№ 1
2014
[31]

научно-технический журнал

Известия

ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ

Науки древо издавна трудами
Украшено во времени.
Оно дает плоды для созидания –
Земле Российской процветание.

8 февраля – День российской науки

Межрегиональное общественное учреждение
“Институт инженерной физики”
(научное, образовательное и производственное учреждение)

В НОМЕРЕ

СРЕДСТВА И МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ

2 **Ф.К. Алиев, А.В. Зайцева, И.В. Костенюк, А.Г. Сенцов, И.А. Шеремет.** Энтропийные стеганографические системы с контейнерами, представляющими собой цифровые мультимедийные файлы

11 **А.П. Галкин, М.С. Ковалёв, Ахмед Бадван, Мохаммад Махмуд Амро, Махран Мохаммад Али Альджарадат, Ислам Дарахма.** Синтез пользовательской структуры для информационной защиты сети с маршрутизаторами с использованием САПР

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ

15 **А.А. Кобзев, В.С. Шмаков, Е.В. Еропова, Абу Ахмад Махфуз.** Компьютерное моделирование испытаний транспортных средств в режиме краш-теста

19 **А.В. Гуляев.** Анализ и формализация транспортно-эксплуатационных характеристик дорожной сети в задаче определения времени движения автотранспорта с учетом факторов окружающей среды

24 **Т.Х. Ахмедов.** Особенности обтекания быстромашущего крыла

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

30 **С.Н. Гончаров, В.В. Писецкий, В.А. Никитин, С.Н. Колтаков.** Программная реализация автомата

ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ И ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

34 **С.В. Погребан, Е.А. Тростин, И.А. Игнатенко.** К вопросу об оценке качества сканированных изображений

40 **В.Г. Грибунин, Д.А. Токарев, И.А. Игнатенко.** Анализ методов уменьшения размеров изображений

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ

47 **Д.Г. Митрофанов, В.А. Перехожев.** Вариант построения двухуровневого нейросетевого идентификатора летательных аппаратов

СИСТЕМЫ СВЯЗИ

53 **В.А. Цимбал, А.М. Вальваков, М.Ю. Попов.** Анализ характеристик конечных марковских цепей при разных шагах переходов

57 **С.Е. Орехов, И.В. Сысоев.** Оптимизация распределения TCP нагрузки по параллельному сетевому тракту сети связи с многомерной маршрутизацией пакетов

МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ

60 **К.А. Батенков.** Формальное описание нелинейных модуляции и демодуляции на основе функциональных рядов Вольтерра

65 **Д.Г. Митрофанов, С.В. Иванушкин.** Усовершенствованный вариант адаптивного метода формирования радиолокационных изображений воздушных целей для сигналов со ступенчатой перестройкой несущей частоты

МЕТОДЫ И СПОСОБЫ ИЗМЕРЕНИЯ ▪ ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТЕЙ

72 **А.В. Подзоров, С.Е. Кузеев, В.В. Котова.** Георадиолокационная оценка несущей способности неуплотняемых грунтовых путей движения

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

76 **В.И. Полянский.** Оценивание риска принятия решений при создании сложных технических систем на основе нечеткого распределения

ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОЕКТЫ

80 **А.А. Александров.** Симплификация аспектов для финансового обеспечения инновационного развития предприятия

86 **Н.М. Емелин, Е.Д. Володина, О.В. Голодкова.** Систематизация инноваций в образовательной деятельности

МЕХАНИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА

89 **Е.Н. Талицкий, А.В. Романов.** Применение метода температурно-временной суперпозиции для расширения частотного спектра испытаний вибропоглощающих материалов радиотехнических устройств

ТЕХНИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ

94 **О.Н. Андрух, М.К. Чадунели.** Оценка удовлетворенности потребителей услуг в сфере профессионального образования

ПОДГОТОВКА КАДРОВ

98 **Н.М. Емелин, Ю.Н. Артамонов.** Методический подход к формированию стратегий управления деятельностью неэффективных образовательных учреждений высшего профессионального образования

Научно-технический журнал

ИЗВЕСТИЯ
Института инженерной физики

Издается с апреля 2006 года
Выходит ежеквартально

Решением Президиума ВАК включен в «Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий»

Главный редактор
Алексей Николаевич Царьков
заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор

Заместитель главного редактора
Роман Леонидович Мусатов
кандидат технических наук

Выпускающий редактор
Игорь Павлович Новожилов

Редакционная коллегия
Евгений Михайлович Ананьев
кандидат технических наук
Олег Николаевич Андрух
кандидат технических наук, доцент
Сергей Борисович Беркович
доктор технических наук, профессор
Владимир Эрнестович Бородай
кандидат технических наук, старший научный сотрудник
Игорь Александрович Бугаков
заслуженный изобретатель РФ, доктор технических наук, профессор
Александр Михайлович Вальваков
доктор технических наук
Владимир Иванович Злобин
заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор
Сергей Васильевич Иванушкин
доктор военных наук, доцент
Николай Николаевич Казаков
член Союза писателей России
Валерий Геннадьевич Маслов
кандидат технических наук
Борис Петрович Смирнов
доктор технических наук, профессор
Дмитрий Вячеславович Смирнов
доктор технических наук, доцент
Сергей Владимирович Смуров
доктор технических наук, профессор
Владимир Анатольевич Цимбал
заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор

ISSN 2073-8110
Учредитель и издатель – МОУ «ИИФ»
Подписной индекс: 59190 по каталогу «Научно-технические издания» ОАО «Роспечать»
Адрес редакции: 142210, Московская обл., г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а.
Тел: +7(4967)35-31-93, 35-13-71
Факс: +7(4967)35-44-20 http://www.iifrf.ru
e-mail: iifrfinfo@gmail.com info@iifrf.ru
Свидетельство о регистрации ПИ №ФС77-26650 от 20 декабря 2006 г.
Отпечатано на полиграфической базе МОУ «ИИФ»
Подписано в печать 27.01.2014. Тираж 2000 экз.
© Межрегиональное общественное учреждение «Институт инженерной физики» (ИИФ), 2014

научно-технический журнал
Известия
ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ
№ 1 (31)
2014

Редакционный совет

Александр Иванович Аспидов
доктор технических наук, профессор
Заместитель директора Нижегородского филиала Московского гуманитарного экономического института по научной работе

Валерий Петрович Баранов
генерал–полковник
доктор исторических наук, профессор

Андрей Витальевич Богословский
доктор технических наук, профессор
Заместитель начальника Тамбовского высшего военного авиационного инженерного училища радиоэлектроники по УНР

Борис Федорович Безродный
доктор технических наук, профессор
Главный инженер проектного конструкторско–технологического бюро – филиал ОАО «РЖД»

Ярослав Андреевич Ваграменко
доктор технических наук, профессор
Президент академии информатизации образования

Анатолий Николаевич Геращенко
доктор технических наук, профессор
Ректор Московского авиационного института

Сергей Григорьевич Данилюк
доктор технических наук, профессор
Ведущий научный сотрудник Института информатизации образования (РАО)

Валерий Евгеньевич Дидрих
доктор технических наук, профессор
Начальник учебного отдела Тамбовского высшего военного авиационного инженерного училища радиоэлектроники

Владимир Дмитриевич Киселев
доктор технических наук, профессор
Директор Тульского филиала Орловской академии госслужбы

Олег Александрович Козлов
доктор педагогических наук, профессор
Заместитель директора Института информатизации образования (РАО)

Сергей Викторович Ларцов
доктор технических наук,
старший научный сотрудник
Заместитель главного инженера ОАО "Гипрогазцентр"

Евгений Николаевич Надеждин
доктор технических наук, профессор
Начальник кафедры Тульского военного инженерного артиллерийского института

Сергей Алексеевич Редкозубов
доктор технических наук, профессор
Председатель экспертного совета ВАК по управлению, вычислительной технике и информатике, заведующий кафедрой высшей математики Московского государственного горного университета

Юрий Александрович Романенко
заслуженный деятель науки РФ
доктор технических наук, профессор

Валерий Николаевич Умников
доктор технических наук, профессор
Президент Академии проблем сохранения жизни

Сергей Николаевич Шиманов
доктор технических наук, профессор
Заместитель генерального директора МОУ «ИИФ» – главный конструктор

Сергей Николаевич Шиманов
Заместитель генерального директора МОУ «ИИФ» по АСУ и связи – главный конструктор, доктор технических наук, профессор

Владимир Анатольевич Цимбал
Ведущий научный сотрудник МОУ «ИИФ», заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор

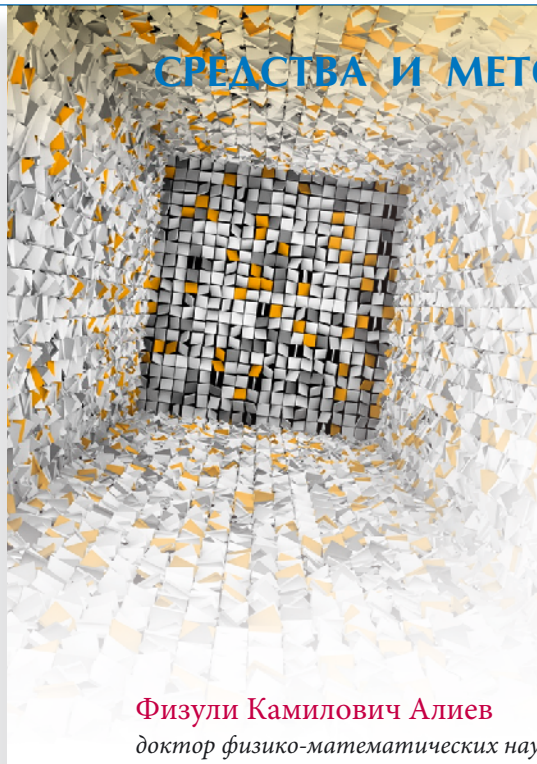
Одним из наиболее динамичных и наукоемких направлений развития науки и техники в современном мире являются информационные и телекоммуникационные технологии. Их бурное развитие в конце XX и начале XXI веков – мобильная связь, телекоммуникационные спутники, Интернет, персональные гаджеты – совершило революцию в человеческом общении, позволило сделать гигантский информационный скачок, обеспечивший не только повышение производительности труда и, как следствие, благосостояния населения, но и радикально изменить стиль и возможности межличностного общения. Неслучайно развитие автоматизированных систем и инфотелекоммуникационных технологий определено в послании Президента России Федеральному Собранию в 2013 году как одно из шести приоритетных научных направлений до 2030 года.

Совершенствование информационных систем невозможно представить без соответствующего научного обеспечения, включающего в себя целый комплекс направлений: от подготовки высококвалифицированных специалистов в данной сфере до проведения фундаментальных и прикладных исследований и внедрения их результатов в конкретные технические разработки.

Все это в полной мере присутствует в деятельности МОУ «ИИФ». Подавляющее большинство научных подразделений Института проводят исследования и занимаются развитием информационных и телекоммуникационных систем. Наработки ученых МОУ «ИИФ» в этой области зачастую носят уникальный и новаторский характер, находят широкое применение как в гражданской сфере, так и в области обеспечения обороноспособности страны, что подтверждается положительной динамикой контрактов в данной предметной области. Особого внимания заслуживают результаты, полученные учеными Института, в обеспечении информационной безопасности сложных информационно-управляющих систем, построении комплексов автоматизированного управления системами и средствами связи, анализе электромагнитных излучений радиоэлектронных устройств методами цифровой обработки сигналов, трансионосферного зондирования и выявления локальных неоднородностей ионосферы.

Следует подчеркнуть, что в ИИФ эти научные направления хорошо подкреплены молодыми научными кадрами, подготовкой которых успешно занимаются учебные подразделения и аспирантура Института. Неслучайно большинство диссертационных работ, защищенных в диссертационном совете при МОУ «ИИФ», посвящены развитию АСУ и связи и их информационной безопасности. Таким образом, развитие автоматизированных систем и инфотелекоммуникационных технологий находит достаточное научное подкрепление в деятельности Института.

Уважаемые коллеги! Приближается День российской науки. 290 лет назад, 8 февраля 1724 года, по распоряжению первого Императора Всероссийского Петра I Указом правительствующего Сената в России была основана Академия наук. А 15 лет назад Указом Президента России этот день определен как День российской науки. Поздравляем с праздником и желаем творческих успехов на научном поприще!



УДК 004.056.55

ЭНТРОПИЙНЫЕ СТЕГАНОГРАФИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ С КОНТЕЙНЕРАМИ, ПРЕДСТАВЛЯЮЩИМИ СОБОЙ ЦИФРОВЫЕ МУЛЬТИМЕДИЙНЫЕ ФАЙЛЫ

Анастасия Владленовна Зайцева
ассистент кафедры «Информационная безопасность»
МГТУ им. Н.Э. Баумана
Адрес: г. Москва, ул. 2-я Бауманская, д. 5
Тел.: +7(499)263-69-36

Физули Камилович Алиев
доктор физико-математических наук
главный научный сотрудник
ВНК ВС РФ
Москва

Анатолий Григорьевич Сенцов
научный сотрудник
Институт нанотехнологий микроэлектроники РАН
Адрес: 119991, г. Москва, Ленинский пр-т, д. 32а
Тел. +7(499)616-38-64

Игорь Викторович Костенюк
ведущий специалист отдела разработок
ОАО «РЖД»
Москва

Игорь Анатольевич Шеремет
доктор технических наук, профессор
член ВПК при Правительстве РФ
Москва

В статье рассмотрены стеганографические системы с контейнерами, представляющими собой сжатые цифровые мультимедийные файлы. Определены понятия оптимальных и субоптимальных энтропийных стеганографических алгоритмов, исследованы их свойства.

This paper deals with steganographic systems which use compressed digital media as cover files. The concepts of optimal and suboptimal entropy steganographic algorithms are defined, their properties are studied.

Ключевые слова: стеганографическая система, контейнер, сжатие мультимедийных файлов, энтропия, булевская функция, математическое ожидание, комбинаторная оптимизация.

Keywords: steganographic system, cover file, media file compression, entropy, Boolean function, mathematical expectation, combinatorial optimization.

К основным задачам стеганографии относятся разработка новых и совершенствование имеющихся стеганографических методов и способов защиты информации и создание на их основе высокоэффективных стеганографических систем для безопасного хранения и передачи информации, в том числе и конфиденциальной с гарантированными значениями по параметрам стойкости, а также допускающие надежные программные и аппаратные реализации.

Для успешного решения данных задач особое значение имеет применение современных научных методов, которые позволяют глубоко проанализировать последние изменения в стеганографических методах защиты информации и вскрыть закономерности развития этих методов. Это дает возможность на качественно новом уровне подойти к решению задач обеспечения безопасного хранения и передачи конфиденциальной информации на основе создания и использования стеганографических систем с контейнерами, представляющими собой подмножества квантованных коэффициентов частотной области мультимедийных сигналов. Данные квантованные коэффициенты являются результатом применения к мультимедийным файлам стандартных алгоритмов сжатия. К ним относятся алгоритмы MP3, AAC, Ogg Vorbis, AC3 (для

сжатия звуковых файлов), JPEG, JPEG 2000 (для сжатия графических файлов), MPEG2, MPEG4, H263, H264 (для сжатия видеофайлов) и др. Круг стандартных алгоритмов с каждым годом все больше расширяется, улучшаясь качественно и количественно в плане характеристик сжатого представления мультимедийной информации. Однако постоянным в них, среди прочего, остается (независимо от того, что сжимается: звуковые, графические или видеофайлы) использование процедур перехода в частотную область и последующего квантования. Данное обстоятельство является основой для исследований в направлении создания в некотором смысле универсальных стеганографических алгоритмов, допускающих контейнеры, построенные на основе любых типов мультимедийных файлов. Сложившаяся к настоящему времени архитектура стеганографических систем, основанных на таких алгоритмах, предполагает (в режиме внедрения в контейнер сообщения, подлежащего стеганографической защите) следующую двухблочную структуру (*рисунок 1*).

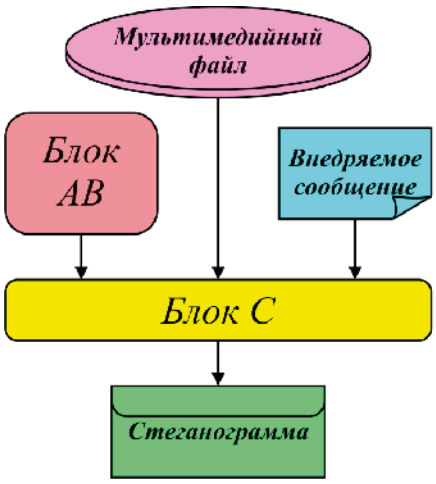


Рис. 1. Структурная схема стеганографической системы в режиме встраивания информации

Схему стеганографической системы (при функционировании в режиме извлечения из стеганограммы скрытого в ней сообщения), построенной на основе вышеупомянутых универсальных алгоритмов, можно представить в следующем блочном виде (*рисунок 2*).

Блок AB (на *рисунках 1* и *2*) – генератор номеров используемых элементов контейнера для внедрения и извлечения сообщения, подлежащего стеганографической защите. Он состоит из двух подблоков: A и B.

Подблок A является программной или аппаратной реализацией генератора псевдослучай-

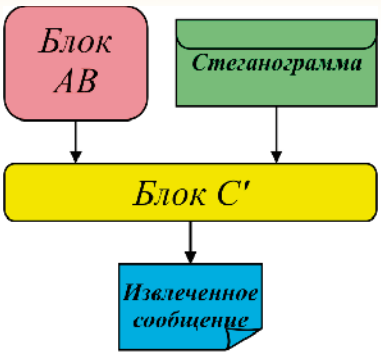


Рис. 2. Структурная схема стеганографической системы в режиме извлечения информации

ных чисел. В качестве него может быть выбран любой генератор из множества криптографических генераторов [5, 9, 10, 13, 14]. Наиболее широко известные и исследованные представители множества генераторов псевдослучайных чисел – это линейные регистры сдвига и их усложнения, такие, как фильтрующие генераторы и комбинирующие генераторы. Ключевые элементы подблока A составляют ключевое пространство стеганографической системы. В качестве ключевых элементов подблока A в зависимости от конкретной реализации могут быть выбраны начальные состояния и многочлены обратной связи линейных регистров сдвига, функции усложнения фильтрующих и комбинирующих генераторов. Одно из основных требований к ключевому пространству стеганографической системы – это его достаточно большая мощность, которая должна обеспечить, в частности, стойкость стеганографической системы против такой «силовой атаки», как выявление в стеганограмме скрытого сообщения путем «тотального» перебора всех ключей стеганографической системы. После начальной установки ключей подблок A вырабатывает выходную последовательность, которая поступает на вход подблока B, генерирующего:

- в случае, представленном на *рисунке 1*, – последовательность номеров элементов стеганографического контейнера, в которые будут встроены (внедрены) элементы сообщения, подлежащего скрытию;
- в случае, представленном на *рисунке 2*, – последовательность номеров элементов заполненного стеганографического контейнера, из которых будут извлечены элементы скрытого в стеганограмме сообщения.

Практические задачи программной и аппаратной реализации криптографических генераторов получили свое решение во многих работах, посвященных разработке программно-аппаратных средств криптографической защиты

информации. Достижения открытых исследований доступны, например, в монографии [14].

Подблок В представляет собой программную или аппаратную компоненту, вырабатывающую последовательность номеров элементов контейнера, используемых для внедрения сообщения, подлежащего стеганографической защите. В работах, посвященных разработке программно-аппаратных средств стеганографической защиты информации, предлагаются различные варианты построения подблока В. Многие из них приводятся в известных монографиях [7, 15]. Одна из оригинальных реализаций подблока В, представлена в работах [1, 2, 8], основным составным элементом которой является автомат Мили специального типа. Его детальное описание приведено в работе [3]. Выходные последовательности этого автомата определяют преобразования скользящей перестановки, характерной чертой которых является их применимость к символьным последовательностям потокового вида вне зависимости от характера символов и длины последовательностей (теоретически допускаются даже бесконечные последовательности). На вход подблока В поступает выходная последовательность подблока А. Выходная последовательность подблока В – это последовательность номеров элементов стеганографического контейнера, в которые будут встроены (внедрены) элементы сообщения, подлежащего скрытию (*рисунок 1*); или последовательность номеров элементов заполненного стеганографического контейнера, из которых будут извлечены элементы скрытого в стеганограмме сообщения (*рисунок 2*). При этом последовательность номеров такова, что реализуется произвольное сочетание случайного выбора и перестановки [11]. В качестве результирующей выходной последовательности блока АВ выступает выходная последовательность подблока В.

Выходная последовательность блока АВ поступает на вход блока С в режиме встраивания информации в стеганографический контейнер (*рисунок 1*) или на вход блока С' в режиме извлечения из стеганограммы скрытой в ней информации (*рисунок 2*).

На вход блока С (*рисунок 1*) поступают три последовательности:

- мультимедийный файл;
- сообщение, подлежащее стеганографической защите (внедряемая информация);
- выходная последовательность блока АВ.

Результатом работы блока С, то есть выходом блока С, является стеганограмма.

Блок С – это программная или аппаратная реализация специальной модифицированной версии кодера стандарта сжатия мультимедийных файлов.

Анализ конвейера операций, используемых в стандартах сжатия мультимедийных файлов, показывает, что с точки зрения стеганографических приложений представляют особый интерес квантованные коэффициенты частотной области мультимедийных файлов, то есть результаты, полученные после этапа квантования алгоритма сжатия мультимедийного файла.

Конвейер операций модифицированной версии кодера стандартов сжатия мультимедийных файлов отличается от конвейера операций кодера стандартов сжатия мультимедийных файлов наличием еще одного дополнительного этапа, выполняемого после окончания этапа квантования, перед началом этапа энтропийного кодирования. Назначение указанного дополнительного этапа заключается в реализации внедрения элементов сообщения, подлежащего скрытию, в квантованные коэффициенты частотной области мультимедийного сигнала, выбранные в соответствии с номерами, выработанными блоком АВ. Внедрение заключается в предварительно определенном изменении выбранных квантованных сигналов в зависимости от значения внедряемого элемента сообщения. При этом по значениям измененных квантованных сигналов можно однозначно восстановить значение внедренного элемента сообщения. Этот момент очень важен для обеспечения процедуры извлечения сообщения законным получателем, при наличии у последнего соответствующего ключа для генерации номеров элементов стеганограммы, в которые встроены элементы скрываемого сообщения.

Таким образом, внедрение сообщения m (представленного в виде двоичной конечной последовательности длины ℓ) в стеганографический контейнер из n пикселей (в случае изображений или видеосигналов) или n сэмплов (в случае аудиосигналов) после выполнения квантования стандартным алгоритмом сжатия цифрового мультимедийного сигнала осуществляется в соответствии с правилом, суть которого заключается в изменении квантованных коэффициентов (являющихся целыми числами)

$$g_1, g_2, \dots, g_n$$

и получении новых квантованных коэффициентов

$$\widetilde{g}_1, \widetilde{g}_2, \dots, \widetilde{g}_n,$$

являющихся целыми числами, такими, что для некоторой функции H_k от n переменных (заранее выбранной из множества функций $\{H_k \mid k \in K\}$, являющегося структурной компонентой стеганографического алгоритма с множе-

ством ключей K)

$$H_k: \underbrace{Z \times Z \times \ldots \times Z}_{n \quad раз} \to \underbrace{\{0;1\} \times \{0;1\} \times \ldots \times \{0;1\}}_{\ell \quad раз}$$

справедливо соотношение $H_k(\tilde{g}_1, \tilde{g}_2, \ldots, \tilde{g}_n)=m$, где Z – множество целых чисел;

$\times$ – знак декартового произведения множеств.

Выбор конкретного значения параметра n и множества функций $\{H_k \mid k \in K\}$ обусловлен, прежде всего, следующим:

– во-первых, размерами контейнера и необходимостью минимизации искажений цифрового мультимедийного сигнала, вносимых вложенным в контейнер сообщением; чем больше n, тем больше возможностей выбора элементов контейнера, вынужденные изменения которых искажают сигнал в заранее определенных пределах;

– во-вторых, необходимостью повышения уровня рассеивания информации по элементам контейнера;

– в-третьих, необходимостью повысить уровень перемешивания скрываемой информации.

Как правило, изменения (при необходимости) квантованных коэффициентов при внедрении в контейнер сообщения, подлежащего скрытию, осуществляются путем прибавления или вычитания из них числа 1 в сторону, противоположную тому, что было сделано стандартом сжатия при округлении после квантования (± 1 embedding [15]).

Квантованные сигналы мультимедийного файла, не использованные для внедрения сообщения, проходят этап внедрения сообщения без изменений («транзитом»). Результаты выполнения этапа внедрения сообщения далее обрабатываются в соответствии со стандартным этапом алгоритма энтропийным кодированием (например, в JPEG и MP3 кодируются по Хаффману).

На вход блока C′ (*рисунок 2*) поступают две последовательности:

– стеганограмма;

– выходная последовательность блока AB.

Результатом работы блока C′, то есть выходом блока C′, является сообщение (информация), извлеченное из стеганограммы.

Блок C′ – это программная или аппаратная реализация специальной модифицированной версии декодера стандарта сжатия мультимедийных сигналов.

