / С.И. Елесина, Л.Н. Костяшкин, А.А. Логинов, М.Б. Никифоров // под ред. Л.Н. Костяшкина и М.Б. Никифорова. М.: Радиотехника. – 2015. – С. 208.

6. Sablina V.A. Combined Approach to Object Contour Superimposition in Heterogeneous Images / Sablina V.A., Efimov A.I., Novikov A.I. // Proc. of 6th Mediterranean Conference on Embedded Computing, MECO 2017 – Including ECYPS 2017. Proceedings 6. – 2017. – P. 117–121.
7. Патент RU 2672466, МПК G06T7/80 (2017.01). Тестовый шаблон для калибровки видеодатчиков много-спектральной системы технического зрения / Кудинов И.А., Павлов О.В., Холопов И.С.; заявитель и патентообладатель акционерное общество «Государственный Рязанский приборный завод». – № 2017145444; заявл. 22.12.2017; опубл. 14.11.2018, Бюл. № 32.
8. Патент RU 2670776, МПК G06T7/80 (2017.01). Тест-объект для калибровки видеодатчиков многоспектральной системы технического зрения / Кудинов И.А., Павлов О.В., Холопов И.С.; заявитель и патентообладатель акционерное общество «Государственный Рязанский приборный завод». – № 2017143082; заявл. 08.12.2017; опубл. 25.10.2018, Бюл. № 30.
9. Brown D.C. Close-range camera calibration / D.C. Brown // Photogrammetric Engineering. – 1971. – Vol. 37, No 8. – P. 855–866.
10. Zhang, Z. A flexible new technique for camera calibration / Z. Zhang // IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 2000. – vol. 22, no. 11. – P. 1330–1344.
11. Fischler, M.A. Random sample consensus: a paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography / M.A. Fischler., R.C. Bolles // Readings in Computer Vision: Issues, Problems, Principles, and Paradigms, A. F. Martin and F. Oscar, Eds. – 1987. – P. 726–740.
12. Chum O. Optimal randomized RANSAC / O. Chum and J. Matas // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – Vol. 30, №8. – P. 1472–1482.

УДК 519.711; ГРНТИ 50.43.17

ЦИФРОВОЙ ЗСУР-РЕГУЛЯТОР ДЛЯ НЕЛИНЕЙНОГО ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ В ВИДЕ КОНИЧЕСКОГО РЕЗЕРВУАРА

А.И. Бобиков, О.Н. Буркина

*Рязанский государственный радиотехнический университет,
Российская Федерация, Рязань, olka-burkina@yandex.ru*

Аннотация. В данной работе с помощью метода согласования управления/функция Ляпунова получен цифровой ЗСУР закон управления, при котором цифровая система управления коническим резервуаром близка по своим свойствам к свойствам субоптимальной непрерывной системы.

Ключевые слова: зависящее от состояния уравнение Риккати (ЗСУР), нелинейный объект, период дискретизации, конический резервуар, методика согласования управления/функция Ляпунова.

DIGITAL ZSUR-REGULATOR FOR NONLINEAR CONTROL OBJECT IN THE FORM OF A CONICAL TANK

A.I. Bobikov, O.N. Burkina

*Ryazan State Radio Engineering University,
Russia, Ryazan, olka-burkina@yandex.ru*

Abstract. This paper deals with the mathematical model of the control object, then designed ZSUR-controller, and regulation problem is solved. Using the method of harmonizing control/ Lyapunov function obtained ZSUR discrete control law for conical tank.

Keywords: ZSUR, nonlinear object, sampling period, conical tank, matching the control method/ Lyapunov function.

За последние десятилетия в качестве общих методов проектирования появилась стратегия зависящего от состояния уравнения Риккати (ЗСУР), которая предоставляет систематические и эффективные средства проектирования непрерывных нелинейных систем, и имеет много возможностей, которыми не обладают другие нелинейные методы проектирования [4]. Из-за больших достоинств в настоящее время актуальной задачей является синтез нелинейного цифрового управления.

Для дискретизации непрерывных систем применение находит эмуляция Эйлера [6], которая дает положительные результаты лишь при малых периодах дискретизации T . Однако

в этом случае с увеличением T исчезают многие свойства непрерывного ЗСУР-регулятора. В [4] рассмотрено решение этой проблемы, связанное с использованием методики согласования управления/функции Ляпунова, так как она восстанавливает утерянные свойства непрерывного регулятора, позволяет увеличить период дискретизации T , и в результате дискретная реализация становится более близкой к непрерывной реализации.

Идея метода согласования управления/функции Ляпунова заключается в следующем. Пусть непрерывный нелинейный объект управления описывается уравнением

$$\dot{x} = f_c(x) + b_c(x)u_c. \quad (1)$$

В результате расширенной параметризации [5] получаем $f_c(x) = A_c(x)x_c$. Предположим, что $u_c(t) = u_k = \text{const}$, $k=0,1,2,\dots, t \in [kT, (k+1)T]$ на каждом временном интервале с периодом дискретизации T , тогда дискретную эквивалентную модель системы, описанную (1), можно представить в виде нелинейного разностного уравнения

$$x_{k+1} = e^{T(A_c x_c + u_k b_c)} x_k, \quad (2)$$

где $e^{T(A_c x_c + u_k b_c)} = 1 + \sum_{i \geq 1} \frac{T^i L^i(A_c x_c + u_k b_c)}{i!}$ представляет собой экспоненциальный оператор Ли L , связанный с правой частью уравнения (1) в моменты дискретизации $x(t=kT) = x_k$ для $k \geq 1$ при $x_0 = x(t=0)$.

Уравнение (3) описывает разность функции Ляпунова

$$V(x_c)|_{t=(k+1)T} - V(x_c)|_{t=kT} = \int_{kT}^{(k+1)T} \dot{V}(x_c(\tau)) d\tau. \quad (3)$$

Левая часть (3) представляет эволюцию дискретной системы и может быть вычислена как

$$V(e^{T(A_c x_c + u_k b_c)} x|_{x_k}) - V(x_k). \quad (3a)$$

Для получения цифрового управления с обратной связью необходимо решить уравнение (3) до m приближений в T . Оно принимает следующий вид[2]:

$$u_k = u_d^T = u_{d0} + \sum_{i \geq 1} \frac{T^i}{(1+i)!} u_{di}, \quad (4)$$

где

$$u_{d0} = u_c|_{t=kT}, \quad (4a)$$

$$u_{d1} = \dot{u}_c|_{t=kT}, \quad (4б)$$

$$u_{d2} = \ddot{u}_c|_{t=kT} + \frac{u_{d1}}{2} \cdot \frac{L_f L_b V - L_b L_f V}{L_b V} |_{t=kT}. \quad (4в)$$

Здесь $u_c(t)$ – непрерывное управление, $L_b V = \frac{\partial V}{\partial x} \cdot b$, $L_f L_b V = \frac{\partial L_b V}{\partial x} \cdot f = \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{\partial V}{\partial x} \cdot b \right] f$,
 $L_b L_f V = \frac{\partial L_f V}{\partial x} \cdot b = \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{\partial V}{\partial x} \cdot f \right] b$.

Удается осуществить применение данной концепции также для решения проблем, связанных с построением цифрового закона управления, путем реализации методов обратного шага (backstepping) и пассивного контроллера [6].

Рассмотрим применение этой методики для реализации цифрового ЗСУР-управления коническим резервуаром с жидкостью, который представлен на рисунке 1.

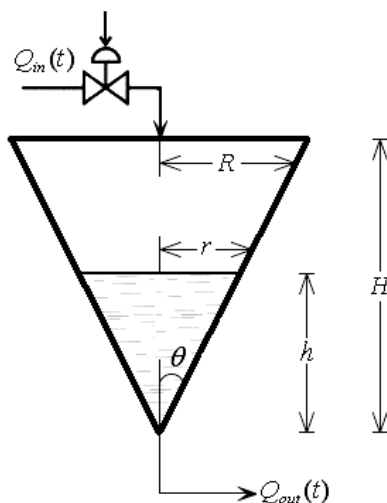


Рис. 1. Схематическая модель сферического резервуара

Здесь R – радиус основания конического резервуара, H – высота конического резервуара, r – радиус конического резервуара на определенной высоте уровня жидкости, h – высота уровня жидкости в коническом резервуаре. Управление $u(t)$ представляет собой регулирование притока жидкости $Q_{in}(t)$ и осуществляется с помощью верхней трубы. Отток жидкости $Q_{out}(t)$ идет через нижнюю трубу под действием силы тяжести. Рассматривается задача регулирования уровня жидкости на номинальном значении $h_0 = \text{const}$.

Обозначим $h(t)$ как $x(t)$, и, следовательно, $\frac{dh(t)}{dt} = \dot{x}$. Нелинейная модель процесса управления уровнем жидкости в резервуаре, другими словами, уравнение объекта управления имеет вид [3]:

$$\dot{x} = \frac{-c_p \sqrt{2gx(t)}}{\frac{\pi R^2 x^2(t)}{H^2}} + \frac{1}{\frac{\pi R^2 x^2(t)}{H^2}} \cdot u(t), \quad (5)$$

где $f(x) = \frac{-c_p \sqrt{2gx(t)}}{\frac{\pi R^2 x^2(t)}{H^2}}$, $b(x) = \frac{1}{\frac{\pi R^2 x^2(t)}{H^2}}$ – скалярные функции.