Конвейер операций модифицированной версии декодера стандарта сжатия мультимедийных сигналов отличается от конвейера операций декодера стандарта сжатия мультимедийных сигналов наличием еще одного дополнительного этапа, выполняемого после окончания этапа энтропийного декодирования, перед началом этапа деквантования. Назначение указанного дополнительного этапа заключается в реализации процедуры извлечения элементов сообщения, скрытого в стеганограмме, из элементов заполненного контейнера, выбранных в соответствии с номерами, выработанными блоком AB. Извлечение сообщения m из стеганограммы осуществляется путем выбора по ключу $k \in K$ функции H_k и вычисления значения m функции H_k на наборе целых чисел $\tilde{g}_1, \tilde{g}_2, \ldots, \tilde{g}_n$:

$$m = H_k(\tilde{g}_1, \tilde{g}_2, \ldots, \tilde{g}_n).$$

Дополнительно к выше изложенному правилу внедрения сообщения в стеганографический контейнер будем полагать выполненным еще следующее:

- для внедрения в контейнер одного элемента $m_s \in \{0; 1\}$ (где $s \in \{1, 2, \ldots, \ell\}$) двоичного сообщения $m = (m_1, m_2, \ldots, m_\ell)$ используется τ элементов контейнера и, следовательно, для скрытия всего сообщения m используется $\tau\ell$ элементов контейнера;
- элементы множества функций $\{H_k \mid k \in K\}$, являющегося структурной компонентой стеганографического алгоритма с пространством ключей K, устроены таким образом, что для любого $k \in K$ существует набор функций $\{H_{kj} \mid j \in N\}\}$, такой, что

$$H_{kj}: \underbrace{Z \times Z \times \ldots \times Z}_{\tau \quad раз} \to \{0; 1\}$$

для любого числа $j \in N$ и справедливы равенства

$m = H_k(\tilde{g}_1, \tilde{g}_2, \ldots, \tilde{g}_n) = (H_{k1}(\tilde{g}_{i_1}, \tilde{g}_{i_2}, \ldots, \tilde{g}_{i_\tau}), H_{k2}(\tilde{g}_{i_{\tau+1}}, \tilde{g}_{i_{\tau+2}}, \ldots, \tilde{g}_{i_{2\tau}}), \ldots,$
$H_{k\ell}(\tilde{g}_{i_{(\ell-1)\tau+1}}, \tilde{g}_{i_{(\ell-1)\tau+2}}, \ldots, \tilde{g}_{i_{\ell\tau}}))$;
где $H_{k1}(\tilde{g}_{i_1}, \tilde{g}_{i_2}, \ldots, \tilde{g}_{i_\tau}) = m_1$;
$H_{k2}(\tilde{g}_{i_{\tau+1}}, \tilde{g}_{i_{\tau+2}}, \ldots, \tilde{g}_{i_{2\tau}}) = m_2$;
$\ldots$,
$H_{k\ell}(\tilde{g}_{i_{(\ell-1)\tau+1}}, \tilde{g}_{i_{(\ell-1)\tau+2}}, \ldots, \tilde{g}_{i_{\ell\tau}}) = m_\ell$;
$(\tilde{g}_{i_1}, \tilde{g}_{i_2}, \ldots, \tilde{g}_{i_n})$ – некоторая перестановка множества элементов $(\tilde{g}_1, \tilde{g}_2, \ldots, \tilde{g}_n)$;
$(i_1, i_2, \ldots, i_n)$ – перестановка множества чисел $(1, 2, \ldots, n)$, зависящая от выбранного ключа $k \in K$; для любого $k \in K$;

- для любого $k \in K$ и для любого $j \in N$ существует булевская функция $f_{kj}(x_1, x_2, \ldots, x_\tau)$ от τ переменных $x_1, x_2, \ldots, x_\tau$, такая, что для любых целых чисел $a_1, a_2, \ldots, a_\tau$ справедливо равенство

$$H_{kj}(a_1, a_2, \ldots, a_\tau) = f_{kj}(b_1, b_2, \ldots, b_\tau),$$

где $b_r = \begin{cases} 0, & \text{если } a_r - \text{четное число}, \\ 1, & \text{если } a_r - \text{нечетное число}; \end{cases}$

$r \in \{1, 2, \ldots, \tau\}$.

Таким образом, представленный стеганографический алгоритм полностью определяется заданием своего набора булевских функций f_{kj}, который назовем набором *булевских функций внедрения-извлечения* информации.

Очевидно, что при выполнении указанных выше дополнительных условий число изменений, внесенных в контейнер в процессе внедрения в него сообщения m, равно арифметической сумме чисел изменений, внесенных в контейнер при внедрении каждого бита данного сообщения. Если, например, положить, как в [7], что для любого $k\in K$ и для любого $j\in N$

$$H_{kj}(a_1, a_2, \dots, a_\tau) = \begin{cases} 0, \text{ если } \sum_{r=1}^{\tau} a_r - \text{четное число}, \\ 1, \text{ если } \sum_{r=1}^{\tau} a_r - \text{нечетное число}; \end{cases} \quad (1)$$

то для булевской функции $f_{kj}(x_1, x_2, \dots, x_\tau)$ справедливо равенство

$$f_{kj}(x_1, x_2, \dots, x_\tau) = x_1 \oplus x_2 \oplus \dots \oplus x_\tau, \quad (2)$$

где $\oplus$ – знак операции сложения по модулю 2.

В этом случае для внедрения в контейнер элемента $m_s\in\{0; 1\}$ (где $s\in\{1, 2, \dots, \ell\}$) сообщения m по ключу генерируются соответствующие номера элементов и выбираются сами элементы $g_{i_{(s-1)\tau+1}}, g_{i_{(s-1)\tau+2}}, \dots, g_{i_{s\tau}}$ контейнера. При этом достаточно изменения не более одного из них (путем прибавления или вычитания единицы в сторону, противоположную направлению операции округления стандартом сжатия при получении этого элемента) для получения элементов $\tilde{g}_{i_{(s-1)\tau+1}}, \tilde{g}_{i_{(s-1)\tau+2}}, \dots, \tilde{g}_{i_{s\tau}}$, таких, что $H_{ks}(\tilde{g}_{i_{(s-1)\tau+1}}, \tilde{g}_{i_{(s-1)\tau+2}}, \dots, \tilde{g}_{i_{s\tau}}) = m_s$.

Очевидно, при внедрении и извлечении элемента m_s можно функцию H_{ks} заменить на булевскую функцию $f_{ks} = x_1 \oplus x_2 \oplus \dots \oplus x_\tau$ используя вместо наборов

$g_{i_{(s-1)\tau+1}}, g_{i_{(s-1)\tau+2}}, \dots, g_{i_{s\tau}}$ и $\tilde{g}_{i_{(s-1)\tau+1}}, \tilde{g}_{i_{(s-1)\tau+2}}, \dots, \tilde{g}_{i_{s\tau}}$

элементов контейнера, соответственно, их наборы битов четности

$b_{i_{(s-1)\tau+1}}, b_{i_{(s-1)\tau+2}}, \dots, b_{i_{s\tau}}$ и $\tilde{b}_{i_{(s-1)\tau+1}}, \tilde{b}_{i_{(s-1)\tau+2}}, \dots, \tilde{b}_{i_{s\tau}}$.

Данное обстоятельство дает возможность вычислить важные с теоретической и практической точек зрения характеристики случайной величины $\xi(m)$, равной минимальному числу, измененных элементов контейнера в результате внедрения в него сообщения m. В данной статье, так же как и в [4], предполагается, что всегда при необходимости переход от набора

$g_{i_{(s-1)\tau+1}}, g_{i_{(s-1)\tau+2}}, \dots, g_{i_{s\tau}}$ к требуемому набору $\tilde{g}_{i_{(s-1)\tau+1}}, \tilde{g}_{i_{(s-1)\tau+2}}, \dots, \tilde{g}_{i_{s\tau}}$ осуществляется по принципу минимума числа изменений в наборе $g_{i_{(s-1)\tau+1}}, g_{i_{(s-1)\tau+2}}, \dots, g_{i_{s\tau}}$. Поэтому для краткости слово минимальное в определении случайной величины $\xi(m)$) опускается, то есть $\xi(m)$ – случайная величина, равная числу измененных элементов контейнера при внедрении в него сообщения m.

Предположим, что биты четности элементов пустого контейнера могут быть представлены как результат работы источника, который генерирует 0 и 1 потактно по схеме независимых испытаний с одной и той же вероятностью 0,5. А сообщение m – результат работы двоичного источника без памяти, который генерирует 0 и 1 потактно по схеме независимых испытаний соответственно с вероятностями p и q, где $p\geqslant 0$, $q\geqslant 0$, $p+q=1$.

Тогда для математического ожидания $E(\xi(m))$ случайной величины $\xi(m)$ справедливо равенство

$$E(\xi(m)) = 0{,}5\,\ell\,. \quad (3)$$

Таким образом, при внедрении в контейнер одного бита сообщения, подлежащего скрытию, допускается в среднем 0,5 изменений.

Изменения контейнера при внедрении в него сообщения, подлежащего стеганографической защите, методом ± 1 embedding [15] приводят к увеличению деградации мультимедийного сигнала, полученного в результате декомпрессии заполненного контейнера (стеганограммы) по сравнению с мультимедийным сигналом, полученным из пустого контейнера, что может быть использовано для несанкционированного доступа к защищаемому сообщению. Поэтому важно минимизировать количество измененных элементов контейнера при внедрении в него сообщения.

Из (3) следует, что если для любого $k\in K$ и для любого $j\in N$ булевская функция f_{kj} задается равенством (2), то значение математического ожидания $E(\xi(m))$ случайной величины $\xi(m)$ не зависит от значений чисел p и q, то есть не зависит от вероятностных параметров источника сообщений, подлежащих скрытию. Однако имеет смысл рассмотреть возможность уменьшения значения $E(\xi(m))$ путем учета значений вероятностных параметров p и q источника сообщений при выборе булевских функций f_{kj}, $k\in K$, $j\in N$.

Для упрощения записи далее всюду, где речь идет о внедрении сообщения m из одного бита, индексы булевской функции f_{kj} будем опускать и писать просто f и положим $\tau=n$. При фиксированной функции внедрения-извлечения $f\in F_2^n$ (где F_2^n – множество всех двоичных функций от n переменных) случайную величину $\xi(m)$ будем обозначать $\xi_f(m)$, подчеркивая тем самым ее связь с функцией f.

Обозначим через V_2^n – множество двоичных векторов с n координатами ($n \in N$), то есть

$$V_2^n = \{(\alpha_1, \dots, \alpha_n) \mid \alpha_i \in \{0; 1\}, i = \overline{1,n}\}. \quad (4)$$

Так же как и в [4] положим

$$A_f = \{v \in V_2^n \mid f(v)=1\} \text{ и } B_f = \{v \in V_2^n \mid f(v)=0\}. \quad (5)$$

Множества A_f и B_f содержат соответственно системы подмножеств $\{A_{1f}, \dots, A_{nf}\}$ и $\{B_{1f}, \dots, B_{nf}\}$, такие, что:

1) при $i \neq j$ справедливы равенства $A_{if} \cap A_{jf} = \varnothing$ и $B_{if} \cap B_{jf} = \varnothing$;

2) $A_{1f} \cup \dots \cup A_{nf} = A_f$, $B_{1f} \cup \dots \cup B_{nf} = B_f$;

3) для любого $k \in \{1, \dots, n\}$ множество векторов A_{kf}, такое, что если $A_{kf} \neq \varnothing$, то каждый вектор $a^{(k)} \in A_{kf}$ обладает тем свойством, что при инвертировании любых его координат в количестве меньшем, чем k, и неизменности остальных координат получается вектор, принадлежащий множеству A_f; но существует набор ровно из k координат вектора $a^{(k)}$, при инвертировании которых и неизменности остальных координат получается вектор, принадлежащий множеству B_f;

4) для любого $k \in \{1, \dots, n\}$ множество векторов B_{kf}, такое, что если $B_{kf} \neq \varnothing$, то каждый вектор $b^{(k)} \in B_{kf}$ обладает тем свойством, что при инвертировании любых его координат в количестве меньшем, чем k, и неизменности остальных координат получается вектор, принадлежащий множеству B_f; но существует набор ровно из k координат вектора $b^{(k)}$, при инвертировании которых и неизменности остальных координат получается вектор, принадлежащий множеству A_f.

Тогда для математического ожидания $E(\xi_f(m))$ случайной величины $\xi_f(m)$, равной числу изменяемых элементов контейнера при внедрении в n элементов контейнера с использованием двоичной функции внедрения-извлечения f сообщения m из одного бита, сгенерированного источником сообщений с параметрами p и q, верна цепочка равенств

$$E(\xi_f(m)) = \sum_{i=0}^{n} i \cdot P(\xi_f(m)=i) = \frac{p}{2^n} \sum_{i=1}^{n} i \cdot y_{if} + \frac{q}{2^n} \sum_{i=1}^{n} i \cdot z_{if}, \quad (6)$$

где

$$y_{if} = |A_{if}|, z_{if} = |B_{if}|, i = \overline{1,n}. \quad (7)$$

Определение 1. Стеганографический алгоритм, в котором процедура внедрения сообщений в контейнер осуществляется с учетом вероятностно-статистических характеристик источника сообщений, назовем **энтропийным стеганографическим алгоритмом.**

Стеганографическую систему, построенную на основе энтропийных стеганографических алгоритмов назовем **энтропийной стеганографической системой**.

Следует отметить имеющуюся здесь определенную аналогию с теорией кодирования, где термин *энтропия* широко используется в разделе кодирования источников сообщений. В этой теории с помощью понятия энтропии источника, отражающего его вероятностно-статистические характеристики, предсказывается наилучшее сжатие информации, то есть, наименьшее в среднем число бит, необходимое для представления кодируемого сообщения, сгенерированного источником. Соответствующие процедуры кодирования называют энтропийными. Примером такого кодирования является кодирование Хаффмана [6].

Определение 2. При фиксированном двоичном источнике без памяти (то есть, при фиксированных значениях параметров p и q) и фиксированном числе $n \in N$ энтропийный стеганографический алгоритм назовем **оптимальным энтропийным стеганографическим алгоритмом,** если при данном алгоритме математическое ожидание числа изменяемых элементов контейнера при внедрении двоичного сообщения m, состоящего из одного бита (сгенерированного источником), в n элементов контейнера, равно

$$\min_{f \in F_2^n} E(\xi_f(m)),$$

где F_2^n – множество всех двоичных функций от n переменных.

Определение 3. Функцию g из множества F_2^n всех двоичных функций от n переменных, для которой справедливо равенство

$$E(\xi_g(m)) = \min_{f \in F_2^n} E(\xi_f(m)),$$

назовем **nq-оптимальной функцией внедрения-извлечения** и обозначим nqoptf.

Отметим, что задача разработки оптимального энтропийного стеганографического алгоритма при фиксированном двоичном источнике без памяти (то есть, при фиксированных значениях параметров p и q) является задачей *комбинаторной оптимизации* [12] в силу конечности множеств F_2^n и V_2^n. Оптимальный энтропийный стеганографический алгоритм внедрения информации в контейнер может быть получен путем перебора всех возможных функций $f \in F_2^n$ и разбиения множества V_2^n на два подмножества A_f и B_f с определением чисел $y_{if} = |A_{if}|$, $z_{if} = |B_{if}|$, $i = \overline{1,n}$, а по ним – величины $E(\xi_f(m))$, с целью выявления такой функции $\text{nqoptf} \in F_2^n$, на которой величина $E(\xi_f(m))$ достигает своего минимального значения, то есть справедливо равенство

$$E(\xi_{\text{nqoptf}}(m)) = \min_{f \in F_2^n} E(\xi_f(m)).$$

Такой перебор функций $f \in F_2^n$ является громоздкой процедурой, применимой лишь для небольших значений параметра n. По этой причине имеет смысл направить усилия на разработку не обязательно оптимальных, но приемлемых с практических позиций энтропийных стеганографических алгоритмов, для которых значения математического ожидания числа измененных элементов контейнера при внедрении двоичного сообщения, состоящего из одного бита m в n элементов контейнера, не превосходят некоторой верхней границы $b \in \mathbf{R}$, где **R** – множество действительных чисел. (Число b будет определено ниже.) Такие, в определенном смысле, «удовлетворительные» алгоритмы будем называть **субоптимальными**. Различные варианты разработанных субоптимальных алгоритмов могут затем детально исследоваться для определения степени их близости к оптимальному алгоритму и выявления лучшего из них по отношению к оптимальному.

Для задания числа b будем требовать выполнения следующих естественных, по нашему мнению, условий:

А) при любых фиксированных значениях параметров p и q источника сообщений и значении натурального числа n **множество субоптимальных энтропийных стеганографических алгоритмов не должно быть пустым**;

Б) должны существовать значения параметров p и q двоичного источника сообщений, при которых граница b достижима.

Выполнение условий А и Б с необходимостью влечет за собой справедливость равенства $b=0{,}5$ [4].

Имеет место утверждение.

Утверждение 1. Для любых $n \in N$ и $q \in \mathbf{R}$ $(0 \leqslant q \leqslant 1)$ справедливо неравенство

$$E(\xi_{\text{nqoптf}}(m)) \leqslant 0{,}5. \qquad (8)$$

Доказательство. Рассмотрим энтропийный стеганографический алгоритм с булевской функцией внедрения-извлечения информации

$$f(x_1, \ldots, x_n) = x_1 \oplus \ \ldots \ \oplus x_n.$$

Для этой функции справедливы равенства:

$$A_{2f} = \ldots = A_{nf} = B_{2f} = \ldots = B_{nf} = \varnothing ,$$

$$A_f = \{v \in \mathrm{V}_2^n \mid f(v)=1\} = \{v \in \mathrm{V}_2^n \mid \|v\| = 1(\mathrm{mod}2)\} = A_{1f},$$

$$B_f = \{v \in \mathrm{V}_2^n \mid f(v)=0\} = \{v \in \mathrm{V}_2^n \mid \|v\| = 0(\mathrm{mod}2)\} = B_{1f},$$

где $\|v\|$ – вес вектора $v \in \mathrm{V}_2^n$.

Отсюда следует, что

$$E(\xi_f(m)) = \sum_{i=0}^{n} i \cdot P(\xi_f(m)=i) = \sum_{i=0}^{1} i \cdot P(\xi_f(m)=i) =$$

$$= P(m=0) \ \ P(v \in A_{1f}) + P(m=1) \ \ P(v \in B_{1f}) = 0{,}5^2 + 0{,}5^2 =$$

$$= 0{,}5.$$

и, очевидно, в этом случае значение величины $E(\xi_f(m))$ не зависит от значений величин n и q. Отсюда и из определения 2 следует справедливость неравенства (8). Утверждение доказано.

Обратим внимание на то, что энтропийный стеганографический алгоритм с булевской функцией внедрения-извлечения информации

$$f(x_1, \ldots, x_n) = x_1 \oplus \ \ldots \ \oplus x_n$$

является субоптимальным при всех возможных значениях величин n и q, то есть вышеизложенное условие А выполнено. Кроме этого, условие Б также выполнено, в чем можно убедиться, положив $q=0{,}5$. В этом случае рассматриваемый энтропийный стеганографический алгоритм является оптимальным.

Теперь сформулируем утверждение, которое характеризует поведение величины $E(\xi_{\text{nqoптf}}(m))$ при изменении числа $n \in N$.

Утверждение 2. Для любых чисел $n \in N$ и $q \in \mathbf{R}$ $(0 \leqslant q \leqslant 1)$ справедливо неравенство

$$E(\xi_{\text{nqoптf}}(m)) \geqslant E(\xi_{\ (n+1)\ \text{nqoптf}}(m)). \qquad (9)$$

Значение данного утверждения обусловлено непосредственно вытекающим из него следствием.

Следствие. Для любых чисел n, r$\in$**N** и $q \in \mathbf{R}$, таких, что $n<r$ и $0 \leqslant q \leqslant 1$, справедливо неравенство

$$E(\xi_{\text{nqoптf}}(m)) \geqslant E(\xi_{\ \text{rqoптf}}(m)). \qquad (10)$$

Смысл этого следствия заключается в том, что при фиксированных вероятностно-статистических параметрах q и $p=1-q$ двоичного источника сообщений для оптимальных энтропийных стеганографических алгоритмов среднее число измененных элементов контейнера при внедрении одного бита сообщения не увеличивается с увеличением числа элементов контейнера, задействованных для его внедрения. Это свойство, присущее оптимальным стеганографическим алгоритмам. Оно отражает принципиальное качественное преимущество семейства оптимальных стеганографических алгоритмов. Не каждый субоптимальный алгоритм обладает этим свойством.

Далее изложим доказательство утверждения 2 и следствия из него.

Доказательство утверждения 2. Пусть $n \in N$. Рассмотрим оптимальный энтропийный стеганографический алгоритм с двоичной функцией внедрения-извлечения информации

$$f(x_1, \ldots, x_n) = \text{nqoптf}(x_1, \ldots, x_n)$$

и оптимальный энтропийный стеганографический алгоритм с двоичной функцией внедрения-извлечения информации
$h(x_1, \dots, x_n, x_{n+1}) = (n+1)\text{qoптf}(x_1, \dots, x_n, x_{n+1})$. Так как для любой функции $g(x_1, \dots, x_n, x_{n+1}) \in F_2^{n+1}$ справедливо неравенство

$$E(\xi_g(m)) \geqslant E(\xi_h(m)), \qquad (11)$$

то для доказательства утверждения достаточно доказать существование энтропийного стеганографического алгоритма с двоичной функцией внедрения-извлечения $G(x_1, \dots, x_n, x_{n+1}) \in F_2^{n+1}$, такой, что выполняется равенство

$$E(\xi_G(m)) = E(\xi_f(m)). \qquad (12)$$

Действительно, если такой энтропийный стеганографический алгоритм существует, то неравенство (11) выполняется при $g=G \in F_2^{n+1}$, то есть

$$E(\xi_G(m)) \geqslant E(\xi_h(m)).$$

Отсюда и из равенства (12) следует справедливость неравенства (9), что и является доказательством справедливости утверждения 2.

Таким образом, доказательство утверждения 2 свелось к построению двоичной функции внедрения-извлечения информации
$G(x_1, \dots, x_n, x_{n+1}) \in F_2^{n+1}$ и доказательству справедливости равенства (12).

Определим функцию $G(x_1, \dots, x_n, x_{n+1})$, положив

$$G(x_1, \dots, x_n, x_{n+1}) = f(x_1, \dots, x_n)$$

для любого двоичного вектора $(x_1, \dots, x_n, x_{n+1})$ из пространства V_2^{n+1}. Тогда переменная x_{n+1} является несущественной переменной функции
$G(x_1, \dots, x_n, x_{n+1})$, и поэтому верны следующие равенства:

$$A_G=\{(x_1, \dots, x_n, 0), (x_1, \dots, x_n, 1) \mid (x_1, \dots, x_n) \in A_f\},$$

$$B_G=\{(x_1, \dots, x_n, 0), (x_1, \dots, x_n, 1) \mid (x_1, \dots, x_n) \in B_f\},$$

$$A_{iG}=\{(x_1, \dots, x_n, 0), (x_1, \dots, x_n, 1) \mid (x_1, \dots, x_n) \in A_{if}\},$$

$$B_{iG}=\{(x_1, \dots, x_n, 0), (x_1, \dots, x_n, 1) \mid (x_1, \dots, x_n) \in B_{if}\},$$

$$A_{(n+1)G} = B_{(n+1)G} = \varnothing$$

где $i \in \{1, 2, \dots, n\}$, множества A_f и B_f определены равенствами (5); множества
$A_{1f}, \dots, A_{nf}, B_{1f}, \dots, B_{nf}\}$ определены условиями 1, 2, 3 и 4, изложенными ранее;
$A_G=\{v \in V_2^{n+1} \mid G(v)=1\}$, $B_G=\{v \in V_2^{n+1} \mid G(v)=0\}$, системы подмножеств
$\{A_{1G}, \dots, A_{(n+1)G}\}$ и $\{B_{1G}, \dots, B_{(n+1)G}\}$ множества V_2^{n+1} такие, что:

- при $k \neq j$ справедливы равенства $A_{kG} \cap A_{jG} = \varnothing$ и $B_{kG} \cap B_{jG} = \varnothing$;
- $A_{1G} \cup \dots \cup A_{(n+1)G} = A_G$, $B_{1G} \cup \dots \cup B_{(n+1)G} = B_G$;
- для любого $k \in \{1, \dots, n+1\}$ множество векторов A_{kG} такое, что если $A_{kG} \neq \varnothing$, то каждый вектор $a^{(k)} \in A_{kG}$ обладает тем свойством, что при инвертировании любых его координат в количестве меньшем, чем k, и неизменности остальных координат получается вектор, принадлежащий множеству A_G; но существует набор ровно из k координат вектора $a^{(k)}$, при инвертировании которых и неизменности остальных координат получается вектор, принадлежащий множеству B_G;
- для любого $k \in \{1, \dots, n+1\}$ множество векторов B_{kG} такое, что если $B_{kG} \neq \varnothing$, то каждый вектор $b^{(k)} \in B_{kG}$ обладает тем свойством, что при инвертировании любых его координат в количестве меньшем, чем k, и неизменности остальных координат получается вектор, принадлежащий множеству B_G; но существует набор ровно из k координат вектора $b^{(k)}$, при инвертировании которых и неизменности остальных координат получается вектор, принадлежащий множеству A_G.

Отсюда следует, что для мощностей множеств $A_{1G}, \dots, A_{(n+1)G}, B_{1G}, \dots, B_{(n+1)G}$ имеют место равенства:

$$|A_{iG}| = 2y_{if},\ |B_{iG}| = 2z_{if},\ i = \overline{1,n};\ |A_{(n+1)G}| = |B_{(n+1)G}| = 0,$$

где $y_{if} = |A_{if}|$, $z_{if} = |B_{if}|$, $i = \overline{1,n}$.

Тогда для математического ожидания $E(\xi_G(m))$ случайной величины $\xi_G(m)$, равной числу измененных элементов контейнера при внедрении в $n+1$ элемент контейнера сообщения m из одного бита, сгенерированного источником сообщений с параметрами p и q, верна цепочка равенств

$$E(\xi_G(m)) = \sum_{i=0}^{n+1} i \cdot P(\xi_G(m)=i) =$$

$$= \frac{p}{2^{n+1}} \sum_{i=1}^{n} i \cdot 2y_{if} + \frac{q}{2^{n+1}} \sum_{i=1}^{n} i \cdot 2z_{if} =$$

$$= \frac{p}{2^{n}} \sum_{i=1}^{n} i \cdot y_{if} + \frac{q}{2^{n}} \sum_{i=1}^{n} i \cdot z_{if}.$$

Отсюда и из равенства (6) следует справедливость равенства (12), и тем самым утверждение 2. доказано полностью.

Доказательство следствия. Для чисел $n, r \in \mathbf{N}$ и $q \in \mathbf{R}$, таких, что $n<r$, очевидно, имеет место цепочка неравенств:

$$n<n+1<n+2< \dots < r.$$

Применив утверждение 2 к каждой последовательной паре чисел из данной цепочки неравенств, убеждаемся в справедливости следующей цепочки неравенств

$$E(\xi_{nqoптf}(m)) \geqslant E(\xi_{(n+1)qoптf}(m)) \geqslant$$

$$\geqslant E(\xi_{(n+2)qoптf}(m)) \geqslant \dots \geqslant E(\xi_{rqoптf}(m)),$$

что, очевидным образом, влечет справедливость следствия из утверждения 2.

Результаты, представленные в данной статье, могут быть использованы при разработке стега-

нографических систем для защиты сообщений, сжатые образы которых обладают низким уровнем робастности. Возможным выходом в этом случае может служить их внедрение в контейнер без предварительного сжатия.

В завершение данной работы заметим, что в статье [4] в доказательстве утверждения 2 имеется неточность при обосновании того, что функция

$$y(t) = \frac{t+1}{2^t+1}$$

является убывающей при $t \geqslant 3$. В связи с этим представим исправленный вариант этого обоснования. Производная

$$y'(t) = \frac{1\cdot(2^t+1)-(t+1)\cdot 2^t \ln 2}{(2^t+1)^2}$$

функции y(t) существует всюду на множестве действительных чисел **R** и, в частности, отрицательна при $t > 2\log_2 e - 1$. Следовательно, функция y(t) является убывающей функцией при $t > 2\log_2 e - 1$. Так как $3 > 2\log_2 e - 1$, то функция y(t) является убывающей и при $t \geqslant 3$.

Литература

1. Алиев Ф.К. О сходимости матриц переходных вероятностей автоматов, определяющих преобразования скользящей перестановки // В сб.: Третья Всероссийская школа-коллоквиум по стохастическим методам. Тезисы докладов. М.: ТВП, 1996. С. 13.

2. Алиев Ф.К. О реализуемости вероятностных автоматов, определяющих преобразования скользящей перестановки, автоматами Мили со случайным входом // Третья Всероссийская школа-коллоквиум по стохастическим методам. Тезисы докладов. М.: ТВП, 1996. С. 14.

3. Алиев Ф.К., Зайцева А.В., Киселенко В.А., Сенцов А. Г. О возможности генерации подстановок с использованием генераторов скользящих перестановок // 13-й Всероссийский симпозиум по прикладной и промышленной математике (летняя сессия). Петрозаводск, 2012. С. 421.