В уравнении (5) для состояния равновесия x и u не равны нулю, т.е. $f(0) \neq 0$. Таким образом, требуется зависящая от состояния параметризация, при которой выполняется условие

$f(0)=0$. Чтобы применить метод ЗСУР, уравнение (5) должно быть преобразовано так, чтобы переменная состояния, также как управление, была равна нулю в состоянии равновесия. Обозначая в состоянии равновесия, т.е. при $\dot{x}=0$, переменную состояния как $\bar{x}$, из уравнения (5) определяем уравнение $\bar{u} = c_p \sqrt{2g\bar{x}}$, чтобы удерживать уровень жидкости в состоянии равновесия. С помощью введения отклонений переменной состояния X и управления U относительно их значений $\bar{x}$ и $\bar{u}$ в состоянии равновесия

$$X = x - \bar{x}, U = u - \bar{u}. \quad (6)$$

Представим уравнение (1) в отклонениях

$$\dot{X} = f(X) + b(x)U, \quad (7)$$

где

$$f(X) = \frac{-c_p H^2 \sqrt{2g(X + \bar{x})}}{\pi R^2 (X + \bar{x})^2}, \quad (8)$$

$$b(X) = \frac{H^2}{\pi R^2 (X + \bar{x})^2}. \quad (9)$$

При этом для реальной модели управления параметры принимают значения $c_p = 0.05 \text{ м}^2$, $g = 9.81 \text{ м/с}^2$, $R = 1 \text{ м}$, $H = 2 \text{ м}$, $\bar{x} = 1$, $\bar{u} = 0.2236$.

Непрерывное ЗСУР управление для конического резервуара имеет вид [3]:

$$U(X) = c_p (\sqrt{2g(\bar{x} + X)} - \sqrt{2g\bar{x}}) - \text{sign}(X) \sqrt{c_p^2 (\sqrt{2g(\bar{x} + X)} - \sqrt{2g\bar{x}})^2 + X^2}. \quad (10)$$

Рассмотрим предлагаемую методику синтеза цифрового регулятора. Для этого положим $q = \sqrt{c_p^2 (\sqrt{2g(\bar{x} + X)} - \sqrt{2g\bar{x}})^2 + X^2}$, $z = g c_p^2 (\sqrt{\bar{x} + X} - \sqrt{\bar{x}})$.

Используя формулы (4а), (4б) получаем выражения:

$$u_{d0} = u_c |_{t=kT} = c_p (\sqrt{2g(\bar{x} + X)} - \sqrt{2g\bar{x}}) - \text{sign}(X)q, \quad (11)$$

$$u_{d1} = \dot{u}_c |_{t=kT} = \frac{\sqrt{2g} c_p \dot{X}}{2\sqrt{\bar{x} + X}} - \frac{\text{sign}(X) \dot{X}}{q} \left(\frac{z}{\sqrt{\bar{x} + X}} + X \right). \quad (12)$$

При использовании функции Ляпунова, равной $V = X^2/2$, получаем следующие результаты для производных Ли, входящих в выражение (4в):

$$\frac{L_f L_g V - L_g L_f V}{L_g V} = \frac{\sqrt{2g} H^2 c_p}{2R_p^2 x^2 \pi \sqrt{x}}.$$

Тогда, используя выражение (4в), получаем:

$$u_{d2} = \ddot{u}_c \Big|_{t=kT} + \frac{u_{d1}}{2} \cdot \frac{L_f L_g V - L_g L_f V}{L_g V} \Big|_{t=kT} = \ddot{u}_c \Big|_{t=kT} + \frac{u_{d1}}{2} \cdot \frac{\sqrt{2g} H^2 c_p}{2R_p^2 x^2 \pi \sqrt{x}}, \quad (13)$$

где

$$\ddot{u}_c = \frac{\sqrt{2g} c_p \ddot{X}}{2\sqrt{x+X}} - \frac{\sqrt{2g} c_p (\dot{X})^2}{4\sqrt{(x+X)^3}} + \frac{\text{sign}(X) \cdot (\dot{X})^2}{q^3} \left(\frac{z}{\sqrt{x+X}} + X \right)^2 - \frac{\text{sign}(X)}{q} \left(\frac{g c_p^2 (\dot{X})^2}{2(x+X)} + \frac{z \ddot{X}}{\sqrt{x+X}} - \frac{z (\dot{X})^2}{2\sqrt{(x+X)^3}} + X \ddot{X} + (\dot{X})^2 \right). \quad (14)$$