4. Алиев Ф.К., Зайцева А.В., Костенюк И.В., Сенцов А.Г., Шеремет И.А. Оптимальный и субоптимальный энтропийные стеганографические алгоритмы защиты сообщений, сгенерированных двоичным источником без памяти // Известия Института инженерной физики, 2013. №4(30). С. 2-9.

5. Бабаш А.В., Шанкин Г.П. Криптография. М.: СОЛОН-Р, 2002. 512 с.

6. Вернер М. Основы кодирования. М.: ТЕХНОСФЕРА, 2006. 288 с.

7. Грибунин В.Г., Оков И.Н., Туринцев И.В. Цифровая стеганография. М.: «Солон-Пресс», 2002. 265 с.

8. Киселенко В.А. Об одном способе встраивания информации в стеганосистему. Обозрение прикладной и промышленной математики. 2005. Т. 12.В. 4. С. 984-985.

9. Киселенко В.А. О периодических свойствах преобразований скользящей перестановки в связи со стеганографическими приложениями. Обозрение прикладной и промышленной математики. 2005. Т. 12. В. 4. С. 985-986.

10. Киселенко В.А. Об использовании фильтрующих генераторов для гарантирования периодов последовательностей встраивания информации в стеганографические контейнеры. Обозрение прикладной и промышленной математики. 2006. Т. 13. В. 5, С. 863-864.

11. Конахович Г.Ф., Пузыренко А.Ю. Компьютерная стеганография. К.: «МК-ПРЕСС», 2006. 288 с.

12. Пападимитриу Х., Стайглиц К. Комбинаторная оптимизация. Алгоритмы и сложность. М.: Мир, 1985. 512 с

13. Фомичев В.М. Дискретная математика и криптология. М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2003. 400 с.

14. Шнаер Б. Прикладная криптография. М.: ТРИУМФ, 2003. 816 с.

15. Fridrich J. Steganography in Digital Media. Cambridge University Press 2010. 437 p.

УДК 519.81

СИНТЕЗ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОЙ СТРУКТУРЫ ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ СЕТИ С МАРШРУТИЗАТОРАМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ САПР

Александр Павлович Галкин
доктор технических наук, профессор
профессор кафедры радиотехники и радиосистем
Владимирский государственный университет
Адрес: 600000, г. Владимир, ул. Горького, д. 87
Тел.: +7(4922)47-97-95, +7(905)145-98-98
E-mail: galkin@vlsu.ru

Максим Сергеевич Ковалёв
научный сотрудник
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210 Московская обл., г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)35-31-93

Ахмед Бадван (Иордания)
аспирант кафедры радиотехники и радиосистем

Махран Мохаммад Али Альджарадат (Палестина)
аспирант кафедры радиотехники и радиосистем

Ислам Дарахма (Палестина)
аспирант кафедры радиотехники и радиосистем

Мохаммад Махмуд Амро (Иордания)
аспирант кафедры радиотехники и радиосистем
Владимирский государственный университет
Адрес: 600000, г. Владимир, ул. Горького, д. 87
Тел.: +7(4967)35-31-93

Рассматривается синтез структур с маршрутизаторами в информационных сетях. Предложены структуры для построения маршрутизаторов с защитой информации.

Discusses minimizing routers in information networks. Algorithms to build routers for safe information.

Ключевые слова: защита информации в сетях, маршрутизаторы, синтез маршрутизаторов.

Keywords: safe information in the networks, routers, synthesis of the routers.

Для защиты сети от несанкционированного доступа [1-3] создается подсистема, позволяющая решать следующие задачи.

❑ Распределение маршрутизатора. Устройство локализует маршрутизаторы в узлах графа пересечения канала для общей топологической структуры системного уровня. Ребра различных ядер формируют ребра графа пересечения канала. Пересечение двух ребер в углах ядер обозначает вершины в графе.

❑ Ядро к преобразованию маршрутизатора: Как следующий шаг, устройство соединяет каждое ядро с одним из маршрутизаторов на его четырех ребрах. Для этого имеется оптимальный алгоритм для ядра в стадии преобразования маршрутизатора.

❑ Генерирование маршрута и синтез топологии. Затем устройство генерирует маршруты для каждого из путей. Объединение маршрутов для всех путей завершает формирование полной топологии сети. Представлен алгоритм приближения, который маршрутизирует пути и синтезирует топологию таким образом, чтобы расход энергии был минимален, и чтобы необходимое число маршрутизаторов было бы максимум в 2 раза больше, чем в оптимальном решении [4].

❑ Слияние маршрутизатора. Предпоследний шаг в стадии синтеза соединяет близко находящиеся маршрутизаторы в один маршрутизатор, при условии, что ограничения длины канала передачи данных не нарушены.

❑ Анализ зависания. Заключительный этап в потоке синтеза анализирует произведенную топологию на потенциальные зависания. Поскольку маршруты различных путей определены в стадии проектирования, можно обнару-

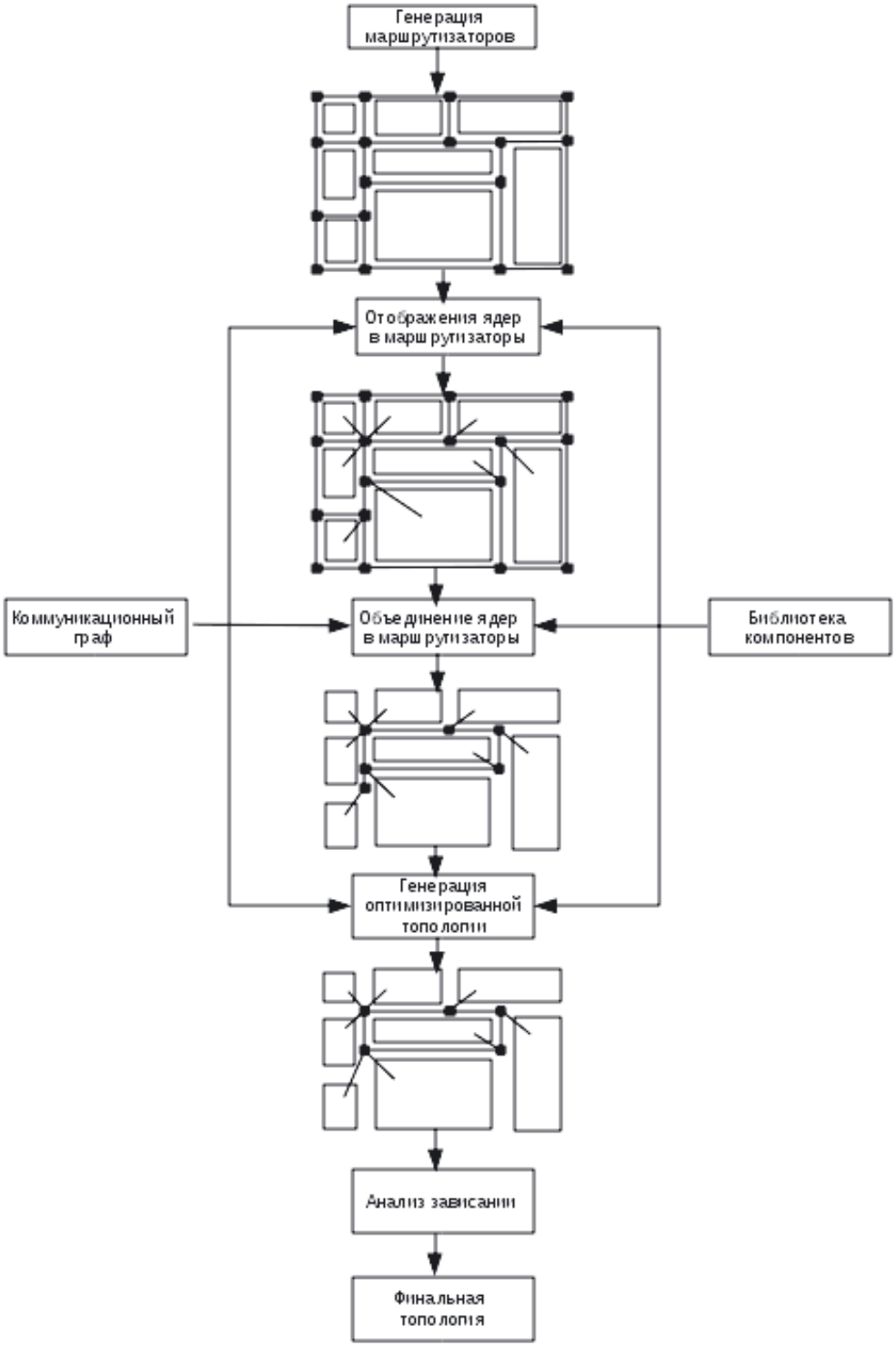

Генерация маршрутизаторов
Отображения ядер в маршрутизаторы
Коммуникационный граф
Объединение ядер в маршрутизаторы
Библиотека компонентов
Генерация оптимизированной топологии
Анализ зависаний
Финальная топология

Рис. 1

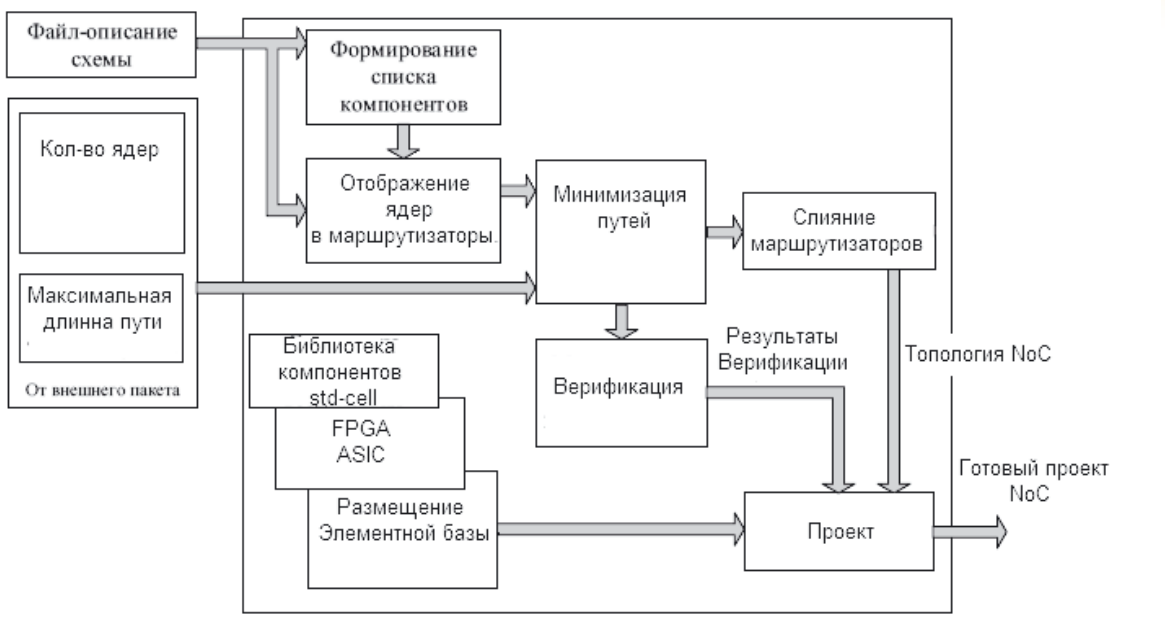


Рис. 2

жить и уменьшить потенциальные зависания в синтезируемой структуре.

На *рисунке 1* схематично показано проектирование специализированного приложения.

В качестве среды программирования для реализации подсистемы проектирования была выбрана система инженерных и научных вычислений MATLAB. А так же использовался язык программирования C++.

Определяющими при выборе MATLAB были:

- ❑ динамический обмен данными между различными приложениями на основе DDE интерфейса;
- ❑ встроенная реализация матричных и арифметико-логических операций над объектами произвольной размерности;
- ❑ использование объектно-ориентированного подхода;
- ❑ трансляция кода среды MATLAB в код языков программирования высокого уровня типа C, C++, FORTRAN;
- ❑ возможность формирования динамически подключаемых библиотек (DLL).

Система MATLAB позволяет решать многие вычислительные задачи, связанные с векторно-матричными формулировками, существенно сокращая время, которое потребовалось бы для программирования на скалярных языках (C, Pascal и т.п.). Кроме того, она предоставляет широкие возможности разработки и реализации профессиональных приложений, обеспечивает гибкую связь с другими программами.

Комплекс программ подсистемы САПР состоит из основной вызываемой программы и ряда дополнительных подпрограмм, которые реализованы в виде М-файлов. Структура любой функции, оформленной как М-файл, включает четыре обязательных раздела:

- ❑ строку определения функции, которая задает имя, количество и порядок следования входных и выходных аргументов;
- ❑ первую строку комментария, которая определяет назначение функции;
- ❑ комментарий, определяющий спецификацию функции;
- ❑ тело функции – программный код, который реализует вычисления и присваивает значения выходным аргументам.

Разработанный программный комплекс представляет собой подсистему САПР, реализованную по агрегатному принципу на основе открытой архитектуры, что позволяет легко осуществлять ее наращивание. Структура комплекса представлена на *рисунке 2*. Выбор данной концепции при создании подсистемы был сделан исходя из критерия универсальности и легкости модификации и дополнения комплекса каждым конечным пользователем при решении своих задач. При эксплуатации подсистемы в комплексном режиме необходимо подключение дополнительных модулей, осуществляющих импорт данных из файла отчета внешнего пакета схемотехнического моделирования. Данное обстоятельство объясняется тем фактом, что все

пакеты, присутствующие на рынке САПР в настоящее время, имеют закрытую архитектуру, что делает невозможным доступ пользователя к внутренним массивам данных этих систем.

Базовая программа является основной в иерархии программных модулей комплекса. Она реализует пользовательский интерфейс в защищаемой сети, а также управление работой комплекса, позволяет управлять следующими функциями:

- ❑ работа с проектом;
- ❑ генерация топологии защищаемой сети;
- ❑ поиск неисправности или несанкционированного проникновения в сеть [1, 2];
- ❑ экспорт в САПР.

Литература

1. Галкин А.П , Тахаан Осама. Угрозы информационной безопасности и защита от них для телекоммуникационных сетей радиосистем// Проектирование и технология электронных средств, 2010. №2 . С. 28-31.

2. http://catalog.onliner.by/zyxel/zynbg334w_ee/

3. http://nsk.terminal.ru/electronics/catalog/marshrutizatory/

4. Галкин А.П., Али Альджарадат М.М., Бадван А., Дарахма И., Ярёмченко С.В. Минимизация маршрутизаторов при обеспечении информационной защиты в сетях // Известия Института инженерной физики, 2013. №1(27). С. 2-4.

5. Галкин А.П., Ковалёв М.С., Хамид А.Д.Р., Мохаммед Али О.Х., Амро М.М. Системный уровень проектирования защищенных сетей // Известия Института инженерной физики, 2013. №4(30). С. 10-12.

УДК 621.39:654; 621.865.8

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИСПЫТАНИЙ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ В РЕЖИМЕ КРАШ–ТЕСТА

Александр Архипович Кобзев
доктор технических наук, профессор
заведующий кафедрой «Мехатроника и электронные системы автомобилей» (МиЭСА)
Владимирский государственный университет
Адрес: 600000, г. Владимир, ул. Горького, д. 87
Тел.: +7(4922)47-98-63
E-mail: kobzev42@mail.ru

Владимир Сергеевич Шмаков
кандидат технических наук
ассистент кафедры МиЭСА
Владимирский государственный университет
Адрес: 600000, г. Владимир, ул. Горького, д. 87
Тел.: +7(4922)47-98-63
E-mail: stoletov5@rambler.ru

Елена Валерьевна Еропова
кандидат технических наук
доцент кафедры МиЭСА
Владимирский государственный университет
Адрес: 600000, г. Владимир, ул. Горького, д. 87
Тел.: +7(4922)47-98-63

Абу Ахмад Махфуз
аспирант кафедры МиЭСА
Владимирский государственный университет
Адрес: 600000, г. Владимир, ул. Горького, д. 87
Тел.: +7(4922)47-98-63

Рассматривается математическое описание кинематической схемы водителя, как звена с древовидной кинематической структурой и сложной угловой кинематикой с целью применение компьютерного моделирования как средства замещения натурных испытаний транспортных средств. Анализ динамической системы: оператор (механик-водитель) – рабочая зона оператора в транспортном средстве проводится в экстремальных ситуациях с целью моделирования процесса и определения динамических воздействий на оператора.

A mathematical description of the kinematic scheme of the driver, as the c-level tree structure and complex kinematic angular kinematics to use computer simulation as a means of replacing full-scale tests of vehicles. Analysis of dynamic systems: an operator (the mechanic-driver) – the working area of the operator in the vehicle in extreme situations, in order to simulate the process and determine the dynamic effects on the operator.

Ключевые слова: оператор, механик-водитель, рабочая зона, алгоритм, экстренная ситуация, динамические нагрузки.

Keywords: the operator, the mechanic-driver, a working zone, algorithm, an emergency situation, dynamic loadings.

В задачах проектирования новых автомобилей и модернизации существующих необходимы математические модели, отражающие основные свойства автомобиля, как объекта управления, и позволяющие прогнозировать реакцию и поведение со стороны водителя (оператора) на воздействие внешней среды. В связи со стремительным развитием компьютерной техники и программного обеспечения с каждым годом все большее количество исследований и испытаний проводят с помощью моделирования данных процессов, чтобы снизить временные и денежные затраты на производство. В настоящее время анализ взаимодействия механика водителя с элементами его рабочей зоны основан на натурных испытаниях. Эксперимент состоит в соударении транспортного средства и находящимся в нем манекеном оператора с внешней абсолютно жесткой средой и полигонных исследований транспортных средств. Эти испытания дорогостоящие и кроме того продолжительны во времени, так как разбиваются автомобили и деформируются манекены с системой датчиков, велики затраты по времени на подготовку материальной части испытаний.

В этой связи актуальна разработка универсальной математической модели водителя транспортного средства. Такая математическая

модель должна представлять собой адекватную связь параметров водителя автомобиля и рабочего места в конкретном транспортном средстве. Представим водителя как механическую систему из N тел (звеньев), соединенных между собой кинематическими парами пятого класса (с одной степенью свободы). Тогда описание динамики многозвенной системы может быть получено с помощью уравнений Лагранжа 2-го рода.

Однако при описании пространственной модели водителя имеем древовидную кинематическую структуру, что затрудняет использование традиционных методов описание динамики. В данном случае удобно будет воспользоваться блочно-матричным методом записи уравнений кинематики и динамики исполнительных механизмов (ИМ) с древовидной кинематической структурой (КС) [2, 3, 4], который позволяет получить компактную запись выражений сразу для всей КС, удобную для анализа. Направленный граф соответствующий данной КС представлен на *рисунке 1*.

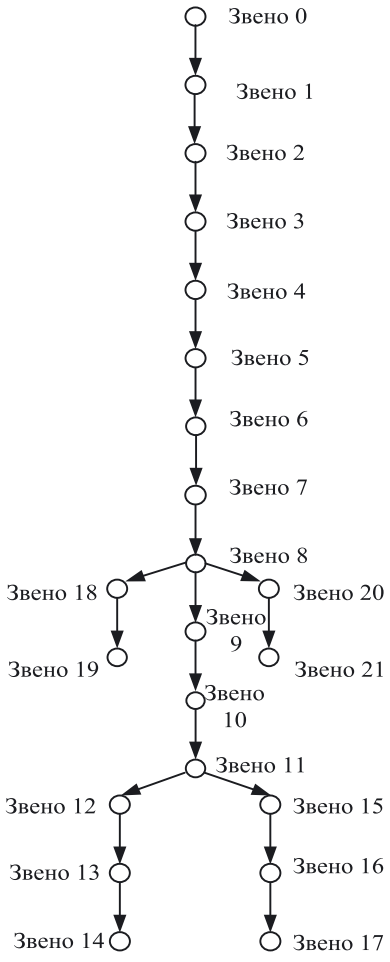


Рис. 1. Направленный граф

Уравнение динамики модели, имеющей древовидную КС имеет вид:

$$A(q)\cdot\ddot{q}+B(q,\dot{q})\cdot\dot{q}+C(q)\cdot{}^{0}\mathrm{f}_{\hat{a}}+D(q)\cdot{}^{0}\mathrm{n}_{\hat{a}}=\tau,$$

где

$$B(q,\dot{q})=\sigma\cdot({}^{0}z^{d})\cdot\{-(\Lambda({}^{0}\mathrm{c}_{fD}))^{T}\cdot m^{d}\cdot$$
$$[\Lambda^{T}({}^{0}\mathrm{c}_{fD})\cdot\Lambda^{T}({}^{0}z^{d}\cdot\sigma\cdot\dot{q}^{d})\cdot(D-E)+$$
$$+\Lambda^{T}(\Lambda^{T}({}^{0}\mathrm{c}_{fD})\cdot\sigma\cdot\dot{q}^{d}\cdot{}^{0}z^{d}\cdot D+\Lambda^{T}({}^{0}\mathrm{c}_{fD})$$
$$\cdot((D-E)\cdot\sigma\cdot{}^{0}z^{d}\cdot\dot{q})^{d})+2\cdot D\cdot\Lambda^{T}\cdot$$
$$\cdot({}^{0}z^{d}\cdot(E-\sigma)\cdot\dot{q}^{d}(D-E)]$$
$$+D^{T}\cdot{}^{0}\mathrm{J}_{C}^{d}\cdot D\cdot\sigma\cdot\dot{q}^{d}\cdot\Lambda^{T}({}^{0}z^{d})\cdot(D-E)+$$
$$+D^{T}\cdot\Lambda\cdot(D\cdot{}^{0}z^{d}\cdot\sigma\cdot\dot{q})^{d}\cdot{}^{0}\mathrm{J}_{C}^{d}\cdot D\}\cdot{}^{0}z^{d}\cdot\sigma$$
$$+(E-\sigma)\cdot({}^{0}z^{d})^{T}\cdot D^{T}\cdot m^{d}\cdot[\Lambda^{T}({}^{0}\mathrm{c}_{fD})\cdot$$
$$\cdot\Lambda^{T}\cdot({}^{0}z^{d}\cdot\sigma\cdot\dot{q}^{d})\cdot(D-E)+2\cdot D\cdot\Lambda^{T}({}^{0}z^{d}\cdot(E-\sigma)\cdot\dot{q}^{d})$$
$$\cdot(D-E)+\Lambda^{T}(\Lambda^{T}({}^{0}\mathrm{c}_{fD})\cdot$$
$$\cdot\sigma\cdot\dot{q}^{d}\cdot{}^{0}z^{d}\cdot D$$
$$+\Lambda^{T}({}^{0}\mathrm{c}_{fD})\cdot((D-E)\cdot\sigma\cdot{}^{0}z^{d}\cdot\dot{q})^{d})]\cdot{}^{0}z^{d}\cdot\sigma);$$

$$C(q)=\sigma\cdot({}^{0}z^{d})^{T}\cdot(D^{T}-E)\cdot\Lambda({}^{0}s^{d})\cdot D^{T}$$
$$+(E-\sigma)\cdot({}^{0}z^{d})^{T}\cdot D^{T};$$

$$D(q)=\sigma\cdot({}^{0}z^{d})^{T}\cdot D^{T}.$$

На основе полученных уравнений динамики для дальнейших исследований была составлена компьютерная модель краш-теста [6] ТС (*рисунок 2*). В данной модели человек-оператор представляет собой скелетон с антропометрическими характеристиками человека. В модели также учтены ограничения по всем степеням свободы, согласно физиологии человеческого тела, а также мышечное сопротивление водителя.

Для каждого блока, моделирующего твердое тело, задается масса, координаты центра масс и характерных точек, осевые моменты инерции относительно осей локальных систем координат *Jx, Jy, Jz* и центробежные моменты инерции *Jxy, Jyz, Jxz*, соответствующие тензору инерции тела. Тела между собой связаны шарнирами, ограничивающими их взаимное перемещение. Разработанная математическая модель динамической системы «водитель – транспортное средство – внешняя среда (трасса)» позволяет определять влияние конструктивных параметров и динамических свойств элементов системы на уровень динамического воздействия на рабочем месте водителя.

По результатам моделирования были получены характеристики воздействий на контрольные точки водителя (*рисунок 3*, где 1 – ускорение по координате X, 2 – ускорение по координате

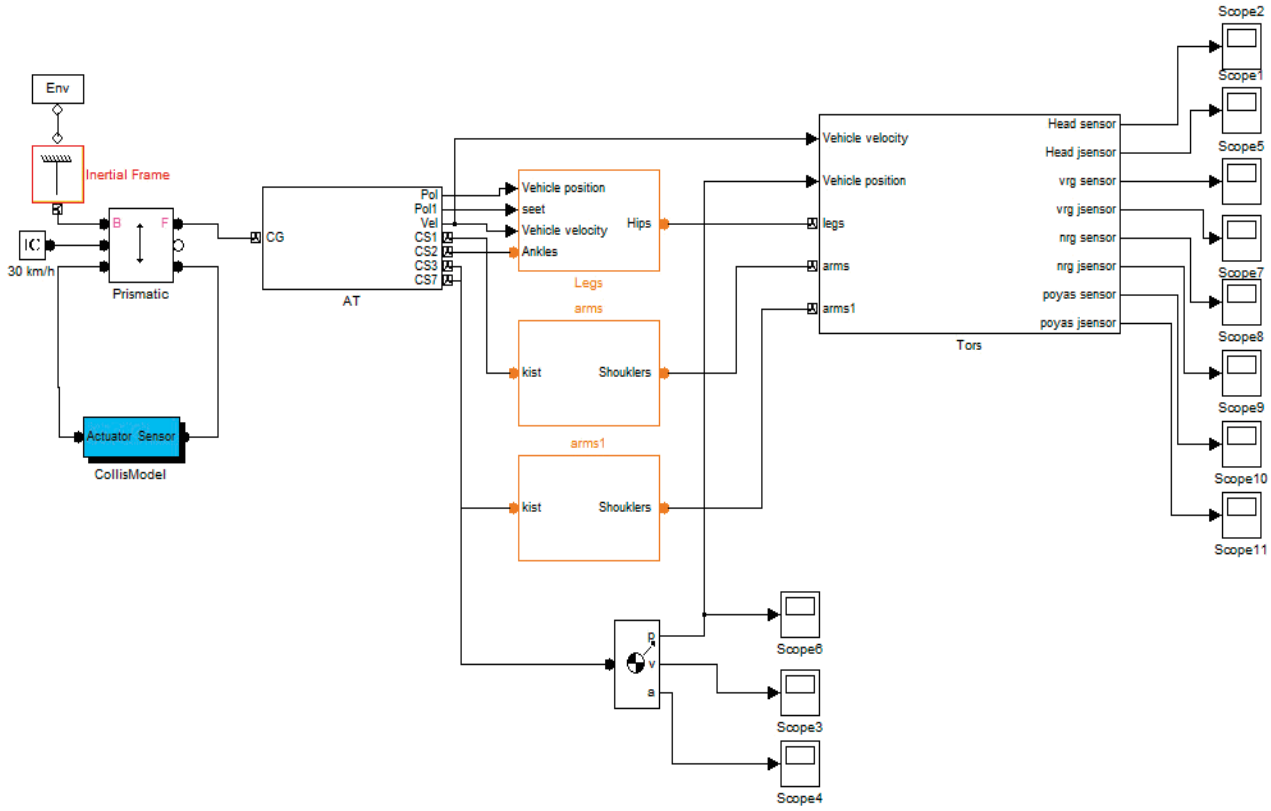


Рис. 2. Компьютерная модель краш-теста ТС

Y), а также составлены итоговые характеристики зависимостей величины реакции в контрольных точках корпуса водителя во времени в зависимости от скоростного режима краш-теста.

Анализ полученных характеристик динамической системы при приложении трех вариантов нагрузок (краш-тест при начальных скоростях ТС 30, 72 и 100 км/ч) показал, что динамические свойства взаимодействия водителя существенно зависят от начальной скорости и массы ТС. Сравнение численных значений параметров переходного процесса с данными эксперимента показало, что расхождение по величине перерегулирования не превышает 15%.

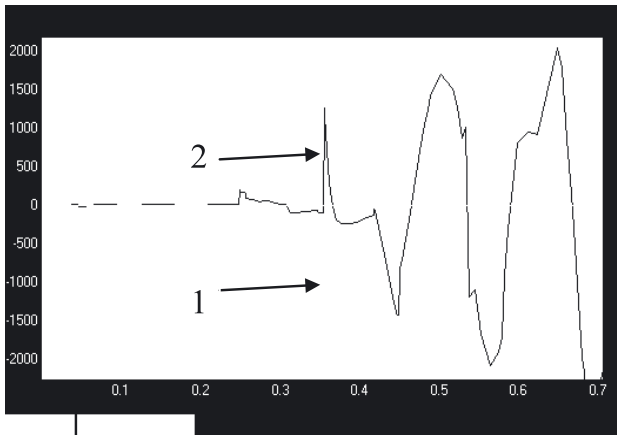


Рис. 3. Ускорение головы водителя при испытаниях на скорости 72 км/ч

Вращательный момент шейного позвонка при реакции на удар возрастает пропорционально скорости удара. Аналогичная зависимость наблюдается в других контрольных точках водителя.

Величины реакции и деформаций в контрольных точках соответствуют антропометрическим данным среднестатистического водителя. Адекватность подтверждается соответствием антропометрических и биомеханических характеристик модели и водителя, а также полученных динамических характеристик при моделировании расчетным. Проведенные исследования подтвердили адекватность математической модели человеко-машинной транспортной системы сложной динамической системы и дают возможность использовать ее для дальнейших исследований и усовершенствования данной модели.

Как видно из графиков даже при относительно небольших скоростях движения, при лобовом столкновении транспортного средства с аб-

солютно жестким препятствием воздействие на механика водителя со стороны транспортного средства, без устройств пассивной безопасности (ремень безопасности, подушки безопасности), превышает допустимые величины, и является весьма травмоопасным, может привести к переломам костей и даже к летальному исходу. При отсутствии устройств пассивной безопасности, максимально безопасные нагрузки на МВ превышены в 5-7 раз.

В данной модели учтены следующие особенности: костно-мышечная двигательная система плечевого пояса, верхних и нижних конечностей представлена в виде трехконтурной системы с переменной структурой. В моделях верхних и нижних конечностей отражен эффект перелома костей. Для этого проведен анализ физиологических особенностей двигательных функций локтевого и плечевого суставов и разработана модель мышечного привода. По существу мышечный привод сустава работает в трех режимах:

1) двигательном;

2) сопротивления внешнему моменту;

3) удержания с постоянным моментом и стабилизацией углового (линейного) положения.

Разработанная математическая модель сложной динамической системы «водитель – транспортное средство – внешняя среда» позволяет на этапе проектирования ТС с помощью методов имитационного моделирования осуществлять оценку динамической нагрузки на рабочем месте водителя (человека-оператора). Кроме того данная модель может использоваться также для определения нагрузок на водителя при движении ТС как гражданского назначения, так и военной техники.

Литература

1. Андронов М.А., Межевич Ф.Е., Немцов Ю.М., Саввушкин Е.С. Безопасность конструкции автомобиля. М.: Машиностроение, 1985. 160 с.

2. Илюхин Ю.В., Подураев Ю.В. Проектирование исполнительных систем роботов. Линеаризованные системы. М.: Изд. МПИ, 1989. 75 с.

3. Беляев В.М., Высоцкий М.С., Гилелес Л.Х. и др.; Под ред. А.И. Гришкевича, М.С. Высоцкого. Автомобили: испытания. Учеб. пособие для вузов. Минск: Выш. шк., 1991. 187 с.

4. Андронов М.А., Межевич Ф.Е., Фридлянов В.Н. Посадочный манекен и его параметры при проектировании автомобилей и испытании их на безопасность. В кн.: Автомобилестроение. Сб. статей. Вып. 2. М.: НИИНавтопром, 1971. С. 25-31.

5. Ковальчук А.К. Математическое описание кинематики и динамики исполнительных механизмов роботов с древовидной кинематической структурой / А.К. Ковальчук, Д.Б. Кулаков, С. Е. Семенов // Известия ВУЗов. Машиностроение, 2008. №11. С. 13-24.

6. Шмаков В.С. Компьютерная модель водителя транспортного средства // Современные проблемы науки и образования, 2011. №4.

УДК 656.02

АНАЛИЗ И ФОРМАЛИЗАЦИЯ ТРАНСПОРТНО-ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДОРОЖНОЙ СЕТИ В ЗАДАЧЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВРЕМЕНИ ДВИЖЕНИЯ АВТОТРАНСПОРТА С УЧЕТОМ ФАКТОРОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Анатолий Васильевич Гуляев
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)35-31-93

В статье рассмотрен подход к определению средней скорости движения в зависимости от категории дорог по технической классификации, основанный на построении геометрической модели маршрута.

The article presents an approach to the definition of average speed as a function of road categories technical classification based on constructing a geometric model of the route.

Ключевые слова: дорожная сеть, транспортно-эксплуатационные характеристики, геометрическая модель маршрута, средняя скорость движения, категория дорог, коэффициент обеспечения расчетной скорости движения, транспортные потоки.

Keywords: road network, transport performance, the geometric model of the route, average speed, road category, provide the estimated coefficient of speed, traffic flows.

Формирование планов рациональной доставки продукции требует учета значительного числа различных факторов, которые оказывают влияние на процесс достижения конечной цели. Решение задачи выбора кратчайшего пути предполагает знание времени преодоления участков дороги (маршрутов движения), что в свою очередь связано с оценкой транспортно-эксплуатационных характеристик дорожной сети. Кроме этого, необходимо принимать во внимание влияние на режим движения транспортных потоков, а также состояние окружающей среды в течение всего периода движения автотранспорта от начального пункта до конечного [1].

При формировании модели определения времени движения одиночного автотранспорта по маршруту движения, будем исходить из того, что маршрут может включать участки дорог различной категории по технической классификации, они могут чередоваться случайным образом и иметь произвольную длину. Целесообразно представить маршрут в виде прямой такой же длины в определенном масштабе, при этом последовательно сформировав суммарный отрезок маршрута из участков дороги первой категории, затем второй и т.д. После нанесения на полученную схему объектов дороги, соблюдая масштаб и привязывая их к границам суммируемых участков, может быть получена функциональная или геометрическая модель маршрута.

Очевидно, что продолжительность движения по заданному маршруту, для которого построена геометрическая модель, может быть найдена на основании следующего соотношения:

$$T_{дв} = \sum_{k=1}^{K} \frac{l_{дв\,k}}{V_{ср\,k}}, \qquad (1)$$

где $l_{двk}$ – суммарная протяженность отрезка дороги k-й категории;

$V_{срk}$ – средняя скорость движения легкового автомобиля на дороге k-й категории;

K – число категорий различных участков, из которых сформирована геометрическая модель маршрута.

Исходя из логики построения геометрической модели величины $l_{двk}$ в выражении (1) находятся как

$$l_{дв\,k} = \sum_{n=1}^{N_k} l_{n\,k}, \qquad (2)$$

где l_{nk} – протяженность n-го участка, из которых составлен отрезок дороги k-й категории в геометрической модели маршрута;
N_k – число участков, из которых составлен отрезок дороги k-й категории в геометрической модели маршрута.

Таким образом, на основании геометрической модели маршрута в соответствии с приведенными выше формулами (1) и (2) может быть определено суммарное время движения автомобиля от начального до конечного пунктов маршрута движения. Следует отметить, что в процессе оптимизации передвижения по времени необходимо проводить расчеты по всем возможным маршрутам движения от начального до конечного пункта.

При формировании модели определения средней скорости движения с учетом дорожных условий, характеристик транспортных потоков и условий окружающей среды необходимо рассмотреть комплекс транспортно-эксплуатационных показателей, характеризующих заданный маршрут движения автотранспорта: 1) обеспеченная скорость; 2) пропускная способность; 3) безопасность; 4) допустимая осевая нагрузка; 5) грузоподъемность автомобилей.

Эксплуатационный коэффициент обеспеченности расчетной скорости представляет собой отношение фактической максимальной скорости одиночного легкового автомобиля на каждом участке $V_{\phi\max}$ обеспечиваемой дорогой по условиям безопасности движения или взаимодействия автомобиля с дорогой на каждом участке, к расчетной скорости движения для данной категории дороги и рельефа местности V_p [2]:

$$K_{p.c.э} = \frac{V_{\phi\max}}{V_p}. \qquad (3)$$

Коэффициент обеспеченности расчетной скорости движения – отношение $V_{\phi\max}$ к базовой расчетной скорости движения $V_p^б$:

$$K_{p.c} = \frac{V_{\phi\max}}{V_p^б}. \qquad (4)$$

За базовую расчетную скорость принята скорость движения 120 км/ч. В благоприятных условиях (отсутствие дождя, снегопада, метели, гололеда, сильного ветра, тумана) дорога должна обеспечивать значение $K_{p.c} \geqslant 1$. В неблагоприятных погодно-климатических условиях допускается снижение обеспечиваемой скорости, но не более чем на 25% в осенне-весенний и зимний периоды и, как исключение, не более чем на 50% во время сильных дождей, туманов, пыльных бурь, штормовых ветров, гололеда, метелей и сильных снегопадов.

Пропускная способность и уровень загрузки движением проверяется на дорогах и их участках с фактической интенсивностью в физических единицах более 4 тыс. авт/сут при состоянии дорог и условиях движения, характерных для летнего, осенне-весеннего и зимнего периодов.

Пропускная способность автомобильной дороги определяется как максимальное количество автомобилей, которое может пропустить данный участок дороги в единицу времени.

Уровень загрузки дороги движением представляет собой отношение фактической (имеется в виду не расчетной при проектировании дороги, которая выше фактической по причине снижения эксплуатационных качеств дороги в процессе ее эксплуатации без проведения ремонтно-восстановительных работ) интенсивности движения, приведенной к легковому автомобилю, N (авт/ч), к фактической пропускной способности P (авт/ч).

$$Z = \frac{N_\phi}{P_\phi}, \qquad (5)$$

Показатели безопасности движения – коэффициенты происшествий $И$, аварийности K_a и безопасности $K_б$.

Для участка дороги коэффициент происшествий (на млн.авт./км)

$$И = 10^6 A / 365\, L\, Nn, \qquad (6)$$

где A – количество происшествий в год;
L – длина участка, км;
N – среднегодовая суточная интенсивность движения (принимают по данным учета движения – статические измерения), авт/сут;
n – количество лет, за которые произошло A происшествий.

Участки и места концентрации дорожно-транспортных происшествий (ДТП) по опасности для движения оценивают исходя из коэффициентов происшествий:

Характеристика участка	$И$
неопасный	<0,4
малоопасный	0,41÷0,8
опасный	0,81÷1,2
очень опасный	>1,2

Итоговый коэффициент аварийности для каждого периода года определяют как произведение частных коэффициентов аварийности, учитывающих влияние отдельных элементов плана, профиля, характеристик покрытия, интенсивности движения и т.д. Частный коэффи-

циент аварийности K_i численно характеризуется отношением числа ДТП на участке дороги с тем или иным показателем плана или профиля к числу ДТП на эталонном участке. При этом, под эталонным участком автодороги понимается горизонтальный прямой участок дороги с двумя полосами движения, шириной проезжей части 7,5 м, укрепленными обочинами шириной 3 м, с радиусами поворота 1000 м, интенсивность движения составляет 5000 авт/сут, ровным и шероховатым покрытием.

$$K_{ит} = K_1 \; K_2 \; \ldots \; K_I \, . \qquad (7)$$

Степень опасности движения по коэффициентам аварийности определяют в зависимости от итогового коэффициента аварийности в каждый период года (на равнинной и холмистой местности):

Характеристика участка	$K_{ит}$
неопасный	0÷10
малоопасный	10÷20
опасный	20÷40
очень опасный	>40

В горной местности на дорогах, проложенных перевальным ходом, и на дорогах, где на большой протяженности имеются продольные уклоны более 50% и кривые в плане радиусом менее 300 м, степень опасности определяют по соотношению значения сезонного итогового коэффициента аварийности на смежных участках:

Характеристика участка	Разница между значениями сезонного $K_{ит}$ на смежных участках, %
неопасный	до 20
малоопасный	20÷40
опасный	40÷100
очень опасный	>100

Коэффициент безопасности для каждого периода года определяют как отношение максимальной скорости на участке к максимальной скорости въезда автомобилей на этот участок или как отношение эксплуатационных коэффициентов обеспеченности расчетной скорости на участке и на въезде

$$K_б = \frac{V^{уч}_{ф\,\max}}{V^{вх}_{ф\,\max}} \quad \text{или} \quad K_б = \frac{K^{уч}_{р.сэ}}{K^{вх}_{р.сэ}} \, . \qquad (8)$$

По опасности для движения участки оценивают, исходя из значений коэффициента безопасности:

Характеристика участка	$K_б$
очень опасный	0,4
опасный	0,4÷0,6
малоопасный	0,6÷0,8
неопасный	>0,8

Повышенное внимание вопросам безопасности обусловлено тем, что при выборе рационального маршрута доставки продукции специального назначения именно, безопасность движения является ключевым фактором гарантии выполнения поставленной задачи в условиях мирного времени.

Показатель прочности дорожной одежды – коэффициент запаса прочности, т.е. отношение фактического модуля упругости дорожной одежды $E_ф$ к требуемому модулю упругости по интенсивности и составу движения на период оценки $E_{тр}$

$$K_{з.пр} = \frac{E_ф}{E_{тр}} \, . \qquad (9)$$

Показатель ровности дорожных покрытий, или коэффициент ровности, – отношение предельно допустимой ровности $[s_i]$ для дороги данной категории, типа покрытия и интенсивности движения к фактической ровности $s_ф$

$$K_р = \frac{[s_н]}{S_ф} \, . \qquad (10)$$

Показатель сцепных качеств, или коэффициент относительного сцепления колес с покрытием дороги (коэффициента скользкости) – отношение фактического коэффициента сцепления $j_ф$ к допустимому $[j_i]$

$$K_с = \frac{\varphi_ф}{[\varphi_н]} \, . \qquad (11)$$

Рассмотренные выше показатели, позволяют учесть различные факторы, которые, в конечном счете, позволяют определить фактическую скорость на участке маршрута. Таким образом, фактическая скорость может служить интегральной характеристикой состояния автомобильной дороги и транспортно-эксплуатационным показателем дороги, от которого зависят все показатели эффективности работы автомобильного транспорта.

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

1) так как коэффициент обеспечения расчетной скорости является функцией скорости, то достаточно иметь его значения для различных

дорог; так можно определить среднюю скорость движения потока автотранспорта на том или ином участке дороги, а, соответственно, и среднее время его преодоления;

2) коэффициент обеспечения расчетной скорости $K_{р.с}$ зависит от нескольких важных с точки зрения организации перемещения товара факторов, таких как метеорологические условия и рельеф местности, продольный уклон и состояние покрытия, прочность дорожной одежды, расстояние видимости поверхности дороги, ширина и тип укрепления обочин и т.д.;

3) основным фактором, влияющим на характер изменения коэффициента обеспечения расчетной скорости $K_{р.с}$ является интенсивность движения автотранспорта;

4) интегрированный характер коэффициента обеспечения расчетной скорости $K_{р.с}$ и его многофакторная зависимость позволяют судить о возможности и необходимости построения совокупности номограмм, которые облегчили бы его определение для различных векторов значений рассмотренных факторов, к числу таких номограмм относятся:

– зависимость коэффициента обеспечения расчетной скорости $K_{р.с}$ от: I – продольного уклона и состояния покрытия (движение на спуск), II – продольного уклона и состояния покрытия (движение на подъем), III – ширины и типа укрепления обочин; IV – расстояния видимости поверхности дороги и состояния покрытия;

– влияние эффективности и состава движения на снижение средней скорости: I – на двухполосных дорогах, II – на четырехполосных магистралях; зависимость коэффициента обеспечения расчетной скорости $K_{р.с}$ от прочности дорожной одежды и интенсивности движения – III, IV;

– зависимость коэффициента обеспечения расчетной скорости $K_{р.с}$ от: I – метеорологической дальности видимости (по схеме торможения одиночного автомобиля), II – встречных автомобилей; III – скорости ветра, IV – скорости ветра, радиуса кривой в плане и состояния покрытия (сухое чистое покрытие).

Необходимо отметить, что с учетом целевых соображений можно провести ранжирование факторов, определив главный. В данном случае за значение $K_{р.с}$ дороги принимается значение, соответствующее главному фактору. Для определения $K_{р.с}$ необходимо получить значение максимально возможной или максимально допустимой по условиям безопасности скорости одиночного легкового автомобиля. Эти скорости могут быть получены одним из следующих способов:

1. Путем измерения скорости одиночных легкового автомобиля (при свободных условиях движения) или скорости легкового автомобиля, едущего во главе группы автомобилей (при частично связанных условиях движения). При этом для получения объективных данных необходимо не менее 30 замеров в каждом створе. На основе результатов измерений могут быть построены коммулятивные кривые распределения скоростей. За фактическую максимальную скорость принимают скорость легкового автомобиля 85% обеспеченности.

2. Путем измерения скорости всех автомобилей (легковых и грузовых) и построения коммулятивных кривых распределения скоростей транспортного потока. За фактическую максимальную принимают скорость 95% обеспеченности (*рисунок 1*). Средняя скорость потока соответствует 50% обеспеченности.

3. Для предварительной и ориентировочной оценки допускается определять максимальную скорость методом следования за лидером. При этом скорость на каждом километре и характерном участке определяют по спидометру легкового автомобиля, который движется за одиночным или головным автомобилем. На каждом участке производят не менее трех-четырех проездов, по которым определяют среднюю скорость. Фактическую максимальную скорость принимают на 10-20% выше средней из этих замеров.

Получив значения фактической максимальной скорости на каждом участке в каждый характерный период года, определяют эксплуатационный коэффициент обеспеченности расчетной скорости и сравнивают его с допустимым.

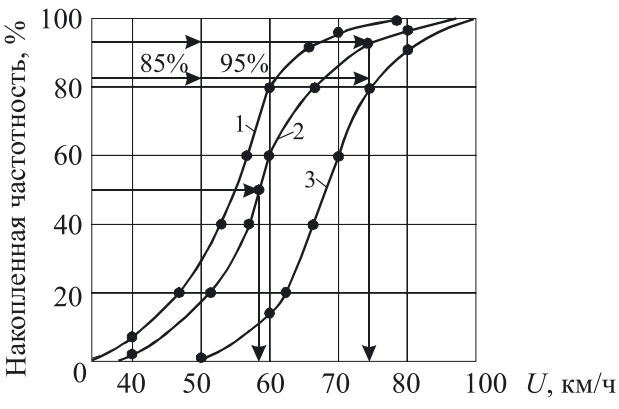


Рис. 1. Коммулятивные кривые распределения скоростей по уровню обеспеченности: 1 – грузовые автомобили; 2 – транспортный поток; 3 – легковые автомобили.

Для оценки технико-экономических показателей дороги необходимо иметь среднюю ско-

рость свободного движения и среднюю скорость транспортного потока. На дорогах IV и V категорий, а также на значительной части дорог III категории, где уровень загрузки не превышает 0,2, средняя скорость свободного движения и средняя скорость транспортного потока практически совпадают.

Средняя скорость свободного движения по результатам измерения скоростей автомобилей может быть найдена по следующей формуле

$$\overline{V}_{св} = \frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N} V_n , \qquad (12)$$

где N – число автомобилей, для которых измерены скорости; V_n – мгновенная скорость n-го автомобиля на данном участке.

С увеличением интенсивности движения скорость транспортного потока снижается и тем больше, чем больше в потоке грузовых автомобилей, автобусов и автомобильных поездов. Как показывают исследования, все значения максимальной и средней скоростями связаны зависимостью, графическая форма которой приведена на *рисунке 2*, где 1, 2 – доля значений скоростей, лежащих ниже и выше границ доверительного интервала; 3, 4 – кривые распределения скоростей одиночных автомобилей и транспортного потока; a_1, a_2 – нижняя и верхняя границы доверительного интервала.

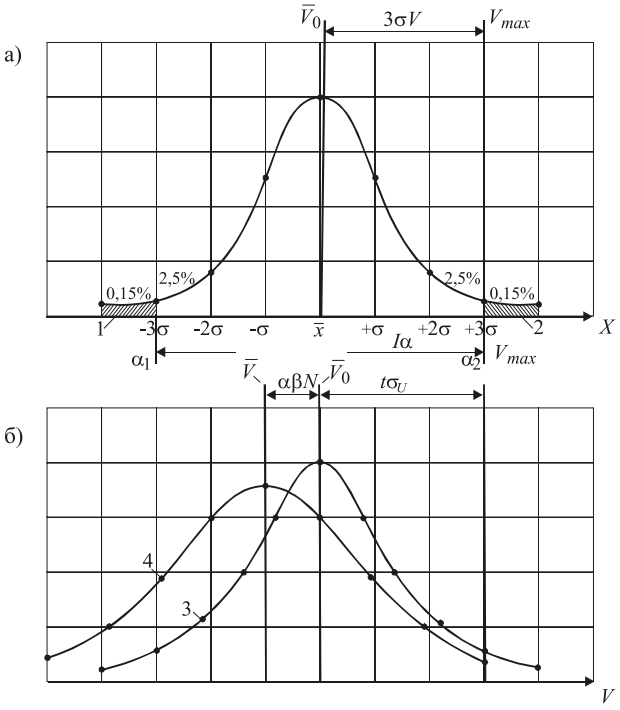


Рис. 2. Связь между максимальной и средней скоростями: а) границы доверительного интервала; б) кривые распределения скоростей одиночных автомобилей и транспортного потока.

Так средняя скорость свободного движения

$$\overline{V}_{св} = V_{\phi\,\max} - t\sigma_{V_\phi} , \qquad (13)$$

где $V_{\phi\,\max}$ – максимально возможная или безопасная обеспеченная скорость одиночного легкового автомобиля на данном участке при фактическом ее состоянии;

t – функция доверительной вероятности, или гарантийный коэффициент;

σ_{V_ϕ} – среднее квадратичное отклонение скорости свободного транспортного потока.

Тогда средняя скорость транспортного потока может быть найдена

$$\overline{U} = \overline{U}_{св} - \Delta U , \qquad (14)$$

где ΔU – снижение скорости автомобилей под воздействием интенсивности и состава транспортного потока:

$$\Delta U = \alpha\,\beta\,N , \qquad (15)$$

где α - коэффициент, учитывающий влияние интенсивности движения;

β – коэффициент, учитывающий состав транспортного потока (численно равен доле грузовых автомобилей, автобусов и автомобильных поездов, движущихся по полосе);

N – интенсивность движения, авт./сут (для автомобильных магистралей принимается по каждому направлению отдельно).

Таким образом, общая зависимость, связывающая различные значения скоростей автомобилей на дороге:

$$V = V_{\phi\,\max} - t\,\sigma_V - \alpha\,\beta\,N. \qquad (16)$$

Среднее кадратичное отклонение:

$$\text{при } n \geqslant 30 \quad \sigma_V = \frac{1}{n-1}\sqrt{(x_i - \bar{x})^2} , \qquad (17)$$

где x_i – измеренное значение скорости;

$\bar{x}$ – среднеарифметическая скорость из всех измеренных значений;

n – число измерений.

Изложенный подход, основанный на построении геометрической модели маршрута как упорядоченной линейной структуры последовательности участков различной категории, позволяет производить определение средней скорости движения автомобильного транспорта (соответственно, среднего времени движения по маршруту) в зависимости от категории дорог по технической классификации и факторов, влияющие на условия движения.

Литература

1. Волков И.К., Загоруйко Е.А. Исследование операций. М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. 435 с.

2. Транспортно-эксплуатационные качества автомобильных дорог и городских улиц: учебник для высш. учеб. заведений / В.В. Сильянов, Э.Р. Домке. 2-е изд., стер. М.: Издательский центр «Академия», 2008. 352 с.

УДК 533.6

ОСОБЕННОСТИ ОБТЕКАНИЯ БЫСТРОМАШУЩЕГО КРЫЛА

Темир Хусаинович Ахмедов
кандидат технических наук,
старший научный сотрудник
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, г. Серпухов,
Московская обл., Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)35-31-93

В статье проводится анализ явлений, которые возникают около быстромашущего крыла при совершении им махово-супинационных движений с закритическими углами атаки, для возможности разработки расчетной схемы и математической модели. Рассматриваются физические процессы, происходящие в различных зонах возмущенных течений.

The article deals with the analysis of phenomena that occur around the fast-flapping wing in the commission of supination motions with supercritical angles of attack for the possibility of developing a calculating scheme and a mathematical model. Physical processes occurring in different areas of disturbed flows are regarded.

Ключевые слова: машущее крыло, махово-супинационное движение, отрывное течение, индуктивное течение.

Keywords: flapping wing, supination motion, detachable flow, induction flow.

Как показывает изучение отечественной и зарубежной научно-технической и патентной литературы, секреты машущих движителей аэробионтов, в частности, насекомых с быстромашущими крыльями, до сих пор остаются объектом глубоких теоретических исследований для ученых и изобретателей.

Отсутствие аэродинамической модели, на основе которой возможно проведение расчетов тяги и мощности движителя, затрудняет решение вопроса о возможности использования принципа действия машущего движителя природного аналога в технических летательных аппаратах. Об этом свидетельствуют следующие высказывания отечественных и зарубежных ученых.