Для приближений $m=1$, $m=2$ цифровое управление сферическим резервуаром при периоде дискретизации T в соответствии с формулой (4) соответственно принимает вид:

$$u_k = u_{d0} + \frac{T}{2} u_{d1},$$

$$u_k = u_{d0} + \frac{T}{2} u_{d1} + \frac{T^2}{6} u_{d2} = u_{d0} + \frac{T}{2} u_{d1} + \frac{T^2}{6} \left[\ddot{u}_c + \frac{u_{d1}}{2} \cdot \frac{L_f L_b V - L_b L_f V}{L_b V} \right],$$

где переменные u_{d0}, u_{d1}, u_{d2} , $\ddot{u}_c$ принимают значения, описываемые выражениями (11)–(14).

На рис. 2 представлены графики зависимости $x(t)$ при различных периодах дискретизации T , полученные при эмуляционном моделировании цифрового закона управления коническим резервуаром при начальных условиях $\bar{x} = 1$, $\bar{u} = 0.2236$.

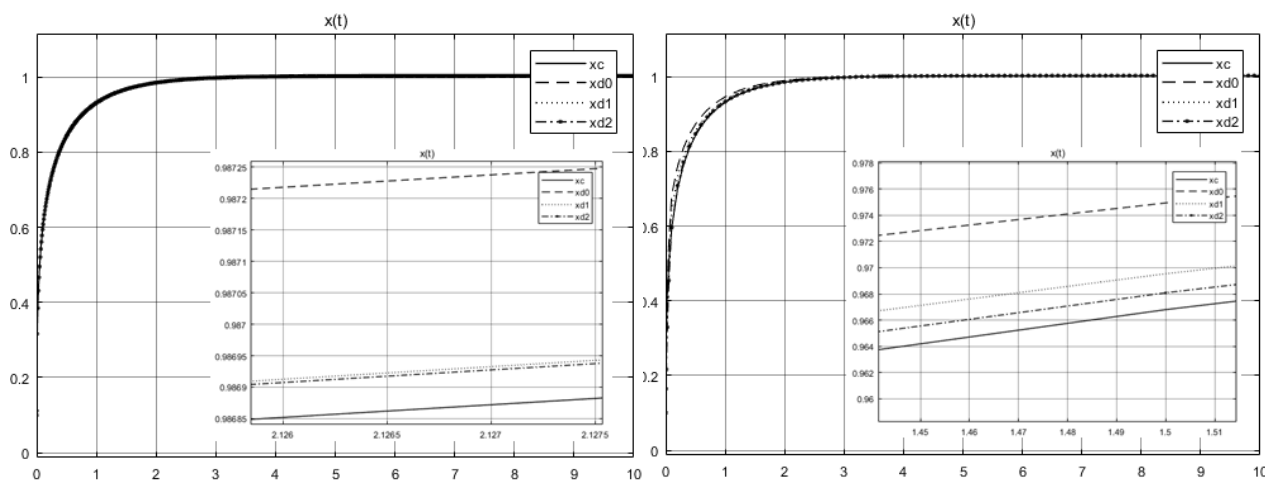


Рис. 2. Зависимость $x(t)$ при периоде дискретизации $T=0.01$ с (слева) и $T=0.1$ с (справа)

Анализируя результаты, представленные на рис.2, можно сделать вывод о том, что для системы конического резервуара с помощью методики согласования управления/функция Ляпунова можно построить цифровую систему, практически эквивалентную непрерывной x_c в каждый момент времени. Необходимо отметить, что при одной и той же точности применяемый метод дает возможность увеличивать период дискретизации T .

Дополнительно для анализа качества используемого метода воспользуемся таким критерием качества как интегральная абсолютная ошибка вида

$$J = \int_0^{\infty} |\varepsilon(t)| dt,$$

где $\varepsilon(t)$ есть разность между выходом непрерывной системы и выходом цифровой системы.

Таблица 1. Вычисление интегральной абсолютной ошибки

Порядок приближения m	Период дискретизации T		
	$T=0.01$ с	$T=0.1$ с	$T=0.3$ с
$m=0$	$J=0.004092$	$J=0.0478$	$J=0.1599$
$m=1$	$J=0.001032$	$J=0.02078$	$J=0.0876$
$m=2$	$J=0.0008679$	$J=0.01084$	$J=0.07307$

В таблице 1 представлены результаты, свидетельствующие о том, что при увеличении порядка приближения до $m=2$ цифровая реализация системы конического резервуара становится более близкой к непрерывной реализации, чем при $m=0$ и при $m=1$. Это подтверждает правильность выводов, сделанных при анализе рис. 2.