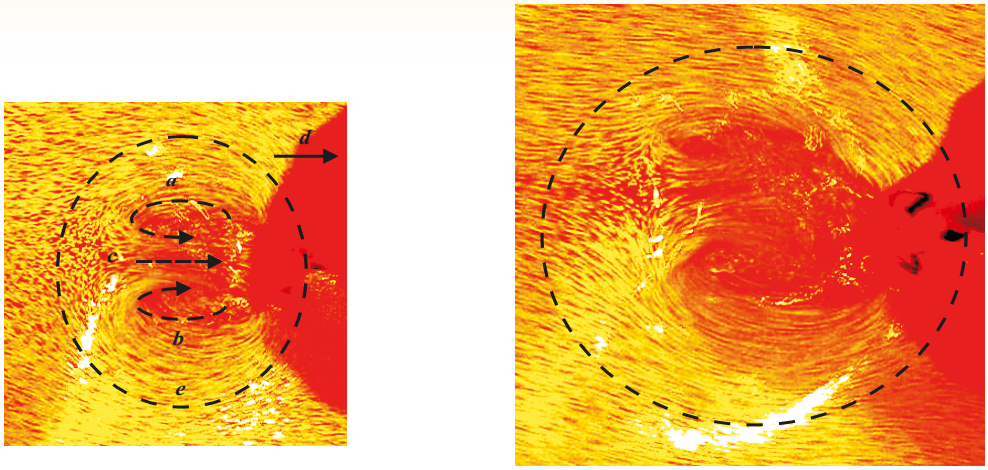
«Трудности задачи о машущем полете носят не математический, а чисто физический характер. Дело состоит в неясности самой физической схемы, которой можно было бы стилизовать процесс, происходящий при взмахах крыла, и этот недостаток физической схемы не может быть заменен никакими дифференциальными или интегральными уравнениями» [1].

«Ни одному ученому не удалось объяснить, откуда берется хотя бы половина подъемной силы, создаваемой насекомыми. Ученые создали массу предположений о невидимых способах, которыми насекомые могли бы создавать дополнительно подъемную силу. Оценить эти теории было невозможно из-за огромного количества переменных данных в этих процессах. Ни один компьютер на нашей планете не способен сказать нам, что это за силы» [2].

При моделировании кинематики маховых движений быстромашущего крыла природного объекта было установлено, что в активной фазе маха, когда создается подъемная сила, крыло перемещается *с ускорением на закритических углах атаки*, что неизбежно приводит к отрывным явлениям [3].

Целью настоящей статьи является определение на основе проведенных экспериментов тех особенностей, которые происходят в структурах течений около перемещающихся с ускорением и закритическими углами атаки крыльев быстромашущих насекомых из отрядов двукрылых и перепончатокрылых (пчел, ос, мух, комаров), для установления физической природы возникновения подъемной силы крыльев и возможного использования принципа действия быстромашущего движителя природного аналога в движителях летательных аппаратов различного назначения.

Как известно, при изучении нестационарных процессов используется уравнение Лагранжа [4]. Отличие этих уравнений для капельной жидкости и газа заключается в параметре, учитывающем плотность среды. В связи с этим и от-



а *б*

Рис. 1. Зоны возмущенных течений при ускоренном перемещении крыла, угол атаки $\alpha=90^\circ$, ***а, б*** – вихри на поверхности крыла, ***с*** – течение между вихрями, ***d*** – направление движение крыла, ***е*** – граница зоны возмущенного течения.

личием вязкости различных сред количественные значения кинематических параметров, характеризующих течения в разных средах, будут отличаться. Но при определении изменений в структурах течений около крыла, перемещающегося с ускорением и разными углами атаки, в частности, установлении *вида течения: потенциальное оно или вихревое* – можно будет судить по линиям тока, полученным в ходе эксперимента, проведенного в водной среде. Поэтому, учитывая сложность воспроизведения физических явлений и закономерностей, происходящих около крыльев быстромашущих насекомых, для наглядности эксперименты по визуализации течений проводились в воде.

В ходе проведения экспериментов воспроизводились характерные режимы ускоренных движений крыла быстромашущего насекомого (*рисунки 1-3*).

На *рисунках 1, 2* изображены зоны возмущенных течений, возникающих при поступательном ускоренном перемещении крыла с углами атаки соответственно $\alpha=90^\circ$ и закритическом угле атаки, но меньше 90°.

На *рисунке 3* изображена зона возмущенного течения при моделировании махово-супинационного движения крыла быстромашущего насекомого.

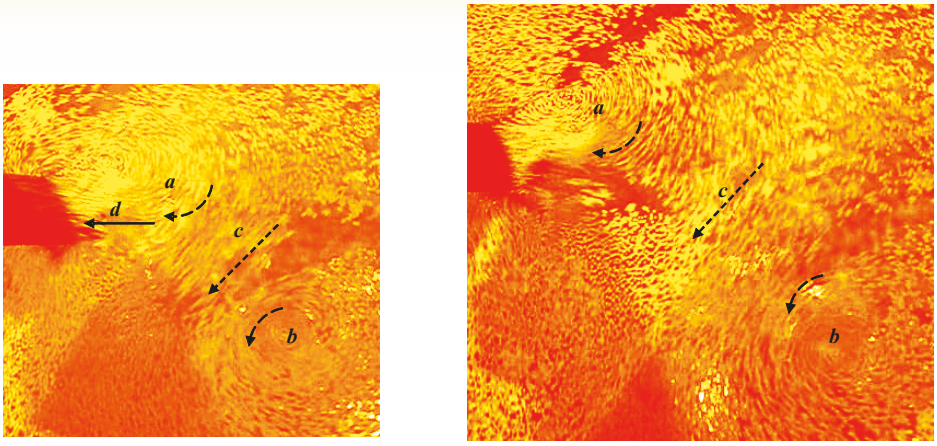
Как видно, во всех случаях за крыльями образуются возмущенные зоны течений. В них устанавливаются режимы с отрывными возвратно-циркуляционными течениями.

Первая особенность обтекания крыла связана с поступательным ускоренным его перемещением при угле атаки $\alpha=90^\circ$, *рисунок 1*. Динамика формирования течения около крыла в этом случае состоит из трех последовательных этапов и выглядит следующим образом.

На первом этапе, когда крыло из состояния покоя начинает перемещаться с ускорением, среда, окружающая крыло, по инерции остается неподвижной. В аэродинамике изучается движение жидкости, возникшее от внезапно приложенных сил давления, которое встречается, когда тело резко изменяет состояние своего движения [4]. В этом случае частицы, находящиеся на поверхности крыла, передают силу давления расположенным рядом частицам жидкой среды, а те в свою очередь – соседним частицам. В результате под действием этих сил перед крылом и за ним возникают зоны соответственно повышенного и пониженного давлений. Кроме того, частицы жидкости, окружающие крыло, приобретают кинетическую энергию. Сила лобового сопротивления в этих условиях происходит *от инерции частиц среды*, которым тело при своем движении должно сообщить ускорения, поэтому она является силой инерционной природы.

Ввиду того, что силы давления быстро достигают больших величин, а действие сил трения проявляется лишь через некоторый промежуток времени, в начальный период можно пренебречь ими, то есть вязкостью. Следовательно, в первое мгновение ускоренного движения крыла можно исходить из представления о его движении в идеальной среде.

Известен парадокс Даламбера, в соответствии с которым, сопротивление тела, обтекаемого идеальной жидкостью, равно нулю. Но это при условии обтекания тела с постоянной скоростью. А когда частицы окружающей среды приобрели кинетическую энергию в направле-



а *б*

Рис. 2. Зоны возмущенных течений при поступательном ускоренном движении крыла и закритическом угле на поверхности крыла, ***б*** – свободные вихри, ***c*** – индуктивные течения между вихрями, ***d*** – направление движение крыла.

нии движения тела, появляется лобовое сопротивление крыла, равное произведению присоединенной массы среды на ускорение [4]. Объем присоединенной массы определяется количеством частиц среды, получившим кинетическую энергию, он зависит от формы крыла и направления его движения. Поэтому основная часть сопротивления крыла при его ускоренном передвижении в текучей среде зависит от его присоединенной массы.

Второй этап ускоренного перемещения крыла начинается с отрывного перетекания жидкости в виде вихревой пелены из зоны повышенного давления в зону пониженного давления. Отрывное течение принимает вид возвратно-циркуляционного течения. В нем симметрично расположены два вихря, которые (в отличие от схемы обращенного движения) неотрывно перемещаются за крылом и увеличиваются в размере.

Одновременно с отрывным перетеканием начинается другой процесс – перемещение жидкости, расположенной за крылом. Это течение потенциальное, неотрывное от крыла. Возмущенная зона за крылом первоначально открыта. Таким образом, в ней одновременно существуют два вида течений: вихревое и потенциальное. Однако увеличение объема вихрей приводит к уменьшению объема той жидкости, которая расположена в области потенциального течения за крылом. Со временем вихри заполняют всю возмущенную зону, замыкая ее и отсекая потенциальное течение от крыла.

С этого момента начинается третий этап. За крылом жидкость следует лишь в виде пары вихрей, размеры которых продолжают увеличиваться. С точки зрения создания тяги, такая структура течения нерациональна, поскольку она подобна режиму вихревого кольца несущего винта вертолета при его снижении с большой вертикальной скоростью, когда скорость встречного воздушного потока становится больше индуктивной скорости несущего винта вертолета.

Для повышения эффективности быстромашущего движителя требуется значительное превышение количества движения воздуха в объеме, увлекаемом индуктивным течением, по сравнению с количеством движения воздуха в объеме, натекающем на крыло. Поэтому возникает потребность в изучении других режимов функционирования движителя с быстромашущими крыльями.

Вторая особенность обтекания крыла проявляется во время проведения эксперимента при поступательном ускоренном перемещении крыла на закритических углах атаки, но при $\alpha<90°$, *рисунок 2*.

Первые два этапа, связанные с появлением возмущенной зоны за крылом, аналогичны развитию событий в предыдущем случае, когда рассматривалось ускоренное поступательное движение крыла с углом атаки, равным 90°.

В дальнейшем происходят существенные отличия. Как видно в эксперименте, от крыла отходит один из вихрей – кормовой, а на крыле остается другой вихрь – носовой, занимающий вскоре всю поверхность крыла. Возмущенная зона за крылом открыта. Интенсивность кормового вихря первоначально меньше интенсивности носового вихря. Но вихревая пелена, обтекающая крыло с расположенным на нем носовым

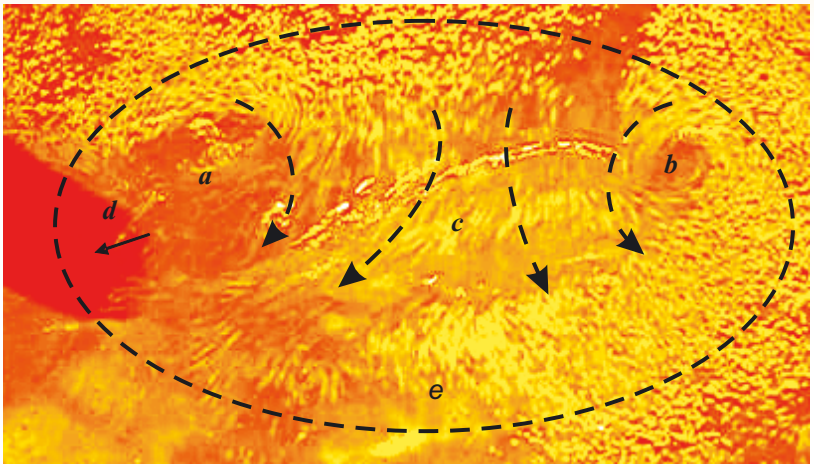


Рис. 3. Зона возмущенного течения при махово-супинационном движении крыла; ***а*** – вихрь на поверхности крыла, ***б*** – свободный вихрь, ***с*** – направление индуктивного течения, ***d*** – направление движение крыла, ***е*** – границы зоны возмущенного течения.

вихрем, накручивается на кормовой вихрь, увеличивая его интенсивность. Расстояние между крылом и кормовым вихрем продолжает увеличиваться и вскоре между ними появляется разрыв, в который устремляется индуктивное течение. Этот момент, как и в предыдущем случае связанный с ускоренным перемещением крыла, является принципиальным, ключевым для раскрытия сущности тех физических процессов, благодаря которым создается тяга быстромашущими крыльями природных аналогов.

В третьем случае особенность обтекания крыла проявляется в ходе эксперимента, когда крыло перемещали по наклонной траектории сзади-сверху вперед-вниз с ускорением и увеличением его угла атаки аналогично тому, как это происходит у природного аналога с быстромашущими крыльями. Возникающая двумерная картина зоны вихревого возмущенного течения изображена на *рисунке 3*. Как и в предыдущем случае, эта зона открыта, на крыле расположен носовой вихрь, за крылом – кормовой, между вихрями находится индуктивное течение. То есть наблюдается полная аналогия структуры течения с предыдущим случаем, когда крыло перемещалось поступательно, ускоренно на закритических углах атаки, но угол атаки $\alpha<90^\circ$.

При рассмотрении картины отрывного обтекания быстромашущего крыла в трехмерном измерении следует учесть, что одновременно с носовым и кормовым вихрями на комлевой и концевой частях крыла также возникают вихри. В итоге около крыла появляется замкнутый вихрь, индуцирующий течение, подобное известному течению, возникающему около кольцевого вихря, что является причиной создания реактивной силы. Таков механизм создания тяги природных аналогов для возможности его использования в перспективных летательных аппаратах с быстромашущими крыльями.

Математические трудности рассмотренных видов течений связаны с их нелинейностью и нестационарностью. В [5] приведено в качестве примера решение менее сложной, но достаточно трудоемкой стационарной задачи обтекания цилиндра с использованием методики прямого численного моделирования.

В заключение следует отметить следующий факт. В результате проведенных оценочных расчетов установлено [3], что максимальное значение секундной массы воздуха, протекающего через зону индуктивного течения крыла, совершающего махово-супинационные движения, получается при угле наклона плоскости маховых движений крыльев, равном 45°. Этот вывод подтверждается экспериментальными данными, полученными в опытах Нахтигаля. В его монографии [6] отмечается, что в эксперименте как при включенной аэродинамической трубе, перед которой на трехкомпонентных весах установлена муха (Phormia regina), так и при отсутствии обдува насекомого, плоскость маховых движений его крыльев наклонена на угол, равный 45°. Как показывают расчеты [3], в этом случае удельная мощность движителя насекомого (отношение потребной мощности движителя к массе насекомого) минимальна по сравнению с удельной мощностью при других углах наклона плоскости маховых движений крыльев.

В итоге, особенности кинематики и обтекания быстромашущих крыльев природного объекта могут быть изложены следующим образом:

Рис. 4. Кинематика маховых движений крыльев голубя при его приземлении

- плоскость маховых движений крыльев быстромашущих насекомых наклонена (оптимальный угол наклона, как расчетный, так и у природного аналога, равен 45°);
- крыло совершает не только возвратно-вращательные маховые движения при опускании и подъеме, но также возвратно-вращательные движения относительно продольной оси, расположенной у его передней кромки;
- подъемная сила крыла, по вертолетной терминологии – тяга, возникает при опускании крыла, когда оно совершает ускоренное маховосупинационное движение, и носит импульсный характер;
- максимальный угол поворота крыла при его супинационном движении равен 180°, а угол атаки крыла может быть закритическим, но меньше 90°;
- поскольку махово-супинационное движение крыла происходит с ускорением, сила его лобового сопротивления в этих условиях (подъемная сила крыла) происходит от инерции частиц среды, которым крыло при своем движении сообщает ускорения, поэтому она является силой инерционной природы;
- обтекание крыла идеальной жидкостью при ускоренном его перемещении связано с появлением присоединенной массы, максимальная величина которой достигает при угле атаки, равном 90°;
- влияние вязкости среды сводится к отрывному вихревому обтеканию крыла, которое в конечном итоге приводит к появлению на поверхности крыла замкнутого вихревого шнура, образованного дискретными вихрями, сходящими с передней и задней кромок крыла, а также его комлевой и концевой частей;
- при угле атаки, равном 90°, структура течения для получения тяги не- рациональна, поскольку сближение увеличивающихся в размерах вихрей на поверхности крыла приводит к изоляции зоны пониженного давления от внешней среды, картина обтекания крыла становится подобной режиму вихревого кольца несущего винта вертолета при его снижении с большой вертикальной скоростью;
- благоприятные условия для создания тяги возникают при углах атаки крыла, меньших 90°, когда от задней кромки крыла отделяется кормовой вихрь, носовой вихрь занимает всю поверхность крыла и размеры вихревого шнура увеличиваются, создавая условие для возникновения индуктивного течения, что является причиной возникновения реактивной силы в соответствии с третьим законом механики.

Наиболее полно эти особенности наблюдаются у быстромашущих насекомых, которые, пройдя через «сито» естественного отбора, появились на Земле более 300 миллионов лет назад. Гораздо позже, 70 миллионов лет назад, появились птицы, летательный аппарат которых более приспособлен к полету в горизонтальном направлении. Однако при приземлении кинематика маховых движений крыльев птиц изменяется и становится похожей на кинематику движений крыльев быстромашущих насекомых, *рисунок 4*.

Но удельная мощность мышц птиц на порядок меньше удельной мощности насекомых. Поэтому режимы зависания и маневрирования в

вертикальном направлении доступны лишь колибри, у которых удельная масса мышц сердца и летательного аппарата значительно больше, чем у других видов птиц. Однако в режиме зависания мощности мышц колибри недостаточно для использования «классической» схемы маховых движений, когда тяга формируется только при опускании крыльев. Поэтому в режиме зависания колибри вынуждены уменьшать угол наклона плоскости маховых движений и совершать активные движения крыльями почти в горизонтальной плоскости с использованием мускульной силы и при махе, и при взмахе.

Таким образом, при создании технического летательного аппарата с быстромащущим движителем должны быть учтены особенности принципа действия движителя его природного аналога.

Литература

1. Голубев В.В. Труды по аэродинамике. М.-Л.: Гос. издат. технико-теорет. Литературы, 1957. С. 453.

2. Карл Циммер. По следам дрозофилы. Новый взгляд на аэродинамику полета // Что нового в науке и технике. 2003. №2. С. 68.

3. Ахмедов Т.Х. Расчет тяги быстромашущего движителя летательных аппаратов / Т.Х. Ахмедов // Сборник трудов XXII Межрегиональной научно-технической конференции. Серпухов: СВИ РВ. 2003. Ч. I. С. 44-48.

4. Фабрикант Н.Я. Аэродинамика. М.: Наука, 1964. 814 с.

5. Белоцерковский О.М., Опарин А.М., Чечеткин В.М. Турбулентность: новые подходы. М.: Наука, 2003. 286 с.

6. Werner Nachtigull. Die kinematik der schlagflügelbewe gungen von dipteren. Zoologisches' Institut der Universität München. Zeitschrift für vergleicheude Physiologie 52, 155-211 (1966).

7. Ахмедов Т.Х. Механическая модель привода быстромашущего движителя // Известия Института инженерной физики, 2011. №1(19). С. 17-20.

8. Ахмедов Т.Х. Летательные и подводные аппараты с машущими движителями // Известия Института инженерной физики, 2012. №3(25). С. 17-20.

УДК 621.37/39

ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ АВТОМАТА

Сергей Николаевич Гончаров
кандидат технических наук, доцент
начальник лаборатории
ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»
Адрес: 607181, Нижегородская обл.,
г. Саров, пр-т Мира, д. 37
Тел.: +7(3130)2-94-94; E-mail: s1e9r6g4@mail.ru

Вадим Владимирович Писецкий
старший преподаватель
СарФТИ НИЯУ МИФИ
Адрес: 607186, Нижегородская обл.,
г. Саров, ул. Духова, д. 6
Тел.: +7(3130)7-02-22

Вячеслав Анатольевич Никитин
инженер-исследователь 1-й категории
ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»
Адрес: 607181, Нижегородская обл.,
г. Саров, пр-т Мира, д. 37
Тел.+7(3130)2-94-94

Сергей Николаевич Колтаков
начальник группы
СС ГОУ ГШ ВС РФ

В статье рассматриваются способы программного синтеза сложных управляющих автоматов. Авторы предлагают достаточно простую методику синтеза программного автомата по графу автомата.

The method of programmed synthesis of smart controlling automations are considered. Being proposed is quite a simple method used to synthesize a programmable automaton according to its graph.

Ключевые слова: управляющий автомат, программа, схема, связь, граф.
Keywords: controlling automaton, program, scheme, connection, graph.

При разработке ряда устройств и интеллектуальных датчиков часто возникает проблема создания управляющего устройства. Такое устройство должно быть простым – не сложнее объекта управления, иначе теряется смысл разработки. В настоящее время в качестве такого устройства разработчики чаще всего используют программный автомат, сделанный на базе младших семейств микроконтроллеров, что вполне оправдано по соотношению функционал-стоимость. Однако такое решение требует от разработчика умения программировать микроконтроллеры и корректно верифицировать программы.

В то же время существует и достаточно полно описана технология, позволяющая конвертировать граф автомата в эквивалентную ему программу. Это – так называемая Switch-технология разработки систем управления на базе автоматов, охватывающая процесс спецификации, проектирования, реализации, отладки, верификации, документирования и сопровождения, предложенная А.А. Шалыто в 1991 году [1].

Существовавшие до нее подходы к алгоритмизации подобных систем базировались либо на понятии «событие» либо на понятии «точка алгоритма». Понятие «событие» предполагает, что вычислительная система находится в пассивном состоянии до наступления внешнего для системы события, после чего выполняются действия, определяемые алгоритмом в качестве реакции на это событие. Понятие «точка алгоритма» подразумевает, что в данной точке алгоритма выполняется заданный алгоритмом набор действий.

В Switch-технологии первичным является понятие «состояние», интуитивно близкое по смыслу к понятию «точка алгоритма». В качестве языка описания алгоритмов в этом случае применяются графы переходов. Другими словами, базой для разработки является поведенческая модель управляющего устройства, а не его схемотехника.

Эта технология достаточно хорошо описана в [2, 3]. Однако большинство из описаний

четко ориентировано на реализацию технологии на базе оператора Switch языка С. Применение же языка высокого уровня при разработке прикладного программного обеспечения для микроконтроллеров в ряде случаев оказывается неоправданным, особенно в случае требования обеспечения достаточно жесткого реального времени.

Более того, примеры реализации этой технологии для программ на ассемблере, приведенные в [1], относятся к алгоритмам, которые могут быть преобразованы в более-менее линейную структуру.

Так, например, автор в [1] рассматривает синтез RS-триггера, как автомата, описываемого графом, показанным на *рисунке 1*.

На основании этого графа строим 4 варианта программы на ассемблере, показанные на *рисунке 2*.

Как видно из приведенного выше примера, методика дает неоднозначные варианты построения программ. Кроме того, восстановить исходный граф по любому из вариантов программы – задача хоть и решаемая, но весьма нетривиальная. К тому же использование автором нестандартных команд наводит на мысль о том, что пример дан в условно-упрощенном варианте, не реализованном на практике.

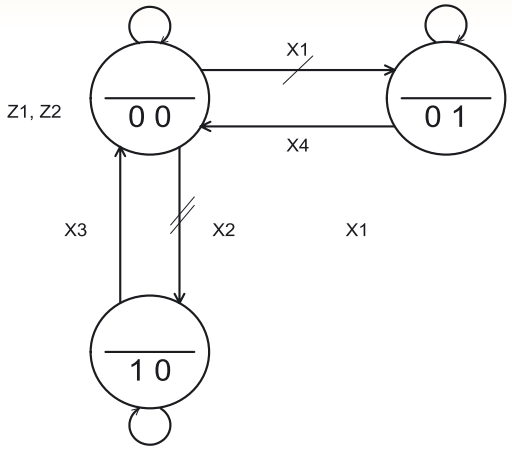


Рис. 1. Пример графа переходов

Кроме того, для разработчика управляющего автомата одной из самых важных задач является синхронизация автомата с объектом управ-

M5:	CPL		z1	M5:	CPL		z1	M5:	CPL		z1	M5:	CPL		z1
	MOV	c,	z1		MOV	c,	z1		MOV	c,	z1		MOV	c,	z1
	ANL	c,	/z2		ANL	c,	/z2		ANL	c,	/z2		ANL	c.	/z2
	ANL	c,	x2		ANL	c,	x2		JNC		Ml		JNC		M1
	JNC		M1		JNC		M1		MOV	c,	xl		MOV	c,	x1
			z1		SETB		z1		JNC		M2		ANL	c,	/x2
	CLR		z2	M1:	CPL		z1		CPL		z1		JNC		M2
M1:	CPL		z1		MOV	c,	z1				z2				z2
	MOV	c,	z1		ANL	c,	/z2	M2:	MOV	c,	x2	M2:	MOV	c,	x2
	ANL	c,	/z2		ANL	c,	x1		JNC		Ml		JNC		M1
	ANL	c,	x1		ANL	c,	/x2				z1				z1
	JNC		M2		JNC		M2		CPL		z2	M1:	MOV	C,	z2
	CLR		z1		SETB		z2	M1:	MOV	c,	z2		ANL	C,	x4
			z2	M2:	MOV	c,	z2		ANL	c,	/z1		JNC		M3
M2:	MOV	c,	z2		ANL	c,	x4		ANL	c,	X4		CLR		z2
	ANL	c,	/z1		JNC		M3		JNC		M3	M3:	MOV	c,	z1
	ANL	c,	x4		CLR		z2		CLR		z1		ANL	C,	x3
	JNC		M3	M3:	MOV	c.	z1		CLR		z2		JNC		M4
	CLR		z1		ANL	c,	x3	M3:	MOV	c,	z1		CLR		z1
	CLR		z2		JNC		M4		ANL	c,	/z2	M4 :	SJMP		M5
M3:	MOV	c,	z1		CLR		z1		ANL	c,	x3				
	ANL	c,	/z2	M4:	SJMP		M5		JNC		M4				
	ANL	c,	x3						CLR		z1				
	JNC		M4						CLR		z2				
	CLR		z1					M4:			M5				
	CLR		z2												
M4:			M5												

Рис. 2. Программы, основанные на графе рисунка 1

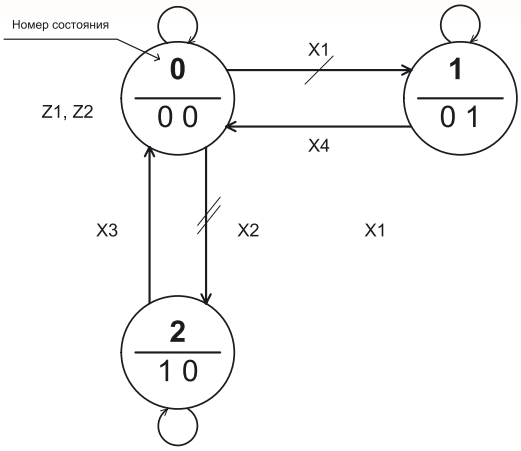


Рис. 3. Граф рисунка 1
с пронумерованными вершинами

```
                .org    0
                jmp     start
                ; таблица векторов прерываний
                .org    100h
                ; описание входных и выходных
                сигналов
start:          ; инициализация устройств
                                ...
                SJMP    s00
; Вершина 0
s00:            CLR     z1
                CLR     z2
j00:            JB      x1,             s01
                JB      x2,             s02
                SJMP    j00
;Вершина 1
s01:            CLR     z1
                SETB    z2
j01:            JB      x4,             s00
                SJMP    j01
;Вершина 2
s02:            SETB    z1
                CLR     z2
j02:            JB      x3,             s00
                SJMP    j02
; Конец программы
                .end    start
```

Начальная инициализация

Выполняемые действия

Выполнение переходов

Выполняемые действия

Выполнение переходов

Выполняемые действия

Выполнение переходов

Рис. 4. Программа,
синтезированная по графу рисунка 3

ления. Привязка любого из приведенных на *рисунке 2* алгоритмов к внешней временной сетке является сама по себе достаточно сложной задачей.