Библиографический список

1. Бобиков А.И. Субоптимальные нелинейные системы управления. Метод расширенной линеаризации. Рязань, 2015.
2. Бобиков А.И., Галкина Е.А. Цифровой ЗСУР-регулятор для нелинейного объекта управления: Материалы Международной научно-практической конференции. Сочи, 2016.
3. Бобиков А.И., Шабирина А.В. Проектирование нелинейной системы управления уровнем жидкости в коническом резервуаре с помощью метода ЗСУР // Математическое и программное обеспечение вычислительных систем: Межвуз. сб. научных трудов. Рязань, 2014.
4. Monaco S, Normand-Cyrot D. Issues on nonlinear digital systems. Eur J Control 2001.
5. Mracek C. P., Cloutier J. R. Control designs for the nonlinear benchmark problem via the state-dependent Riccati equation method, International Journal of Robust and Nonlinear Control, 1998.
6. Tanasa V. Development of theoretical and computational tools for the design of control strategies for nonlinear sampled-data systems. PhD Thesis. Université Paris Sud Paris XI; Université Politehnica de Bucarest, Paris.

УДК 517.977.55; ГРНТИ 89.23.99

ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ «В МАЛОМ» ДЛЯ МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

К.М. Ву

*Рязанский государственный радиотехнический университет,
Российская Федерация, Рязань, vuquangminh2631990@gmail.com*

Аннотация. В работе рассмотрено обобщение и приложение общей теории к частной задаче управления малыми космическими системами, которые описываются двумерными линейными неавтономными моделями. С демонстрационными целями возможностей метода решены тестовые задачи.

Ключевые слова: оптимальное управление «в малом», нелинейные автономные и линейные неавтономные модели, малые космические системы.

OPTIMAL CONTROL "IN SMALL" FOR SMALL SPACE APPARATUS

Q.M. Vu

*Ryazan State Radio Engineering University,
Russia, Ryazan, vuquangminh2631990@gmail.com*

The summary. The paper considers the generalization and application of the general theory to the particular problem of controlling small space systems, which are described by two-dimensional

linear non-autonomous models. With demonstration goals of the method capabilities test problems are solved.

Keywords: optimal control «in small», nonlinear autonomous systems and linear non-autonomous models, small cosmic system.

Традиционные методы оптимального управления могут оказаться малоэффективными в конкретных ситуациях, когда, к примеру, нужно так управлять объектом, чтобы он достиг цели управления и при этом не вышел за рамки некоей пространственной или плоской области. Для таких целей и была разработана концепция управления «в малом», возникшая и развиваемая в Рязанской школе теории дифференциальных уравнений, управления и устойчивости на основе анализа поведения всех возможных кривизн траекторий, рассчитываемых по моделям систем [1 - 5].

Рассмотрено обобщение и приложение общей теории к частной задаче управления малыми космическими системами, такими, как микро-спутники, которые описываются двумерными линейными неавтономными моделями. При этом результаты общей теории уточняются и конкретизируются. С демонстрационными целями возможностей метода управляемости «в малом» решены тестовые задачи.

Процедура может найти также реальное применение, например, при управлении движением малых космических аппаратов – активно развивающемуся ныне направлению космонавтики [6, 7] при наземном или орбитальном контроле околоземного космического пространства [8, 9].

Модель управления малыми космическими системами

Малые космические аппараты (МКА) обладают преимуществами перед большими аппаратами. Так, они относительно недороги, легко модифицируются для решения определенной задачи, создают меньше радиопомех. Применение МКА способствует уменьшению рисков, связанных с их запуском и работой в космосе, снижая финансовое бремя потерь в случае отказа или утраты такого спутника. Они могут служить летающими лабораториями для исследований высоких технологий и делают возможным более широкое участие интернациональных групп в работе над совместным аппаратом.

Малые космические системы в силу малых их размеров и специфических приложений, таких систем, как, к примеру, микро-спутник, вполне удовлетворительно описывается плоской линейной неавтономной моделью.

Для рассматриваемого случая можно положить теперь, что вектор-функция $F(x, t)$ - линейная неавтономная. Тогда вместо системы (1) мы получаем такую систему:

$$\frac{dx}{dt} = A(t)x + w(t) \quad (1)$$

где $A(t)$ – матрица с элементами, которые являются функциями от времени t ;

$w(t) = v(t)u$, где $v(t)$ - это известная нормированная кусочно-постоянная (или кусочно-непрерывная) функция управления.

Или, в фазовой плоскости R^2 ,

$$\frac{dx_2}{dx_1} = \frac{c(t)x_1 + d(t)x_2 + v(t)u_2}{a(t)x_1 + b(t)x_2 + v(t)u_1}.$$

Постановка задачи. Исследовать существование области-достижимости начала координат для системы (1).