Судя по всему, перед автором технологии такая задача и не стояла, поскольку использовать Switch-технологию автор предполагал на промышленных контроллерах, где проблема синхронизации решается аппаратно – путем выделения задаче тайм-слота. Кроме того, такие контроллеры не предназначены для управления быстродействующим оборудованием и реализуют квант реального времени порядка сотни миллисекунд.

Для устранения перечисленных выше проблем авторы настоящей статьи предлагают собственную технологию построения программы по графу автомата. Предлагаемая технология позволяет достаточно быстро реализовать на языке ассемблера практически любого микроконтроллера автомат с заданным (или разработанным) графом, не предъявляя высоких требований к квалификации программиста. Кроме того, предлагаемая технология априори исключает некоторые ошибки, которые могут возникнуть при применении Switch-технологии на языке С – появление в переменной, отвечающей за номер состояния автомата, значения, выходящего за пределы, и других. [3].

Предлагаемая технология сводится к следующему упорядоченному набору действий.

1. Все вершины графа нумеруются. Порядок нумерации – не критичен;

2. Граф переносится в программу. Для этого создается структура, состоящая из:

■ метки, связанной с номером состояния графа (обычно это структура, состоящая как минимум из одного символа и цифры, совпадающей с номером вершины);

■ тела вершины, в котором формируются выходные сигналы, соответствующие данной вершине графа;

■ блока переходов, в котором проверяются условия перехода на другую вершину и, при обнаружении выполнения условия, выполняется переход. Анализ условий расставляется в соответствии с приоритетами переходов. В случае, если ни одно из условий не выполнено, осуществляется переход на начало блока.

3. Порядок размещения таких структур – произвольный.

4. На стартовом адресе размещается программа инициализации необходимых устройств, заканчивающаяся командой перехода на ту вершину, с которой предполагается старт автомата.

Реализацию предложенной технологии проще всего показать на конкретном примере. В качестве примера возьмем граф, показанный на *рисунке 1*, и пронумеруем его вершины. Результат показан на *рисунке 3*.

Применив к графу (*рисунок 3*) описанную выше технологию, получим программу (*рисунок 4*).

По функционалу синтезированная программа ничем не уступает программам, полученным с помощью Switch-технологии (*рисунок 2*), а по объему кода и читаемости – очевидно выигрывает.

Однако тактовая частота автомата, синтезированного по предлагаемой технологии, является плавающей – время нахождения в каждом из состояний есть величина переменная, зависящая от количества действий, выполняемых в каждом из состояний и количества анализируемых условий переходов. Для большинства применений это вполне допустимо. Однако, если техническими требованиями на разработку регламентирована конкретная тактовая частота, то проблема может быть решена с помощью встроенного в микроконтроллер таймера. При этом изменения в программе незначительны и сводятся к проверке факта срабатывания таймера в начале блока выполнения переходов. Пример такого варианта реализации показан на *рисунке 5*.

```
                    …
;Вершина 2
s02:    SETB    z1                  Выполняемые
        CLR     z2                  действия
j02:    JNB     TF0,    j02         Проверка
        CLR     TF0                 таймера
        JB      x3,     s00         Выполнение
        SJMP    j02                 переходов
                    …
```

Рис. 5. Фрагмент программы, синтезированной по графу рисунка 3 с синхронизацией по таймеру T0

В ряде случаев техническое задание требует синхронизовать автомат с внешним источником тактовой частоты. В этом случае проверка таймера может быть заменена на простой алгоритм обнаружения фронта внешнего сигнала – как показано на *рисунке 6*.

Вторая команда в блоке проверки синхросигнала (метка d02) необходима для исключения ложных срабатываний. Фактически, в данном примере, для перехода в следующее состояние автомату необходимо засечь положительный фронт внешнего синхросигнала, а собственно переход происходит в момент регистрации отрицательного фронта.

```
                    …
;Вершина 2
s02:    SETB    z1                  Выполняемые
        CLR     z2                  действия
j02:    JNB     P2.3,   j02         Проверка
d02:    JB      P2.3,   d02         синхросигнала
        JB      x3,     s00         Выполнение
        SJMP    j02                 переходов
                    …
```

Рис. 6. Фрагмент программы, синтезированной по графу рисунку 3 с синхронизацией по внешнему сигналу, подключенному к 3 биту порта P2

Таким образом, разработанная авторами технология синтеза программных автоматов не только не уступает классической Switch-технологии, но и превосходит ее по простоте применения и удобству синхронизации. Программа, синтезированная по данной методике, получается более читабельной и простой в отладке. Кроме того, размер графа реализуемого автомата практически не зависит от квалификации программиста и определяется, по большей части, размером памяти программ используемого микроконтроллера.

Литература

1. Шалыто А.А. Программная реализация управляющих автоматов // Судостроительная промышленность. Серия «Автоматика и телемеханика», 1991. Вып.13. С. 41-42

2. Шалыто А.А. Switch-технология. Алгоритмизация и программирование задач логического управления. СПБ: Наука, 1998.

3. Татарчевский В. Применение Switch-технологии при разработке прикладного программного обеспечения для микроконтроллеров. Серия статей // Компоненты и технологии. №11 2006 – №8 2007.

УДК 519.688

К ВОПРОСУ ОБ ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА СКАНИРОВАННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Сергей Валерьевич Погребан
старший офицер УПМИ и СП
Министерство обороны России
Москва

Евгений Андреевич Тростин
заместитель начальника отдела –
начальник группы УПМИ и СП
Министерство обороны России
Москва

Игорь Александрович Игнатенко
научный сотрудник
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)35-31-93

В статье рассмотрены компоненты системы сканирования, их роль в формировании сканированного изображения. Подробно рассмотрены подходы к оценке качества сканированных изображений.

Components of scanning system describe in this article. Besides that there are some methods of scanned image quality evaluation.

Ключевые слова: качество изображения, сканер, разрешение, артефакты, дефекты, элайзинг, шум.

Keywords: image quality, scanner, resolution, artifacts, defects, aliasing, noise.

1. Компоненты системы сканирования

Одним из направлений исследований в области защиты информации является стеганографическое скрытие данных в неподвижных изображениях [1]. При этом определенный интерес представляет осуществление внедрения одновременно со сканированием изображения. Для того, чтобы факт внедрения нельзя было бы вскрыть, необходимо, чтобы стегоизображения не отличались бы в статистическом смысле от обычных, то есть они должны быть «естественными». При этом характеристики естественных изображений зависят как от характеристик системы сканирования, так и от свойств оригинала, с которого производилось сканирование.

Под системой сканирования будем понимать совокупность сканера и программного обеспечения. Программное обеспечение состоит из драйвера сканера и прикладных программ пользователей.

В *таблице 1* приведены основные атрибуты компонентов системы сканирования, влияющие на характеристики получаемых изображений.

Основные типы оригиналов, с которых производится сканирование, приведены в *таблице 2*. Разрешение сканирования находится в диапазоне 45-60 dpi для шелкографии, 60-80 dpi для газет, 133-175 dpi для рекламной полиграфии, до нескольких тысяч dpi для изображений в публикации. Необходимо учитывать, что разрешение сканирования еще увеличивается на величину коэффициента качества. Этот параметр указывает сколько точек изображения (пикселей) принимают участие в формировании одной растровой ячейки. На практике этот параметр выбирают в пределах от 1,5 до 2.

При наиболее часто встречающемся, «офисном» сканировании, в качестве оригиналов используются черно-белые документы. Соответственно, наиболее подходящим является монохромный планшетный сканер формата А4. Глубина кодирования цвета у таких сканеров 1 бит/пиксел, разрешение, как правило, 600 точек на дюйм (600 dpi). В связи с этим представляют интерес подходы к оценке качества монохромных и полутоновых сканированных изображений, а также связь показателей качества изображений с характеристиками сканеров.

Таблица 1

Основные атрибуты компонентов системы сканирования

Сканер	Драйвер	Приложения
Источник света	Число бит/пиксел	Настройка цветов
Размер матрицы ПЗС	Возможности по обработке изображений	Сжатие
Скорость сканирования	Производительность	Форматы файлов
Оптическая подсистема	Калибровка	
Механические узлы	Гамма-коррекция	
Сенсоры	Масштабирование	
Лоток для автоподачи	Распознавание шрифта	
Адаптер для пленок	Преобразование растрового изображения в векторное	
	Формат изображений	

2. Оценка качества сканированных изображений

Дефекты сканированных изображений можно разделить на две группы: дефекты, связанные с ошибками оператора и принципиально неустранимые дефекты. К первым относятся дефекты, вызванные неправильной калибровкой сканера, а также неверного расположения оригинала при сканировании. В результате на сканированном изображении могут быть темные области, изображение или отдельные его области могут быть повернуты и т.д. Тогда как изображения с такими искажениями можно было бы считать браком, они зачастую все равно используются на практике, так как устраивают потребителя. Далее будем рассматривать принципиально неустранимые дефекты, так как именно для них имеет смысл говорить об объективных показателях качества сканированных изображений. Полутоновые сканеры можно считать частным случаем монохромных, так как в случае монохромных сканеров все равно можно получать полутоновые изображения за счет применения растрирования. Поэтому имеет смысл рассмотреть вопросы оценки качества полутоновых изображений.

Таблица 2

Некоторые характеристики оригиналов сканирования

Характеристики содержания	Характеристики формата	Оптические характеристики
По цвету: - полутоновые - цветные - черно-белые	Различный размер	Отражение/пропускание света
Фотографии	Трехмерные	Характеристики поверхности (стекло, шероховатости и т.д.)
Тексты	Пленка (в рулоне или слайдами)	Диапазон оптической плотности
Оттиски серого цвета	Имеющие или не имеющие границу	
Рукописи	Гибкие/жесткие	
Чертежи		
Живопись		
Смешанные		

Одним из наиболее часто встречающихся показателем качества изображения при его сжатии является отношение сигнал/шум или пиковое отношение сигнал/шум. Однако использование этого показателя для оценки качества сканированных изображений затруднительно, так как разные оригиналы содержат разное количество «шума». Неясным становится, что относить к шуму и как трактовать показатель сигнал/шум.

Поэтому качество изображений лучше оценивать при помощи показателей, специально ориентированных на изображения.

Показателями качества полутоновых изображений при сканировании являются [2]:

1. Воспроизведение тона. 2. Разрешение (зависящее от модуляционной функция передачи – MTF). 3. Уровень шума. 4. Артефакты процесса сканирования.

Хотя нельзя определить однозначную количественную взаимосвязь этих характеристик и качества изображения, они могут послужить в качестве составляющих высокоуровневой модели для его оценки. Рассмотрим эти характеристики подробнее.

Воспроизведение тона. Эта характеристика показывает, насколько линейно (в логарифмическом масштабе) система отображает плотность оригинала. Линейное воспроизведение означает точную передачу тонов. Линейность и максимально различимая плотность зависят от характеристик оптической подсистемы сканера и АЦП. Характеристика воспроизведения тона показана на *рисунке 1*.

Рис. 1. Линейная характеристика воспроизведения тона

Эта характеристика измеряется следующим образом. Необходимо иметь тестовые оригиналы с различной плотностью. Значение плотности измеряется денситометром либо может быть известно заранее. Для каждого значения плотности в файле отсканированного изображения находим соответствующее значение пиксела.

Пример шкалы различных плотностей показан на *рисунке 2*.

Ясно, что в качестве показателя качества должна быть степень отклонения реальной характеристики воспроизведения тона от линейной. Какое отклонение является приемлемым – этот вопрос является открытым до настоящего времени. Кроме того, качественное воспроизведение тона подразумевает, что в изображении присутствуют все значения пикселов, тогда как после многих видов обработки гистограмма значений пикселов становится дискретной. Еще одно искажение воспроизведения тона заключается в клиппировании тонов, когда происходит потеря самых ярких или самых темных тонов. Характерные гистограммы полутоновых изображений приведены на *рисунке 3*.

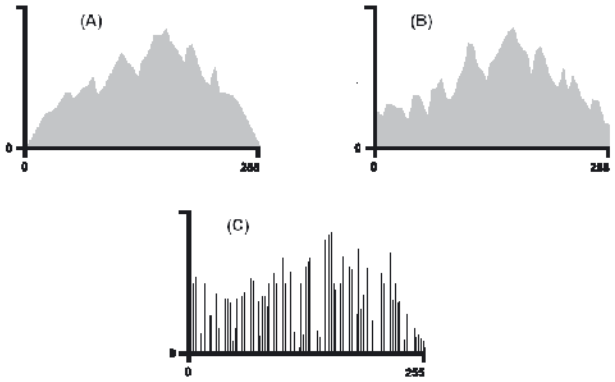


Рис. 3. Характерные гистограммы сканированных полутоновых изображений: (A) – норма, (B) – клиппирование, (C) – свидетельство какой-то обработки изображения

Таким образом, с точки зрения воспроизведения тонов, методы зашумления не должны приводить к искажениям, показанным на рис.3 (B) и (C), а также не нарушать линейности характеристики воспроизведения (или нарушать ее, но одинаково для всех изображений). Эффект клиппирования возникает из-за недостаточного количества бит, отводимого для представления

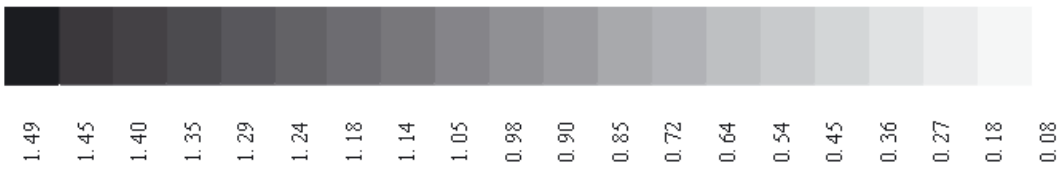


Рис. 2. Эталонная шкала с изменяющейся плотностью

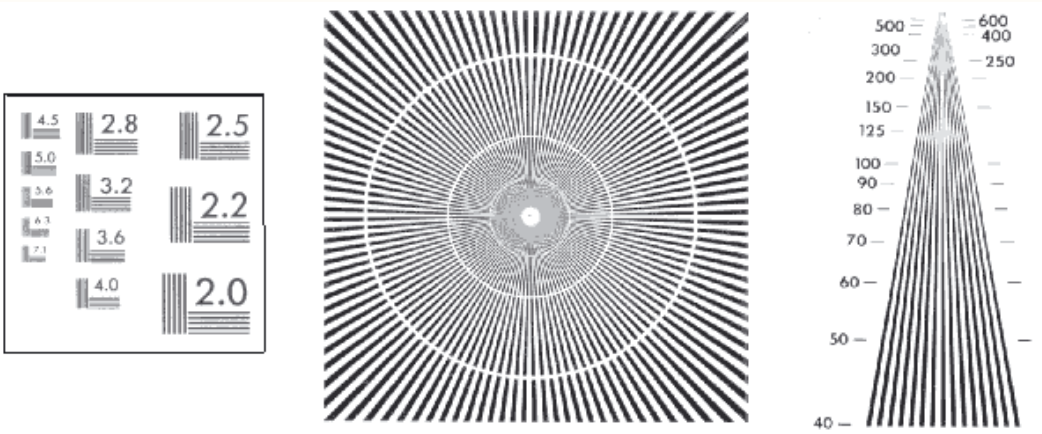


Рис. 4. Примеры тестовых наборов для определения разрешения

элемента изображения. Чтобы избежать этого эффекта внутреннее представление изображения обычно больше, чем выдаваемое в компьютер – порядка 12-14 бит/канал. Переход от внутреннего представления к 8-битному зачастую осуществляется нелинейно, что вызывает необходимость дополнительной обработки тонов для выравнивания линейности.

Необходимо сделать одно замечание. Изображение, показанное на *рисунке 3*(*A*) необязательно лучшее по визуальному восприятию. Иногда, например, специально выполняют контрастирование изображения, в результате чего гистограмма будет дискретной. Другим возможным преобразованием является соляризация, смысл которой заключается в том, что участки исходного изображения, имеющие уровень белого или близкий к нему уровень яркости, после обработки имеют уровень черного. При этом сохраняют уровень черного и участки, имеющие его на исходном изображении. Уровень же белого на выходе приобретают участки, имеющие на входе средний уровень яркости (уровень серого). После такой операции оказываются лучше подчеркнуты контуры.

Воспроизведение тонов является важнейшим показателем качества изображения при сканировании. В принципе говорить о воспроизведении тона в отрыве от рассмотрения устройства отображения некорректно, поэтому обычно определяют косвенные характеристики, например, модуляционную функцию передачи, рассмотренную далее.

Пространственное разрешение. Модуляционная функция передачи. Разрешение есть способность сканера различать мелкие детали изображения. До появления устройств сканирования для определения разрешения изображения использовали различные тестовые последовательности прямоугольников, кругов и т.д. уменьшающейся величины. Разрешение определяли по тому, фигуры каких размеров еще видны. Определяемое таким образом разрешение зависит от выбранного тестового набора, его контрастности, а также опытности эксперта. Измеряется в количестве линий на миллиметр. Примеры тестовых наборов представлены на *рисунке 4*.

Для устройств сканирования важным параметром является пространственная частота дискретизации, измеряемая в точках на дюйм и не совпадающая с разрешением, рассмотренным выше. Разрешение, определяемое путем анализа тестового набора данных, является пороговой метрикой в том смысле, что оно отражает предельные значения пространственной частоты. При этом неизвестно, как ведут себя частоты, меньшие этой частоты. Очевидно, что требуется метрика, с помощью которой можно было бы выяснить поведение всех частот изображения, и которая бы не зависела от контрастности или опыта эксперта.

И такая метрика была предложена – модуляционная функция передачи (MTF). Под MTF понимается математическое преобразование линейной функции распространения. Линейная функция распространения есть фундаментальный физический параметр, описывающий распространение света. Внешний вид MTF представлен на *рисунке 5*. Здесь частота среза – максимальная частота, воспринимаемая системой сканирования. Модуляционную функцию передачи измеряют обычно с помощью тестовых шаблонов пространственных синусоид различной частоты, как показано на *рисунке 6*.

В другом методе, описанном в стандарте ISO 12233, используются наклонные контурные линии.

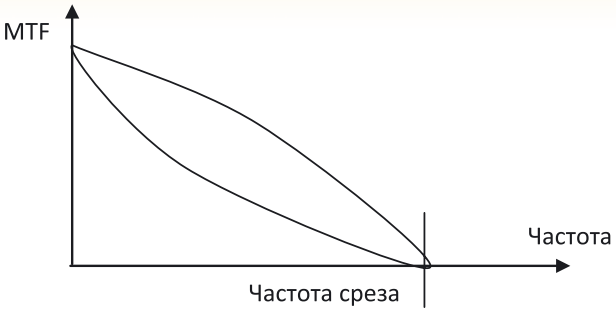


Рис. 5. Типичный вид модуляционной функции передачи

Искажение в виде шума. В устройствах сканирования имеется аналогичное возникающему в фотопленке эффекту зернистости искажение в виде шума, заключающееся в случайной флуктуации значений пикселов по случайному или близкому к случайному закону. Однако, в отличие от фотопленки в сканерах есть еще источник неслучайного, детерминированного шума. В качестве такого могут выступать дефекты в ПЗС-матрице, влияющие на воспроизведение пиксела, линии или целого кластера. В достаточно

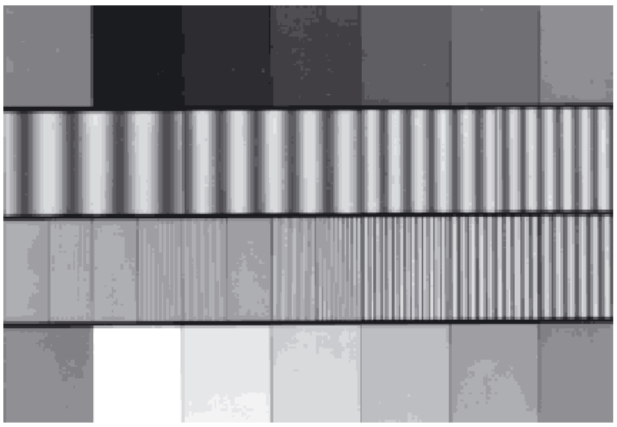


Рис. 6. Пространственные синусоиды различной частоты для измерения MTF

хороших сканерах эти искажения устраняются на этапе обработки отсканированных изображений.

Также как разрешение сканера может быть охарактеризовано модуляционной функцией передачи, уровень шума может быть выражен через пространственные частоты. Этот показатель качества называется спектральной плотностью мощности.

Известно, что заметность шума на участках изображения зависит от их характера. Шум гораздо больше искажает изображение на гладких участках, чем на высокочастотных. Также существует разница в восприятии шума для различных цветовых каналов. Уровень шума показывает, сколько значимых битов на пиксел отводит система сканирования. Младшие биты могут быть незначимыми и содержать в себе энергию шума, а не изображения. Естественно, что эти биты являются наиболее привлекательными для стеганографического внедрения данных. При этом чем хуже шумовые показатели сканера, тем он лучше с точки зрения использования в защищенных системах.

Надо однако учесть, что многие программные драйверы выполняют некоторую обработку изображений и, в частности, очистку от шумов. Поэтому надо при необходимости изменить драйвер сканера так, чтобы добавленный шум не был бы удален.

Для измерения шума имеется стандартное тестовое изображение, разработанное Electronic Still Photography Group IT10. Существует программное обеспечение, читающее отсканированное тестовое изображение и интерпретирующее результаты – ISO 15739:2013 [3]. Имея тестовое изображение, аналогичное представленному на *рисунке 2*, несложно измерить стандартное отклонение значений пикселов от ожидаемого значения.

Приведем операции, увеличивающие шум и уменьшающие его.

Увеличивают шум такие операции обработки, как: ● повышение резкости; ● резкое изменение цветов; ● «повышение температуры» (то есть доли красного цвета); ● увеличение контраста или значения гаммы.

Уменьшают шум операции: ● медианной или низкочастотной фильтрации; ● размытие; ● уменьшение контраста или значения гаммы.

Артефакты сканирования. Артефакты сканирования лучше всего моделируются как разновидность коррелированного шума. Наиболее часто встречающимися артефактами сканирования являются неравномерность, отдельные точки и ложные линии на изображении, элайзинговые изображения и ложные контуры. Рассмотрим их подробнее.

Неравномерность заключается в флюктуации яркости сканированного изображения, вызванного неравномерным освещением оригинала. Неравномерность малозаметна визуально: от центра до угла изображения яркость может меняться до 50%, и это не будет заметно. Этот артефакт характерен больше для цифровых камер, чем для сканеров.

Появляющиеся на изображении ложные точки зачастую подавляются за счет применения специальных методов обнаружения точек и алгоритмов интерполяции. В принципе, эти точ-

ки могут наноситься специально в целях стеганографии.

Ложные линии появляются в основном в вертикальном (горизонтальном) направлении на изображении. Они также могут наноситься специально.

Элайзинг возникает в случае, когда частота дискретизации меньше пространственной частоты изображения. Визуально он проявляется в виде муаров на изображении, а также зубчатости контуров. Возможность возникновения элайзинга может быть оценена при помощи метода определения MTF с использованием наклонных линий. Значительная величина этой характеристики в диапазоне свыше половины частоты дискретизации свидетельствует о потенциально возможном возникновении элайзинга при сканировании.

Ложные контуры появляются из-за присвоения одного и того же значения визуально различным смежным областям. Этот артефакт возникает из-за недостаточности динамического диапазона бит на пиксел. Наиболее заметно его проявление в гладких однородных областях. Как правило он не возникает, если глубина кодирования превышает 10 бит/пиксел.

3. Взаимосвязь характеристик сканеров и показателей качества изображений

Как уже отмечалось, важнейшим показателем качества является воспроизведение тонов на отсканированном изображении. На этот показатель влияют такие параметры сканера, как функция оптоэлектронного преобразования, динамический диапазон и проникновение постороннего света.

Под функцией оптоэлектронного преобразования понимается отношение оптической плотности документа к числу уровней, отводимых сканером для ее представления. Измерение этой функции описано в ISO 14524:2009 [4].

Динамический диапазон сканера определяет его способность различать тона. Он обычно покрывает с запасом возможные значения плотности оригинала. Теоретическое значение динамического диапазона зависит только от числа бит, отводимых на кодирование пиксела, как показано в *таблице 3*.

Таблица 3

Теоретическое значение динамического диапазона для различных бит/пиксел

Число бит	8	10	11	12
Динамический диапазон	2,4	3,0	3,3	3,6

Однако к данным, приведенным в *таблице 3*, надо отнестись скептически, так как они не учитывают влияния шумов и постороннего света, которые уменьшают значение динамического диапазона. Проникновение постороннего света на оригинал при сканировании уменьшает динамический диапазон сканера. Особенно чувствительны к этому материалы с низкой оптической плотностью. В целом же различные искажения имеют разные весовые коэффициенты в общем качестве изображения при сканировании различных оригиналов. В *таблице 4* приведены оценки важности тех или иных искажений. «5» здесь означает «очень важно», 1 – «не важно».

Авторы выражают надежду на то, что учет рассмотренных в статье артефактов сканирования позволит проектировщикам строить защищенные стеганографические системы.

Литература

1. Грибунин В.Г., Игнатенко И.А. Классификация стеганографических алгоритмов // Известия института инженерной физики, 2013. №1 (27). С.22-24.

2. Харитонов А.Г., Ткаченко Н.А. Сравнительный анализ аналоговых и цифровых технологий для выработки и применения технологических решений, обеспечивающих восстановление угасающих текстов и архивных документов / Аналитический отчет. М.: ВНИИДАД, 2012. 52 с.

3. http://www.imaging.org/ist/resources/standards/Digital_Camera_Noise_Tools.cfm

4. http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber= 43527

Таблица 4

Весовые коэффициенты различных показателей качества изображений

	Чертеж	Полутон	Ч/б фото	Текст	Стекло
Разрешение	5	5	3	3	5
Динамический диапазон	3	2	4	2	5
Баланс серого	2	1	5	2	4
Блики	1	1	4	1	5
Шум	1	1	2	1	3
Элайзинг	5	5	3	4	2
Неравномерность	2	2	1	2	4
Ложные точки/линии	2	1	4	1	5

УДК 519.688

АНАЛИЗ МЕТОДОВ УМЕНЬШЕНИЯ РАЗМЕРОВ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Дмитрий Александрович Токарев
заместитель начальника отдела –
начальник группы УПМИ и СП
Министерство обороны России
Москва

Вадим Геннадьевич Грибунин
доктор технических наук
главный научный сотрудник
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)35-31-93

Игорь Александрович Игнатенко
научный сотрудник
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)35-31-93

В статье рассмотрены подходы к решению задачи получения уменьшенной копии изображения (thumbnail – слепка). Сначала разбираются возможные методы, затем – реализация методов в некоторых известных пакетах программ. В конце статьи описаны особенности слепков в заголовках изображений, хранимых в стандарте JPEG. Этот формат заголовка, называемый EXIF, широко применяется в цифровых фотоаппаратах.

The article discusses approaches to solving the problem of obtaining a reduced copy of the image (thumbnail – cast). Please understand possible methods, then – implementation of methods known in some software packages. At the end of this article describes the features of the casts in the image header, stored in standard JPEG. This header format called EXIF, widely used in digital cameras.