Логически могут иметь место следующие случаи:

1. Область достижимости D существует и совпадает со всей фазовой плоскостью R^2 .

2. Область достижимости D существует и совпадает с некоторой частью плоскости R^2 .
3. Области достижимости D для системы (1) не существует.

Ниже мы покажем, что случаи 1-3 существуют.

Для простоты решения задачи зафиксируем время, тогда неавтономная система (1) становится автономной. Решим задачу управления в автономной системе:

$$\frac{dx}{dt} = Ax + w(t), \quad (2)$$

где $A = \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix}$ – постоянная матрица;

$w(t) = v(t)u$, где $v(t)$ – известная нормированная кусочно-постоянная (или кусочно-непрерывная) функция управления.

Или, в фазовой плоскости R^2 ,

$$\frac{dx_2}{dx_1} = \frac{cx_1 + dx_2 + vu_2}{ax_1 + bx_2 + vu_1}.$$

Пусть λ_1 и λ_2 – корни характеристического уравнения $\det |A - \lambda E| = 0$.

Теорема 1. Если число $k = \frac{u_2}{u_1}$ является корнем уравнения

$$bz^2 + (a - d)z - c = 0, \quad (3)$$

то области достижимости для системы (2) не существует.

Теорема 1 доказана в работе [1].

Из работы [5] и теоремы I следует следующая теорема.

Теорема 2. Для того, чтобы начало координат было достижимым в малом для системы (2), необходимо и достаточно, чтобы число k не являлось корнем уравнения (3).

Далее рассмотрим несколько теорем о существовании области достижимости для системы (2), связывая достижимость с λ_1 и λ_2 .

Теорема 3. Пусть для системы (2)

1) начало координат достижимо в малом

2) выполнено одно из условий:

а) $\operatorname{Re} \lambda_i < 0$, $i = 1, 2$, $\lambda_1 \neq \lambda_2$,

б) $\lambda_1 = \lambda_2 < 0$ и матрица A имеет кратный элементарный делитель,

в) $\operatorname{Re} \lambda_i = 0$, $\operatorname{Im} \lambda_i \neq 0$, $i = 1, 2$,

г) $\lambda_1 < 0$, $\lambda_2 = 0$,

д) $\lambda_1 = \lambda_2 = 0$ и матрица A имеет кратный элементарный делитель.

Тогда начало координат достижимо в большом для системы (2).

Теорема 4. Пусть для системы дифференциальных уравнений (2) начало координат достижимо в малом и пусть выполнено одно из условий:

а) $\operatorname{Re} \lambda_i > 0$, $i = 1, 2$, $\lambda_1 \neq \lambda_2$;

б) $\lambda_1 = \lambda_2 > 0$ и матрица A имеет кратный элементарный делитель;

в) $\lambda_1 < 0$, $\lambda_2 > 0$,

г) $\lambda_1 = 0$, $\lambda_2 > 0$.

Тогда областью достижимости D является некоторая часть фазовой плоскости R^2 (Граница области D устанавливается для каждого случая в процессе доказательства).

Теорема 5. Если матрица A имеет кратное собственное значение λ_0 , и ему соответствуют простые элементарные делители, то области достижимости начала координат для системы (2) не существует.

Теоремы 3, 4, 5 доказаны в работах [5, 6].

Таким образом, мы провели полное исследование существования области достижимости для системы (2).

Управление МКА в нестационарном случае

Вернемся к неавтономному случаю. Как правило, малые космические аппараты работают в ограниченном диапазоне времени, обозначенном через $[t_0, T]$ ввиду небольшого размера и малой энергии. Поэтому исследуем систему (1) на управляемость только в указанном интервале времени $[t_0, T]$.

$$\frac{dx}{dt} = A(t)x + w(t), \quad t \in [t_0, T]. \quad (4)$$

Известно, что система управляема в интервале времени $[t_0, T]$, если эта система управляема в любом моменте времени $t \in [t_0, T]$. Поэтому, чтобы исследовать систему (4) на управляемость на отрезке времени $[t_0, T]$, необходимо проверить управляемость системы (4) в каждом моменте времени $t \in [t_0, T]$. Это трудно выполнить на практике. И тогда мы приближенно исследуем управляемость системы (4) путем следующего численного метода: разделим отрезок $t \in [t_0, T]$ на множество частей $[t_0, t_1], [t_1, t_2], \dots, [t_{n-1}, T]$ и решим задачу управляемости системы (4) в n моментах времени.

Таким образом, задача управляемости системы (4) в интервале времени $[t_0, T]$ сводится к задаче управляемости линейных автономных систем (2) в зафиксированные моменты времени $t = t_0, t_1, \dots, t_{n-1}, T$. При этом получим следующую систему:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dx}{dt} = Ax + w(t), A = A(t_0); \\ \frac{dx}{dt} = Ax + w(t), A = A(t_1); \\ \frac{dx}{dt} = Ax + w(t), A = A(t_2); \\ \dots \\ \frac{dx}{dt} = Ax + w(t), A = A(T). \end{array} \right. \quad (5)$$

Таким образом, система (4) будет управляемой в некотором интервалом времени $[t_0, T]$, если есть решение системы (5).

Библиографический список

1. Карасёв И.П. О существовании области достижимости // Дифференциальные уравнения. – 1967. – Т.3. – № 12. – С. 68-74.

2. Миронов В.В., Митрохин Ю.С. Устойчивость систем автоматического управления с переменной структурой // Вестник РГРТА. – 1999. – Вып. 6. – С. 37–40.
3. Миронов В.В., Митрохин Ю.С. Задача об управляемости систем оптимального регулирования и методы ее решения // Вестник РГРТА. – 2000. – Вып. 7. – С. 57–64.
4. Миронов В.В., Митрохин Ю.С. Глобальная устойчивость технических систем с переменной структурой. // Космонавтика и ракетостроение. – 2001. – Вып. 24. – С.75–82.
5. Миронова К.В., Корячко В.П. Достижимость цели в малом для плоского управляемого движения малого космического аппарата // Вестник РГРТУ. – 2015. – № 1 (Вып. 51). – С. 89–95.
6. Миронов В.В., Миронова К.В., Розанов А.К. Управление «в малом» системами в плоском случае // Информатизация образования и науки. - М.: Государственный НИИ ИТ и телекоммуникаций, 2016. -№ 3(31). - С. 110-124.
7. Миронов В.В., Митрохин Ю.С. Технологический подход к исследованию устойчивости динамических систем: системный анализ динамических процессов и прикладные вопросы // Вестник РГРТУ. 2017. № 11 (Вып. 59). С. 114 – 126, С. 127 - 135.
8. Keynote Address. The Enigma of Small Satellites for Earth Observation // Acta Astronautica. – 1996. –Vol. 39. – P. 9–12.
9. Mars Program Independent Assessment Team (MPIAT) // Report. National Aeronautics and Space Administration, California Institute of Technology, Jet Propulsion Laboratory, Media Relations office. – Pasadena, Calif. – 2000. – V. 4.

СОДЕРЖАНИЕ

ИНФОРМАЦИЯ О МЕЖДУНАРОДНОМ ФОРУМЕ «СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ» СТНО-2018».....	3
МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ. ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ».....	5
Секция «ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ».....	5
Шермухамедов Б.А. Безопасность банковской системы при проникновении в неё вредоносных воздействий злоумышленника.....	5
Заяц Т.А. Организация систем информационной безопасности.....	7
Жаров М.В. Исследование технологии внедрения основных функций PDM-систем в платформы современных программ бухгалтерского учета.....	10
Батыргалиев А.Б. Подходы к оцениванию качества шума генераторов пространственного электромагнитного зашумления.....	17
Кабулов А. Информационная безопасность и пути ее совершенствования в Республике Узбекистан.....	20
Скуров Д.А. Разработка информационной системы управления грузовой авиакомпанией.....	24
Щенёва Ю.Б., Бодров О.А. Особенности разработки базы данных для автоматизированной информационной системы «Учет оказания услуг в стоматологической клинике».....	28
Аникеев Д.В., Маркин А.В., Пудова А.В. Исследование применения in-методу подхода к анализу информации.....	33
Шамина Ю.Г., Кузьмин Ю.М., Калинин Т.И. Защищенные операционные системы: история и применение.....	38
Секция «МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ».....	42
Щукина И.П. Анализ динамики показателей рынка труда Российской Федерации.....	42
Андреев А.С., Лискина Е.Ю. Моделирование промышленного потенциала региона.....	46
Бухенский К.В., Конюхов А.Н., Дюбуа А.Б., Сафошкин А.С. Функция принадлежности нечеткого множества: психофизический подход.....	51
Миронов В.В., Муртазов А.К., Усовик И.В. Библиографическое исследование по проблеме мониторинга околоземного космического пространства. Статья 1. Проблемные вопросы мониторинга околоземного пространства оптическими системами.....	57

Миронов В.В., Муртазов А.К., Усовик И.В.

Библиографическое исследование по проблеме мониторинга околоземного космического пространства. Статья 2. Тела в околоземном пространстве и их мониторинг оптическими средствами..... 62

Миронов В.В., Муртазов А.К., Усовик И.В.