Ключевые слова: изображение, слепок, изменение размера, децимация, интерполяция, элайзинг, JPEG.

Keywords: image, thumbnail, resize, decimation, interpolation, aliasing, JPEG.

1. О важности изучения методов уменьшения изображений

На практике часто приходится сталкиваться с необходимостью изменения размера изображения, как правило, с необходимостью его уменьшения. Например, эту задачу должно выполнять программное обеспечение web-серверов, учитывая опережающий рост количества пикселов в матрицах цифровых фотоаппаратов (ЦФ) по сравнению с количеством пикселов экранов мониторов. В самом ЦФ также обычно создается слепок, который размещается в заголовке файла изображения.

ЦФ разных производителей используют различные алгоритмы получения слепков, которые нигде не опубликованы. Вместе с тем, при решении ряда криминалистических задач исследования файлов изображений эти алгоритмы знать необходимо. Зачастую алгоритм получения слепков в ЦФ удается восстановить методом проб и ошибок, что существенно быстрее проведения реверсинга программного обеспечения ЦФ. Для создания набора тестов для метода проб и ошибок необходимо хорошо представлять себе общие принципы получения уменьшенных копий изображений, которые и рассмотрены далее. Кроме того, знание этих принципов поможет разработчикам стеганографических систем, использующих размещение заполненных контейнеров на сервисах, выполняющих изменение размера изображения.

2. Основные принципы изменения размеров изображения

Рассмотрим постановку задачи уменьшения размеров изображения. Пусть дано цветное изображение x размером $N \times N$, 24 бит/пиксел. Необходимо получить уменьшенную копию изображения размером $N/M \times N/M$, где M – коэффициенты уменьшения изображения по горизонтали и вертикали (для краткости изложения примем эти коэффициенты равными).

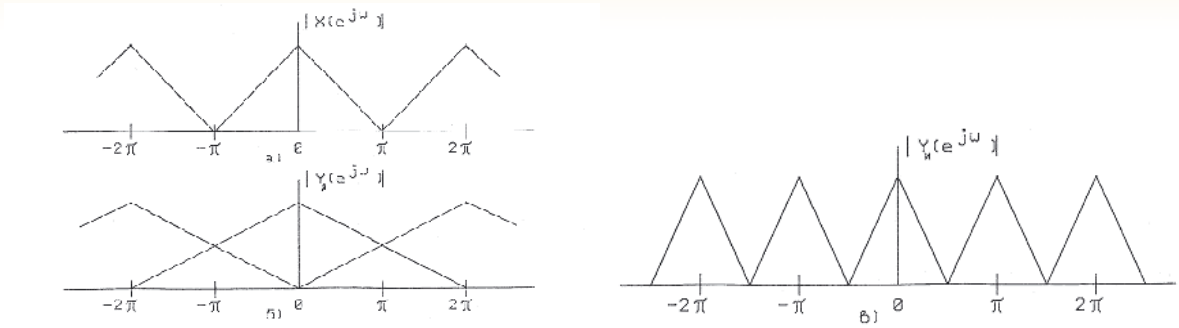


Рис. 1. Эффекты, возникающие при децимации и интерполяции (случай N=2):
а) спектр исходного сигнала; б) эффект наложения при децимации; в) эффект отражения при интерполяции [2].

Основными кодировками для цветного изображения являются RGB-кодировка и YUV-кодировка. В обеих кодировках каждая из трех компонент может быть масштабирована независимо от другой. Поэтому рассмотрим проблему масштабирования полутонового изображения, 8 бит/пиксел.

Наиболее простым решением этой задачи было бы просто удалить все пикселы, кроме каждого m-го, как по горизонтали, так и по вертикали. Эта операция называется прореживанием или децимацией в M раз и ее выполняет дециматор. Дециматор характеризуется следующим соотношением между входом и выходом для каждого n отсчета, например, по горизонтали:

$$y(n) = x(Mn), \qquad (1)$$

то есть на выходе дециматора имеются только отсчеты с номерами, кратными M. В частотной области дециматор описывается следующим выражением:

$$Y(e^{j\omega}) = X(e^{j\omega M}). \qquad (2)$$

Такой подход имеет два недостатка. Во-первых, из каждых M пикселов $M-1$ не участвует в формировании уменьшенной копии, то есть в ней могут быть не отражены какие-то важные черты оригинала. Во-вторых, прореживание в пространственной области приводит к появлению множества спектров сигнала и их пропорциональному расширению, как это показано на *рисунке 1*. Как видно из *рисунка 1*, если прореживание в M раз применяется к сигналу, чья нормированная частота больше $2\pi/M$, наложения спектров не избежать. Это наложение спектров называется элайзингом [1] и приводит к существенному искажению изображения. Для избежания элайзинга необходима предварительная

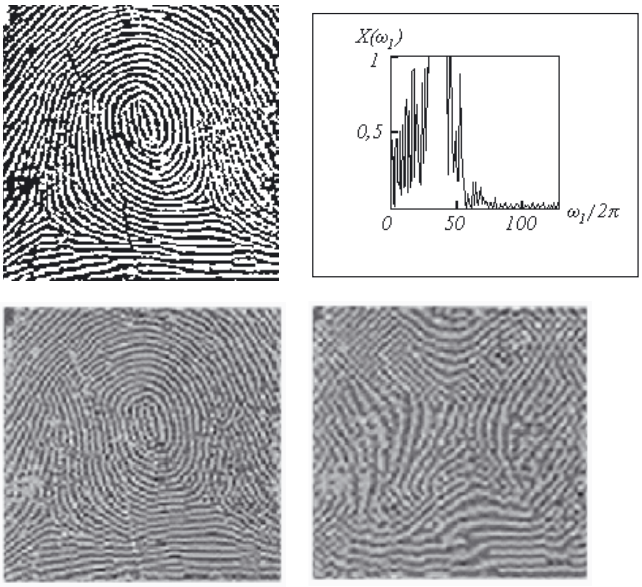


Рис. 2. Проявление эффекта элайзинга. Вверху показано исходное изображение и его спектр.
Внизу слева – изображение, прореженное в три раза, справа – в четыре раза.

низкочастотная фильтрация изображения. Тем самым одновременно преодолевается и первый недостаток: в формировании масштабированной версии теперь уже принимают участие все пикселы исходного изображения.

Проявление эффекта элайзинга показано на *рисунке 2*. Вверху приведено исходное изображение и одно из сечений его нормированного спектра. Данное изображение является дискретным, а в качестве граничной частоты использовано значение $\omega_1 = 2\pi \cdot 128$. Как следует из *рисунка 2*, значение спектра на этой частоте пренебрежимо мало, что гарантирует качественное восстановление. В нижнем ряду *рисунка 2* показаны последствия от неправильного выбора интервалов дискретизации при прореживании его отсчетов. Слева показано изображение, прореженное в три раза, справа – в четыре. Это было бы допустимо, если бы значения граничных частот были ниже в такое же число раз. Из-за эффекта элайзинга изображения оказываются не только расфокусированными, но и сильно искажают текстуру отпечатка.

Оператор последовательного применения фильтрации и прореживания называется фильтром-дециматором. При помощи него можно получить копию изображения, уменьшенную в M раз. А как же получить изображение, уменьшенное, например, в 2/3 раз? Наилучшим выходом является выполнение предварительного «расширения» его в два раза, а затем – децимация в три раза. Это «расширение» называется интерполяцией и может быть реализовано разными способами, в зависимости от того, как мы находим новые пикселы. Простейшим подходом было бы принять значение нового пиксела равным значению ближайшего к нему (кусочно-постоянная интерполяция). Другим методом является нахождение значение нового пиксела, как среднего арифметического между соседними пикселами (линейная интерполяция). При участии в формировании нового пиксела более двух пикселов получаем квадратичную, кубическую интерполяции и т.д.

Другим подходом к решению задачи интерполяции, наиболее развитым в цифровой обработке сигналов, является применение фильтра-интерполятора. При этом между соседними пикселами ставится необходимое число нулей, а затем результат фильтруется для избежания наложений спектра (см. *рисунок 1*).

Действие L-кратного интерполятора описывается выражением

$$y(n) = \begin{cases} x(n/L), & n \mid L \\ 0, & \textit{иначе}, \end{cases} \qquad (3)$$

где $n \mid L$ означает n делит L. То есть выходной сигнал образуется при помощи вставки между соседними отсчетами входного сигнала L-1 нулевых отсчетов. Выходной сигнал имеет z-преобразование вида

$$Y(x) = X(z^L). \qquad (4)$$

Выражение (4) означает, что спектр сигнала на выходе интерполятора является сжатым в L раз спектром входного сигнала (см. *рисунок 1в*). Появление в пределах основного периода $[-\pi, \pi]$ копий основного спектра называется эффектом отражения.

Таким образом, уменьшенное в L/M раз по каждой координате изображение можно получить путем последовательного применения фильтра-интерполятора в L раз и фильтра-дециматора в M раз. Заметим , что две НЧ-фильтрации, применяемые в этом алгоритме друг за другом , можно заменить одной. Для этого частоту среза единого НЧ-фильтра нужно выбрать равной минимуму из частот среза двух отдельных НЧ-фильтров.

Приведенный алгоритм требует достаточно большого объема вычислений. Существует способ существенно повысить быстродействие алгоритма и сократить расход памяти. Этот способ называется полифазной фильтрацией.

Он основан на том, что в длинном промежуточном сигнале совсем необязательно вычислять все точки. Ведь большая часть из них все равно будет отброшена при прореживании. Поэтому можно непосредственно выразить отсчеты результирующего сигнала через отсчеты исходного сигнала и антиэлайзингового фильтра. На *рисунке 3* представлены два «замечательных равенства» теории полифазной фильтрации, позволя-

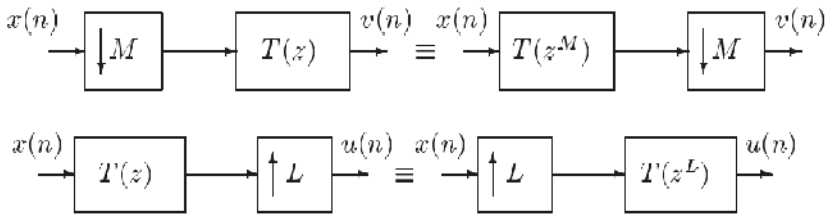


Рис. 3. «Замечательные равенства» полифазной фильтрации

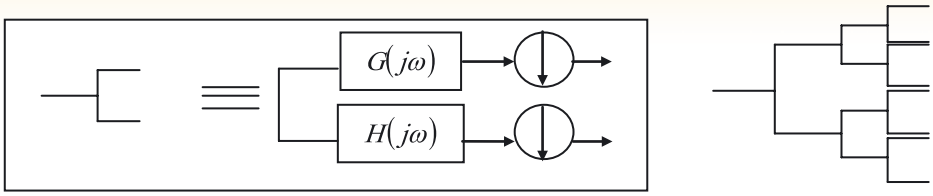


Рис. 4. Пример древовидной схемы фильтрации, выполняющей аналогичное ДПФ разбиение спектра

ющие менять местами операторы фильтрации и децимации/интерполяции:

Недостатком «покоординатного» масштабирования является то, что операции фильтрации выполняются только в вертикальном и горизонтальном направлении, что не позволяет учитывать диагональные взаимосвязи между пикселами исходного изображения. Естественным путем преодоления этого недостатка является применение двумерного фильтра с круговой диаграммой направленности, например, колоколообразного гауссовского импульса. Несмотря на то, что методы построения таких фильтров хорошо известны, этот подход не нашел применения на практике из-за его большой сложности. Кроме того, при этом возникает довольно сложный вопрос – как, на какой сетке осуществлять дискретизацию изображения? Степеней свободы здесь намного больше, чем в одномерном случае. Известными видами сеток дискретизации являются, например, прямоугольная, шахматная, гексагональная сетки.

Вообще говоря, существует простейший двумерный фильтр – сглаживающий – который можно было бы использовать для предварительной фильтрации. Этот фильтр реализует операцию усреднения пикселов, сосредоточенных в узлах сетки дискретизации в окрестности данного пиксела размерностью M. Результат усреднения сохраняется, а вся окрестность – удаляется. Хорошим свойством такого метода является то, что средняя локальная энергия исходного изображения и его уменьшенной копии будут равны. Недостатком этого фильтра является «излишняя» прямоугольность его импульсной характеристики. Известно, что прямоугольной импульсной характеристике соответствует бесконечной протяженности частотная характеристика вида $(\sin x)/x$. Из-за этого после дискретизации возникают помехи наложения спектра. Поэтому на практике для предварительной фильтрации применяют одномерные фильтры с «хорошими» импульсными и частотными характеристиками.

Вообще говоря, предварительная фильтрация приводит к сглаживанию не только текстурных областей (что хорошо), но и контуров. В литературе известны предложения по преодолению этого недостатка путем применения двумерного адаптивного фильтра, изменяющего размер и направленность своей апертуры в зависимости от локального контекста. Такой фильтр как бы следует вдоль контуров, оставляя контуры четко выраженными. Из-за сложности реализации этот метод не нашел применения.

Для получения уменьшенной в произвольное число раз копии изображения необходимо проектировать соответствующий фильтр. Избежать этой сложности позволяют итеративные, древовидные схемы фильтрации (*рисунок 4*). Пусть M является составным числом, например, степенью двойки. Тогда достаточно разработать один фильтр, «вырезающий» половину спектра и при-

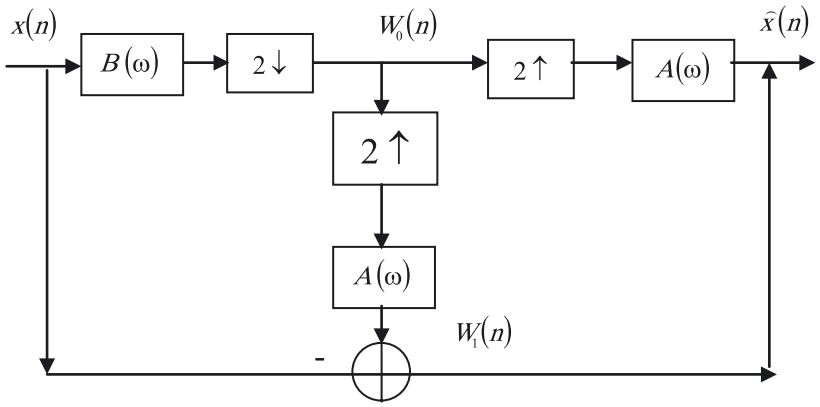


Рис. 5. Схематическое изображение одного уровня пирамиды Лапласа

менить его в сочетании с прореживанием в два раза $\log_2 M$ раз.

Одной из первых итеративных схем, примененной для кодирования изображения, является пирамида Лапласа [3], представляющая собой каскадно включенные гауссовские фильтры. Схема получения одного уровня пирамиды Лапласа (для одномерного сигнала) показана на *рисунке 5*.

Сигнал пропускается через НЧ-фильтр $B(\omega)$ и затем прореживается. В результате получается низкочастотная субполоса W_0. Высокочастотная субполоса W_1 формируется за счет последовательного выполнения следующих операций: интерполяции W_0, свертки с интерполирующим фильтром $A(\omega)$ и вычитания результата из исходного сигнала. Реконструкция сигнала происходит путем интерполяции W_0, свертки с интерполирующим фильтром $A(\omega)$ и сложения с W_1. Восстановленный сигнал точно соответствует исходному, вне зависимости от выбора фильтров $A(\omega)$ и $B(\omega)$. Полная пирамида строится рекурсивно, с применением схемы *рисунка 5* к низкочастотной субполосе. Фильтры $A(\omega)$ и $B(\omega)$ обычно выбираются одинаковыми НЧ фильтрами, хотя лучшие результаты в кодировании достигаются при независимом выборе фильтров.

Известным примером древовидных итеративных схем является банк фильтров вейвлет-преобразования [3]. Для получения уменьшенной в 2^M раз копии достаточно выполнить M-уровневое вейвлет-преобразование и взять в качестве слепка самую низкочастотную часть (*рисунок 6*).

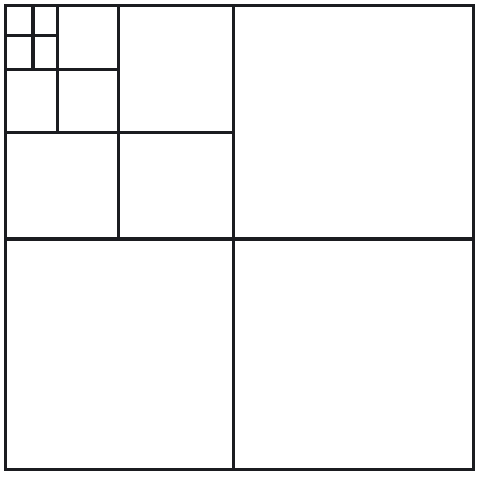


Рис. 6. НЧ-область четырехуровневого вейвлет-преобразования имеет размер в 256 раз меньший, чем исходное изображение

3. Методы получения слепков в программном обеспечении

Рассмотрим, как получаются слепки в некоторых программных продуктах, у которых доступен исходный код алгоритмов. Одной из наиболее известной систем производства математических вычислений является Matlab. Реализованные в ней алгоритмы прошли проверку временем. Рассмотрим, как выполняется в Matlab масштабирование изображений.

При масштабировании предусмотрено три типа интерполяции: билинейная, бикубическая и повтор соседнего значения. В первых трех случаях для исключения элайзинга предварительно выполняется низкочастотная фильтрация. По умолчанию используется двумерный фильтр размером 11×11, но можно использовать и фильтры собственной разработки. Импульсная и частотная характеристика фильтра для случая масштабирования в 2 раза показана на *рисунке 7*. С увеличением коэффициента прореживания полоса пропускания фильтра уменьшается.

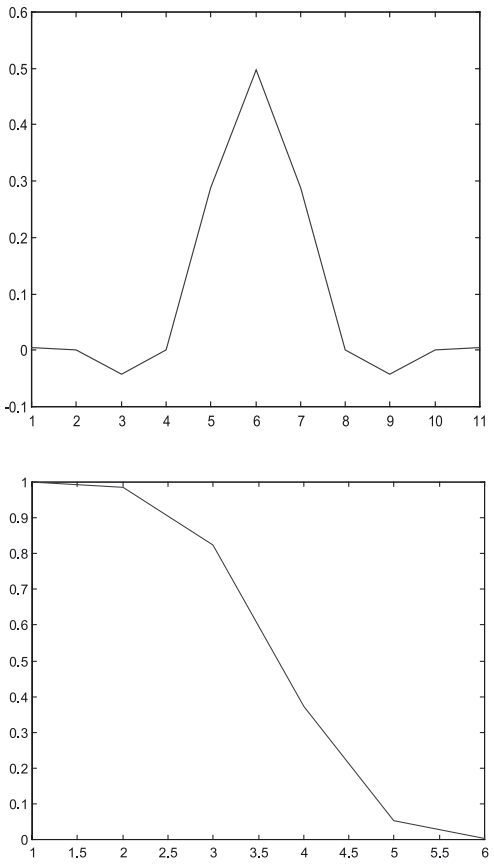


Рис. 7. Импульсная и частотная характеристика фильтра-интерполятора, применяемого в Matlab для масштабирования изображений (в 2 раза)

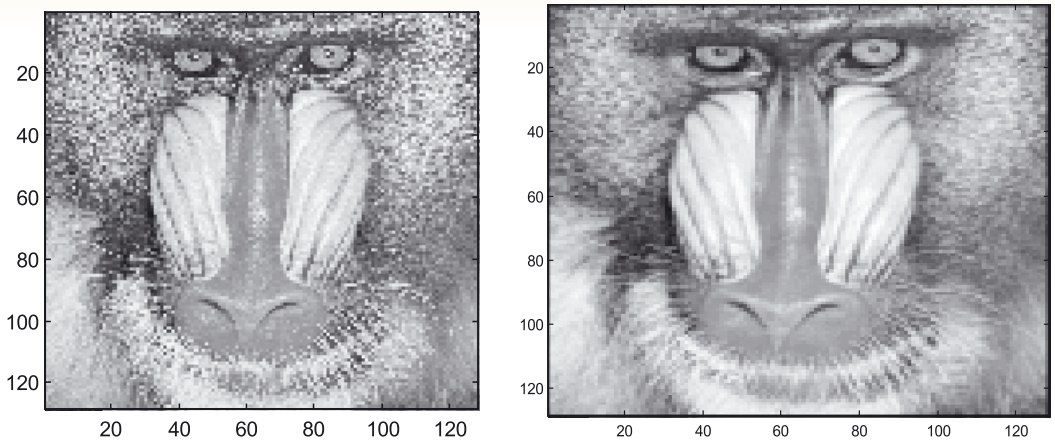


Рис. 8. Уменьшенные изображения при интерполяции с повтором соседнего значения (слева) и бикубической интерполяции (справа).

На *рисунке 8* представлены уменьшенные в 16 раз изображения "Baboon" для двух типов интерполяции. Как видно из рисунка 8, интерполяция с повтором соседнего значения дает намного худшие результаты. Билинейная интерполяция дает примерно тот же результат, что и бикубическая и поэтому результат ее применения не показан.

Широко известной библиотекой для обработки изображений является библиотека Paintlib, представляющая собой совокупность функций для обработки изображений, написанных на языке C++. Она распространяется, как open source фирмой Telecom Corporation и позволяет работать с изображениями большинства форматов.

При масштабировании изображений в библиотеке в качестве НЧ-фильтров применяется фильтр (1,1), а также оконные функции Гаусса и Хэмминга. Интерполяция – билинейная.

В библиотеке JPEGLib, написанной на языке C и свободно распространяемой Independent JPEG Group, масштабирование выполняется только с применением НЧ-фильтра (1,1). В комментариях указано, что для получения лучшего качества желательно применять другие фильтры.

В библиотеке для работы с изображениями TIFF, написанной на C и свободно распространяемой SGI, масштабирование реализовано для черно-белых изображений. Особенностью является то, что слепки – полутоновые, 8-битные. При получении слепков можно задать не только масштабирование пространственных координат, но и масштабирование цвета (так называемая контрастная кривая, отображающая цвета изображения в цвета слепка). Обычно используется линейное отображение, но может быть задан и экспоненциальный профиль кривой, как это показано на *рисунке 9*.

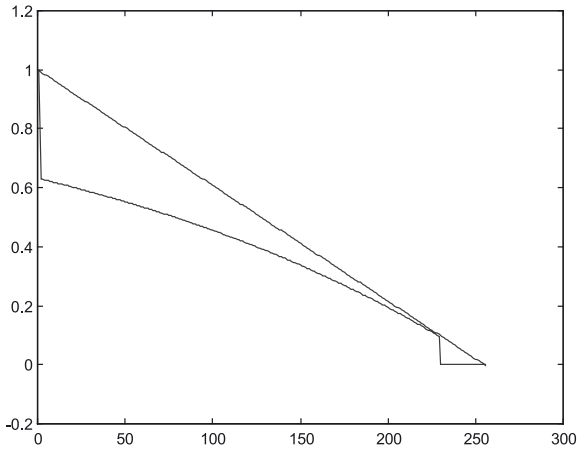


Рис. 9. Линейный и экспоненциальный профили масштабирования цветов при получении слепка

4. Особенности слепков в файлах стандарта JPEG

Получение слепков в стандарте JPEG не описано. Указано, что существует три разновидности слепков: сжатые JPEG 24-битные и несжатые – 24-битные и 8-битные цветные палетизированные изображения. Можно предположить, что сжатые получаются за счет отбрасывания коэффициентов ДКП исходного изображения. Например, если оставить только DC-коэффициенты в каждом блоке, то размер получившегося изображения будет в 64 раза меньше исходного. Несжатые 24-битные слепки получаются за счет схем децимации/интерполяции. Механизмы получения палетизированных изображений также хорошо известны.

Наиболее распространенным форматом

JPEG-файлов является JFIF (File Interchange Format). Его синтаксис предусматривает возможность помещения вначале файла слепка одного из вышеприведенных видов с указанием размера слепка. Другой формат, широко применяющийся в цифровых фотокамерах – EXIF. Его особенностью являются дополнительные поля в заголовке файла, описывающие модель камеры, ее настройки и т.д. В заголовке также помещается слепок изображения объемом около 10 кБайт. Этот слепок используется только при просмотре многих изображений на дисплее камеры и не используется даже при просмотре изображений по одному из-за его плохого качества. Также его не использует программное обеспечение, поставляемое в комплекте с камерой, как показал эксперимент, заключающийся в удалении этого слепка из заголовка изображения.

Одной из разновидностей режима кодирования JPEG является прогрессивное, иерархическое кодирование. При этом файл представляет собой совокупность грубой аппроксимации изображения и ряда «добавок», последовательно улучшающих качество изображения, то есть оно как бы проступает на экране. Хотя это нигде и не упоминается, представляется возможным использование грубой аппроксимации изображения в качестве слепка.

В рекомендации МСЭ T.81 «Information technology – digital compression and coding of continuous-tone still images – requirements and guidelines» описана следующая процедура получения копий изображений с различными разрешениями. Вначале изображение прореживается, затем прореженное изображение интерполируется. Интерполированный образ вычитается из исходного, получается «добавка», и вся процедура повторяется уже для интерполированного изображения. Конкретный тип фильтров не регламентирован, но в качестве примера приведен фильтр (1,1) в дециматоре и (1,2,1) в интерполяторе (билинейная интерполяция).

5. Заключение

Таким образом, основной операцией получения слепков является децимация, которая включает в себя фильтрацию и прореживание. Наиболее простым фильтром является одномерный фильтр с коэффициентами (1,1). Для получения слепков с размерами некратными исходному изображению, лучшим решением является выполнение предварительной интерполяции. Наиболее часто встречающимся алгоритмом является билинейная интерполяция (коэффициенты фильтра (1,2,1).

Получение слепка является однонаправленной функцией: по слепку исходное изображение в общем случае получить невозможно. Исключение наступает, когда ширина спектра исходного изображения составляет меньшую долю от всей полосы частот, чем значение коэффициента децимации. Так, изображение, показанное на *рисунке 2*, может быть прорежено в два раза практически без потери информации. Следовательно, и обратное восстановление теоретически будет возможным. Ограниченность спектра как раз и означает, что пропущенные пикселы не могут быть произвольными, а должны иметь некторые определенные значения. Все же на практике совершенно точно восстановить изображение без дополнительной информации не удается.

При наличии исходного изображения и его слепка теоретически сложно восстановить алгоритм получения последнего, так как алгоритмов существует бесконечно много (так же как и цифровых фильтров). Однако на практике часто существует такая возможность, так как реально применяется ограниченное подмножество фильтров и алгоритмов уменьшения изображений.

JPEG-файлы обычно хранятся в формате JFIF. В нем предусмотрено хранение в заголовке файла слепков трех видов: сжатых JPEG, несжатых 24-битны, несжатых палетизированных 8-битных. В цифровых фотоаппаратах часто применяется формат EXIF, отличающийся в основном добавлением информации о камере и ее настройках. В нем хранится слепок в сжатом виде, обычно объемом около 10 кБайт.