Библиографическое исследование по проблеме мониторинга околоземного космического пространства. Статья 3. Распознавание объектов в околоземном пространстве по данным их фотометрии..... 68

Миронов В.В., Муртазов А.К., Усовик И.В.

Библиографическое исследование по проблеме мониторинга околоземного космического пространства. Статья 4. Классификация оптических свойств объектов в ближнем космосе..... 71

Миронов В.В., Муртазов А.К., Усовик И.В.

Библиографическое исследование по проблеме мониторинга околоземного космического пространства. Статья 5. Мониторинг естественного загрязнения ближнего космоса средствами метеорной астрономии..... 78

Миронов В.В., Муртазов А.К., Усовик И.В.

Библиографическое исследование по проблеме мониторинга околоземного космического пространства. Статья 6. Проблема техногенного засорения околоземного космического пространства..... 82

Миронов В.В., Муртазов А.К., Усовик И.В.

Библиографическое исследование по проблеме мониторинга околоземного космического пространства. Статья 7. Моделирование космических бортовых систем контроля потоков космического мусора на околоземной орбите..... 85

Новиков А.И.

Новый метод выделения границ перепада яркости на изображениях..... 91

Ильин М.Е.

Исследование вероятностных свойств решения интегрального уравнения..... 94

Чемезов О.Н.

Об оптимальном планировании нелинейных наблюдений при обнаружении и фильтрации Марковских сигналов..... 98

Купцов М.И., Киселев А.В., Купцов И.М.

Устойчивость локального интегрального многообразия системы обыкновенных дифференциальных уравнений с векторным параметром..... 102

Сетько Е.А., Медведева В.Ю.

Разработка модели построения производственной функции Кобба-Дугласа..... 105

Каплина И.Е., Куприянов В.В.

Анализ экономико-математических моделей миграционных процессов в Рязанской области..... 108

Ву К.М.

Численный метод оценки области достижимости для линейных неавтономных систем... 111

Бацева А.Ю., Бельман С.А.

Нахождение оптимального режима работы педагога в условиях современного образовательного пространства..... 116

Орлов Г.С.

Динамическое случайное множество как обобщение понятий нечёткого и случайного множеств..... 120

Сеттиев Ш.Р.

О методах конечных разностей..... 126

Карасева Н.И., Дмитриева М.Н., Акимова И.А.

Анализ экономической эффективности природоохранной деятельности

Новомичуринской ГРЭС..... 130

Секция «ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ И УПРАВЛЕНИЕ В ТЕХНИЧЕСКИХ

СИСТЕМАХ»..... 133

Ву К.М., Миронов В.В.

Наблюдаемость «в малом» малых космических аппаратов

для радиотехнических систем..... 133

Ву К.М., Миронов В.В.

Изучение области достижимости для систем оптимального регулирования

третьего порядка..... 136

Иванов М.А., Фельдман А.Б.

Разработка и реализация алгоритма выделения изображений воздушных объектов

на основе пространственной фильтрации..... 139

Муравьев В.С., Архипова О.К.

Повышение эффективности распознавания рукописных цифр в нейросетевых методах... 144

Ильин А.А.

Обработка и распознавание изображений с использованием полносверточных

нейронных сетей..... 150

Слюсарь Д.В.

Разработка программного обеспечения для слежения за объектом на основе

сопоставления с эталоном..... 154

Бобиков А.И., Барина А.А.

Проектирование регулятора методом динамического обратного шага для объекта

из двух спаренных резервуаров..... 158

Селяев А.А., Федичкин А.А.

Исследование корреляционно-экстремальных алгоритмов определения координат

объекта в последовательности изображений..... 164

Евтеев И.Е., Бабаян П.В.

Компенсация систематических ошибок времяпролетных камер..... 169

Кудинов И.А.

Разработка тест-объектов для калибровки камер систем технического зрения..... 172

Бобиков А.И., Буркина О.Н.

Цифровой ЗСУР-регулятор для нелинейного объекта управления

в виде конического резервуара..... 177

Ву К.М.

Оптимальное управление «в малом» для малых космических аппаратов..... 182

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ

Научное издание

В 10 томах

Том 5

Под общей редакцией О.В. Миловзорова.

Подписано в печать 15.06.19. Формат 60х84 1/8.

Бумага офсетная. Печать офсетная.

Гарнитура «Times New Roman».

Усл. печ. л. 23,25.

Тираж 100 экз. Заказ № 1539.

Рязанский государственный радиотехнический университет,
Редакционно-издательский центр РГРТУ,
390005, г. Рязань, ул. Гагарина, д. 59/1.
Отпечатано в типографии Book Jet,
390005, г. Рязань, ул. Пушкина, д. 18