Сжатие по методу JPEG с потерями является однонаправленной функцией. Потери необратимы и восстановить исходное изображение невозможно. Точно также в общем случае из JPEG-изображения невозможно восстановить несжатый слепок, имеющийся в файле и полученный из исходного изображения.

Литература

1. Каплун Д.И., Ежов С.Н. Особенности реализации цифровой фильтрации с изменением частоты дискретизации // Современные проблемы науки и образования, 2012. №6. [Электронный ресурс] http://www.science-education.ru/106-7363

2. Грибунин В.Г. Глоссарий по цифровой обработке сигналов [Электронный ресурс] http://www.autex.spb.su/download/dsp/books/dsp_glossary.pdf

3. Воробьев В.И., Грибунин В.Г. Теория и практика вейвлет-преобразования. СПб: Издательство ВУС, 1999. 208 с.

УДК 004.032.26

ВАРИАНТ ПОСТРОЕНИЯ ДВУХУРОВНЕВОГО НЕЙРОСЕТЕВОГО ИДЕНТИФИКАТОРА ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Валентин Александрович Перехожев
старший помощник начальника отдела организации научной работы и подготовки НПК
Военная академия войсковой ПВО ВС РФ им. А.М. Василевского
Адрес: 214027, г. Смоленск, ул. Котовского, д. 2
Тел.: +7(910)781-18-61
E-mail: pvapvo@mail.ru

Дмитрий Геннадьевич Митрофанов
доктор технических наук, профессор
Военная академия войсковой ПВО ВС РФ им. А.М. Василевского
Адрес: 214027, г. Смоленск, ул. Котовского, д. 2
Тел.: +7(4812)41-57-41

Обоснована необходимость применения нейросетевых технологий для идентификации летательных аппаратов (ЛА) по совокупности признаков. Выбрана структура рекомендуемого нейросетевого идентификатора (НСИ). Получены количественные оценки идентификации ЛА различными НСИ. Предложена структура двухуровневого нейросетевого идентификатора, объединяющего признаки разной размерности. Описаны алгоритмы его работы. Сформулированы принципы построения подобных НСИ.

The article proves the necessity of applying network technologies for aircraft identification based on cumulative evidence. The structure of recommended network identifier is given. Quantitative evaluation of the process of aircraft identification by use of different network identifiers is obtained. The structure of two-level network identifier integrating attributes of different dimensions is proposed. The algorithm of its operation is described. The principles of constructing similar network identifiers are formulated.

Ключевые слова: идентификация, нейросетевой идентификатор, признаки идентификации, структура нейронной сети.

Keywords: identification, network identifier, characteristics of identification, the structure of neural network.

При существующем разнообразии летательных аппаратов (ЛА) особое место в организации воздушного движения (ВД) занимает их классификация и идентификация. Это необходимо для упорядоченного и организованного управления ВД ЛА, для адекватной реакции служб контроля ВД на возникновение внештатных ситуаций и, что в последнее время особенно актуально, проведения мероприятий антитеррористической деятельности.

В настоящее время в эксплуатации находятся только системы классификации, позволяющие с высокой вероятностью устанавливать класс ЛА. При этом задача идентификации ЛА только прорабатывается, теоретически обосновывается и чаще всего решается на уровне моделирования за счет создания более современных алгоритмов и реализующих их программ.

Информация, используемая при классификации и идентификации ЛА, извлекается из совокупности признаков, получаемых при исследовании отраженных от ЛА радиолокационных сигналов. Признаки делятся на траекторные, поведенческие и сигнальные. Применение отдельно взятого признака не всегда обеспечивает надежную классификацию и тем более идентификацию ЛА. Так, например, траекторные признаки для ЛА различных классов иногда имеют одинаковые значения. Сигнальные признаки при изменении ориентации ЛА в пространстве также могут стать малоинформативными для разделения ЛА на классы и типы. Для снижения ошибок необходимо объединять сигнальные и траекторные признаки в одном алгоритме распознавания, что может существенно повысить вероятность верного решения. Дополнительную сложность при разработке эффективных алгоритмов идентификации представляет тот факт, что сигнальные и траекторные признаки могут быть различной размерности (скалярные и векторные).

Одним из перспективных способов классификации и идентификации объектов является при-

менение нейросетевого аппарата [1, 2]. К достоинствам искусственных нейронных сетей (ИНС) можно отнести их способность самостоятельно подбирать веса признаков, влияющих на правильность решения и возможность оперативного переобучения классификаторов (идентификаторов) при изменении условий функционирования (появление нового класса или типа ЛА, изменение летно-технических характеристик и т.д.).

Использование ИНС в настоящее время позволяет получать достаточно высокие оценки вероятности идентификации ЛА при использовании сигнальных векторных признаков, в том числе дальностных портретов (ДлП) [3]. Однако получение достоверных оценок на основе указанного математического аппарата возможно при нахождении ЛА на атакующих курсовых углах (ракурсах). При больших значениях курсового угла ($\gamma > 30°$) вероятность идентификации ЛА снижается, в то время как траекторные признаки могут на этих углах оставаться информативными и охарактеризовывать тип ЛА.

Синтез и обучение ИНС, которая могла бы обеспечить идентификацию ЛА способом комплексирования скалярных и векторных признаков, является новой задачей, призванной повысить вероятность разделения ЛА на типы. Поэтому в процессе нейросетевого моделирования была рассмотрена не возможность традиционного разделения ЛА на классы, а идентификации ЛА в пределах классов по совокупности векторного и скалярного признаков.

Конструирование топологии ИНС (определение типа сети, числа нейронов, структуры связей и т.д.) является важным этапом при построении систем классификации (идентификации), всегда связан с определенной долей творчества и требует учета множества факторов связанных с решением конкретной практической задачи. В настоящее время все большее распространение получают методы математического моделирования с привлечением пакетов прикладного программного обеспечения (ППО). Для получения оценок вероятностей идентификации ЛА был использован математический аппарат ИНС из ППО «Matlab Neural Networks».

На первом этапе было проведено сравнение различных структур ИНС, нашедших наибольшее применение при решении задач идентификации образов. Было выявлено, что при идентификации ЛА наиболее эффективно, с минимальными временными и аппаратными затратами, могут быть использованы три топологии ИНС: двухслойная нейронная сеть с прямой передачей сигнала, многослойный персептрон и радиально-базисная сеть. На основании результатов проведенного моделирования сделан вывод о высокой эффективности двухслойной нейронной сети с прямой передачей сигнала.

Для дальнейших исследований, по результатам анализа различных структур построения систем распознавания, использующих ИНС, было выбрано три варианта. Первый вариант структуры нейросетевого идентификатора (НСИ) представляет собой одноуровневый идентификатор, в котором используемые скалярные признаки подаются на его входы одновременно. Второй вариант структуры НСИ представляет собой одноуровневый идентификатор, на который подаются векторный и дополнительно скалярные признаки. Третий вариант построения НСИ представляет собой двухуровневую схему.

Предлагаемые к использованию признаки предложено предварительно делить на группы скалярных и векторных признаков. Каждая из групп будет использоваться на соответствующем НСИ первого уровня. А полученные решения от каждой группы исследуемых признаков будут подаваться на один (общий) НСИ второго уровня. Этот НСИ, объединяя все решения НСИ первого уровня, должен принимать итоговое решение о типе ЛА.

Для получения оценок вероятностей идентификации ЛА были выбраны следующие признаки отождествления: векторный – ДлП ЛА; скалярные: признаки, извлекаемые из ДлП (нормированное значение m количества разрешаемых рассеивающих центров на ДлП; нормированное значение r расстояния между максимально удаленными рассеивающими центрами в ДлП; нормированное значение k суммы высот пиков от рассеивающих центров); нормированное значение эффективной площади рассеяния (ЭПР) ЛА (нормировка осуществляется относительно максимального значения ЭПР самого крупноразмерного ЛА, причем данный признак используется в сочетании со значением курсового угла γ ЛА); нормированное значение полной скорости ЛА V (нормировка осуществляется относительно максимально возможной полной скорости современных ЛА); нормированное значение высоты полета ЛА H (нормировка осуществляется относительно максимального значения высоты полета ЛА); нормированное значение курсового угла ЛА γ (нормировка осуществляется относительно максимального исследуемого значения ракурса ЛА); сигнальный скалярный признак w, выражающий факт наличия турбовинтового эффекта [4].

При решении задачи моделирования использовались следующие ограничения: сопровождение ЛА ведется в турбулентной атмосфере при

Таблица 1

Усредненные оценки вероятности идентификации ЛА внутри трех классов

Усредненные оценки вероятностей идентификации типов ЛЦ внутри трех классов														
Структура одноуровневого НСИ ЛА по совокупности скалярных признаков					Структура одноуровневого НСИ ЛА по совокупности векторного и скалярных признаков					Структура двухуровневого НСИ ЛА по совокупности векторного и скалярных признаков				
Класс	**1**	**2**	**3**	**$P_{ср}$**	**Класс**	**1**	**2**	**3**	**$P_{ср}$**	**Класс**	**1**	**2**	**3**	**$P_{ср}$**
3дБ	0,58	0,52	0,47	**0,52**	**3дБ**	0,71	0,66	0,64	**0,67**	**3дБ**	0,77	0,72	0,66	**0,72**
5 дБ	0,62	0,54	0,50	**0,55**	**5 дБ**	0,72	0,69	0,65	**0,68**	**5 дБ**	0,79	0,77	0,73	**0,76**
13 дБ	0,66	0,60	0,54	**0,60**	**13 дБ**	0,81	0,77	0,74	**0,77**	**13 дБ**	0,83	0,80	0,78	**0,80**
50 дБ	0,75	0,73	0,65	**0,71**	**50 дБ**	0,93	0,88	0,81	**0,87**	**50 дБ**	0,95	0,90	0,87	**0,90**
Оценка средней вероятности правильного распознавания типов ЛА внутри классов при значениях отношения сигнал-шум не менее 3 дБ														
0,59					**0,75**					**0,79**				

линейных скоростях V=50–500 м/с на дальности 30 км с курсовым углом полета ЛА γ=65°–70° с угловыми скоростями рысканий ψ≈1,5°/с. Средняя несущая частота зондирующего сигнала f_0=10 ГГц. Количество частот N=128. Диапазон перестройки частоты $F_{пер}$=150 МГц. Точность измерения радиальной скорости не хуже 5 м/с. Ошибки сопровождения по дальности ΔR=±(0–64) м. Радиолокационная станция работает в условиях шумовых помех различной интенсивности. Отношение сигнал-шум q составляет q=3–50 дБ на входе приемного тракта. Летательные аппараты находятся в дальней зоне (зоне Фраунгофера), т.е. отраженные от ЛА электромагнитные волны имеют плоский фронт. Среда распространения радиоволн является однородной и изотропной. В моделировании процесса идентификации участвуют пять типов ЛА в каждом из трех классов.

Общие характеристики используемой топологии ИНС: используемая ИНС – двухслойная нейронная сеть с прямой передачей сигнала (используется метод обратного распространения ошибки); алгоритм обучения – пороговый алгоритм обратного распространения ошибки. В качестве функции активации использовалась нелинейная сигмоидальная функция – гиперболический тангенс «tansig». Количество нейронов скрытого слоя определялось опытным путем в зависимости сложности задачи идентификации. Диапазон изменения входных значений признаков от 0 до 1. Критериями обучения (параметры, при достижении заданного значения которых прекращается обучение нейронной сети) являлись среднеквадратичная ошибка настройки весов mse и количество эпох обучения g. Показателем критериев обучения являлись: для mse – 0,0001; для g – 10^5. При создании обучающих и тестовых векторов учитывался такой дестабилизирующий фактор, как шум на входе приемного тракта. При формировании тестовых данных исключались ДлП, использованные в обучающей матрице.

Обобщенные результаты полученных оценок идентификации ЛА для величины отношения сигнал–шум 3 дБ, 5 дБ, 13 дБ и 50 дБ приведены в *таблице 1*.

Анализ приведенных в *таблице 1* результатов свидетельствует, что наиболее эффективной структурой НСИ ЛА по совокупности признаков является структура двухуровневого НСИ ЛА по совокупности векторного и скалярных признаков.

В общем виде структура двухуровневого НСИ ЛА по совокупности векторного и скалярных признаков представлена на *рисунке 1*. В данном НСИ в качестве векторного сигнального признака используется ДлП ЛА. Структура ДлП сильно зависит от курсового угла ЛА. При больших значениях курсового угла (γ>30º) вероятность распознавания (идентификации) ВЦ может снижаться за счет затенения одними элементами конструкции планера других. К тому же портрет одного ЛА на определенном курсовом угле становится похож на портрет другого ЛА. Структура двухуровневого НСИ ЛА по совокупности векторного и скалярных признаков построена по принципу разделения НСИ в соответствии с диапазонами значений курсового угла ЛА. Данную функцию выполняет цифровой коммутатор, который передает совокупность используемых при идентификации ЛА признаков, полученных при определенном значении курсового угла, на ту группу НСИ первого уровня

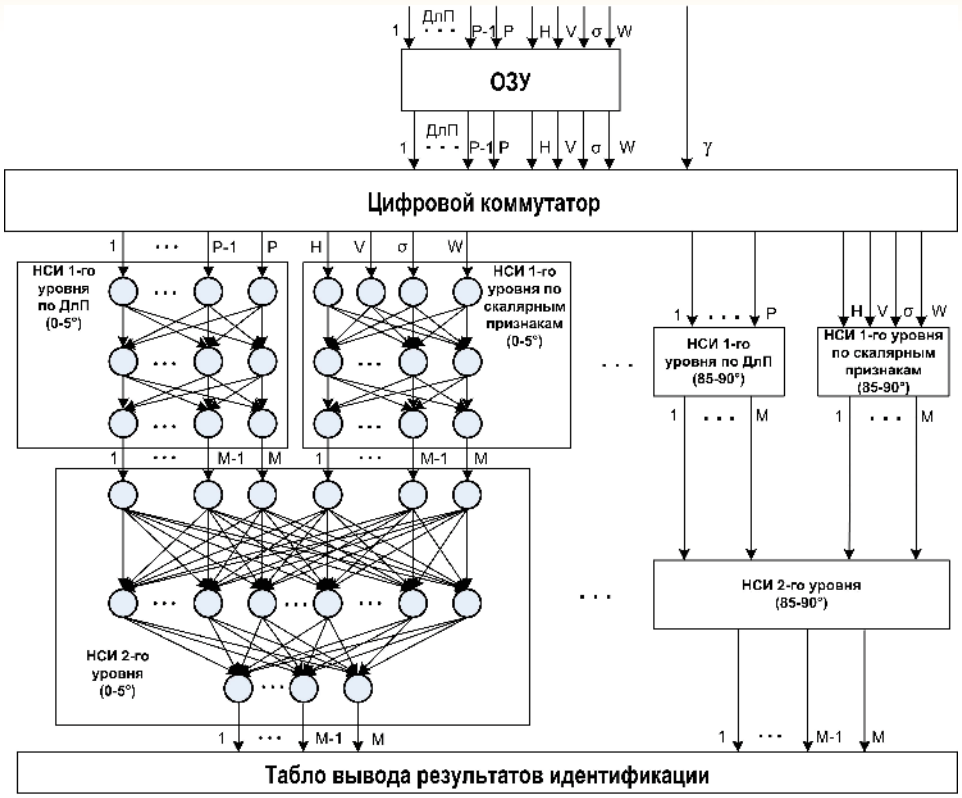


Рис. 1. Структура двухуровневого НСИ ЛА по совокупности признаков

и второго уровня, которая была ранее обучена признаками, полученными в соответствующем диапазоне значений курсового угла.

Формирование обучающих и целевых баз данных и обучение НСИ происходило следующим образом. Для примера будет рассмотрен порядок действий при построении обучающей матрицы для одного из классов. Перед формированием обучающей базы данных была поведена нормировка всех используемых признаков. Исследуемый интервал значений курсового угла ВЦ составлял γ=65–70°. Формирование матрицы ДлП ЛА для каждого из пяти типов ЛА осуществлялось при шаге дискретизации изменения курсового угла ВЦ Δγ=0,2°, при значениях отношения «сигнал-шум» 3, 5, 13 и 50 дБ. Одновременно с матрицей ДлП формировался вектор значений скалярного сигнального признака s «ЭПР ЛА» размерностью 1×500. Для каждого типа ЛА число векторов ДлП составило 100. Для всех ЛА общее число обучающих векторов в пределах класса составило 500. Размерность полученной обучающей матрицы составила 128×500.

После обучающей матрицы формировалась соответствующая ей целевая матрица, для чего использовался специально разработанный алгоритм формирования модифицированной целевой матрицы (МдЦМ). Целесообразность использования МдЦМ была проверена на предварительном этапе исследований. Данная проверка подтвердила возможность повышения вероятности классификации (идентификации) объектов за счет использования МдЦМ.

После формирования обучающих и целевых матриц было проведено конструирование топологии ИНС. Количество входов ИНС – 128 нейрона, количество нейронов первого (скрытого) слоя – 45 нейронов, второго (выходного) слоя – 5 нейронов. После формирования топологии НСИ первого уровня по ДлП было проведено его обучение.

Формирование обучающей матрицы для НСИ первого уровня по скалярным признакам происходило следующим образом. По полученным значениям ЭПР ЛА строилась гистограмма распределения признака ЭПР. Для выбранного типа ЛА определялись минимальная, максимальная, крейсерская скорости и строилась гистограмма распределения признака «полная скорость» по нормальному закону распределения. Шаг дискретизации по изменению скорости – 5 м/с. Аналогичным методом происходило построение гистограммы для признака «высота полета ЛА». Шаг дискретизации по высоте был равным – 100 м. После построения гисто-

грамм распределений признаков «полной скорости ЛА», «высоты полета ЛА» и «ЭПР ЛА» формировался вектор значений каждого признака в заданных интервалах в соответствии с установленным шагом изменения признаков. Далее методом сочетания каждого возможного значения каждого признака с каждым иным признаком была сформирована обучающая матрица размерностью 3×600000. Вектор признака «факт наличия ТВЭ» w формировался следующим образом. Если в пределах выбранного пятиградусного интервала присутствовали отражения от турбин или винтов, то весь вектор заполняется единицами, если нет – то нулями. Длина вектора признака «факт наличия ТВЭ» каждого ЛА устанавливалась равной длине ранее полученной обучающей матрицы признаков скорости, высоты и ЭПР (1×600000). Далее проводилось объединение вектора признака «факт наличия ТВЭ» и обучающей матрицы признаков скорости, высоты и ЭПР ЛА. В результате формировалась обучающая матрица НСИ первого уровня по совокупности скалярных признаков следующего вида (*рисунок 2*).

	1	2	3	4		599999	600000
V	0,6	0,6	0,6	0,6		0,89	0,9
H	0,23	0,23	0,23	0,23		0,68	0,68
σ	0,23	0,24	0,25	0,26		0,65	0,65
w	0	0	0	0		0	0

Рис. 2. Структура обучающей матрицы для НСИ по скалярным векторам первого уровня

Формирование целевой матрицы НСИ первого уровня по совокупности скалярных признаков проходило следующим образом. Из сформированной обучающей матрицы выделялся первый вектор скалярных признаков. Данный вектор состоял из нормированных значений скалярных признаков распознавания

$$b_{lij}\{v_{lij}, h_{lij}, \sigma_{lij}, w_{lij}\},$$

где: l – номер класса ЛА; i – номер типа ЛА в классе l; j – порядковый номер вектора в обучающей матрице.

Предварительно для каждого ЛА в пределах рассматриваемого класса были построены гистограммы распределения используемых скалярных признаков: V, H, σ, w. По правилу обобщенного голосования определялась средняя вероятность принадлежности ЛА по вектору b_{lij} к каждому из типов ЛА. Для этого из построенных гистограмм определялись вероятности принадлежности ЛА в зависимости от вектора b_{lij} к каждому типу выбранного класса ЛА по каждому признаку. Среднюю вероятность принадлежности ЛА к первому типу в пределах первого класса ЛА предложено рассчитывать по формуле $P_{ср111}=(p_{V11}+p_{H11}+p_{\sigma 11}+p_{w11})/4$, где p_{V11} – вероятность принадлежности ЛА к первому типу первого класса ЛА по признаку V; p_{H11} – вероятность принадлежности ЛА к первому типу первого класса ЛА по признаку H и т.д. Средняя вероятность принадлежности ЛА ко второму типу в пределах первого класса ЛА – $P_{ср121}=(p_{V21}+p_{H21}+p_{\sigma 21}+p_{w21})/4$ и т. д. В конечном итоге формировалась целевая матрица, вид которой представлен на *рисунке 3*.

1	2	3	4		599999	600000
$P_{ср111}$	$P_{ср112}$	$P_{ср113}$	$P_{ср114}$		$P_{ср11599999}$	$P_{ср11600000}$
$P_{ср121}$	$P_{ср122}$	$P_{ср123}$	$P_{ср124}$		$P_{ср12599999}$	$P_{ср12600000}$
$P_{ср131}$	$P_{ср132}$	$P_{ср133}$	$P_{ср134}$	•••	$P_{ср13599999}$	$P_{ср13600000}$
$P_{ср141}$	$P_{ср142}$	$P_{ср143}$	$P_{ср144}$		$P_{ср14599999}$	$P_{ср14600000}$
$P_{ср151}$	$P_{ср152}$	$P_{ср153}$	$P_{ср154}$		$P_{ср15599999}$	$P_{ср15600000}$

Рис. 3. Структура целевой матрицы НСИ по скалярным векторам первого уровня

Преимуществом целевой матрицы предложенного вида является использование вероятностного представления характеризующих ЛА признаков, а также совместное использование квазивероятностых и нейросетевых подходов при идентификации.

После формирования обучающих и целевых матриц было проведено конструирование топологии ИНС. Количество входных нейронов ИНС – 4 нейрона, количество нейронов первого (скрытого) слоя – 50 нейронов, второго (выходного) слоя – 5 нейронов. После формирования топологии НСИ первого уровня по скалярным признакам было проведено его обучение.

Нейросетевой идентификатор второго уровня выполнял задачу объединения всех решений первого уровня и принимал итоговое решение о типе ЛА. Для обучения данного НСИ обучающая матрица формировалась следующим образом. По окончании обучения НСИ первого уров-

ня на них повторно подавались обучающие матрицы. В результате были сформированы матрицы откликов НСИ первого уровня. Полученные матрицы откликов объединялись в одну матрицу. Как было указано выше, при формировании обучающего массива ДлП ЛА формировался вектор ракурса ЛА, в котором каждому портрету соответствовало значение используемого при построении ракурса ЛА. Использование «ракурса ЛА» необходимо по причине сжатия ДлП на ракурсах, близких к 90°. Использование курсового угла ЛА в качестве признака может позволить ИНС более корректно производить идентификацию ЛА. Так как матрица откликов НСИ первого уровня получена при подаче на нее ДлП ЛА, то существовала возможность к отклику на конкретный ДлП привязать нормированное значение ракурса ЛА, при котором он был построен. После объединения векторов матрицы откликов НСИ первого уровня на ДлП ЛА с нормированными значениями ракурса ЛА полученная матрица была объединена с матрицей откликов НСИ первого уровня по совокупности скалярных признаков, в результате чего была получена обучающая матрица для НСИ второго уровня. Целевая матрица для НСИ второго уровня формировалась в соответствии с одним из широко распространенных способов формирования целевых матриц для ИНС. Число целевых векторов совпадало с числом векторов совокупности используемых признаков. Целевые вектора являлись двоичными, т.е. состояли из единиц и нулей [5]. Число элементов каждого из целевых векторов совпадало с числом выходов НСИ и соответствовало числу идентифицируемых объектов в классе.

Оценка средней вероятности правильного распознавания типов внутри классов на всех значениях отношения сигнал–шум при использовании двухуровневого НСИ ЛА по совокупности векторного и скалярных признаков оказалась выше, чем при использовании одноуровневого НСИ ЛА по совокупности скалярных признаков или одноуровневого НСИ ЛА по совокупности векторного и скалярных признаков на 20% и 4% соответственно.

В результате проведенного имитационного моделирования процесса идентификации ЛА и в соответствии с полученными результатами были сформулированы принципы построения двухуровневого НСИ ЛА по совокупности векторного и сигнальных признаков. Их можно представить в следующем виде:

- принцип двухуровневости структуры НСИ;
- принцип раздельного принятия предварительных решений по векторному и скалярным признакам на НСИ первого уровня;
- принцип разделения НСИ на группы в соответствии с кластеризацией решений по диапазонам курсовых углов ЛА;
- принцип использования вероятностных мер принадлежности объектов к типам ЛА по совокупности скалярных признаков (учет квазивероятностных правил определения принадлежности объектов к соответствующим типам при формировании обучающих баз данных или целевых матриц для НСИ первого уровня, оперирующего вектором скалярных признаков, что способствует повышению вероятности правильной идентификации ЛА);
- принцип принятия решения по векторным признакам с восстановлением их целостности и устранением неинформативных областей (использование алгоритмов обеспечения целостности и выделения информативной части портрета объекта, сущность которых заключается в устранении эффекта разделения портрета на части окном его просмотра и в исключении из обработки элементов вектора портрета, не содержащих полезной информации об индивидуальных особенностях ЛА);
- принцип использования для обучения сформированной по специальному правилу модифицированной целевой матрицы, которая в отличие от общепринятого варианта целевой матрицы с единичной и нулевой принадлежностью использует вероятностные меры, обусловленные степенью схожести объектов разных типов по векторному или совокупности скалярных признаков.

Результаты исследований, проведенных методом моделирования, показали, что использование только скалярных признаков не позволяет получить высоких оценок идентификации ЛА. Использование двухуровневой структуры построения НСИ и комплексирование высокоинформативного векторного признака со скалярными позволило повысить качественные характеристики идентификации ЛА.

Литература

1. Митрофанов Д.Г., Сафонов А.В. Применение нейросетевой технологии для распознавания целей по радиолокационным изображениям // Нейрокомпьютеры: разработка, применение, 2006. №3. С. 60-68.

2. Митрофанов Д.Г. Нейросетевая идентификация воздушных объектов по радиолокационным изображениям // Измерительная техника, 2006. №2. С. 53-59.

3. Майоров Д.А., Савостьянов В.Ю., Митрофанов Д.Г. Измерение радиальной скорости воздушных объектов в режиме перестройки частоты // Измерительная техника, 2008. №2. С. 43-47.

4. Митрофанов Д.Г., Прохоркин А.Г. Методы компенсации влияния составляющих турбинного эффекта при построении изображений воздушных целей // Радиотехника, 2006. №9. С. 32-37.

5. Многочастотная радиолокационная станция с инверсным синтезированием апертуры и двухуровневым распознаванием целей. Патент РФ на изобретение №2358288 от 29.10.2007. Сафонов А.В., Митрофанов Д.Г.

УДК 621.39

АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК КОНЕЧНЫХ МАРКОВСКИХ ЦЕПЕЙ ПРИ РАЗНЫХ ШАГАХ ПЕРЕХОДОВ

Владимир Анатольевич Цимбал
заслуженный деятель науки РФ,
доктор технических наук, профессор
ведущий научный сотрудник
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)35-31-93

Александр Михайлович Вальваков
доктор технических наук
старший научный сотрудник
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1 а
Тел.: +7(4967)35-31-93

Михаил Юрьевич Попов
кандидат технических наук
докторант
филиал Военной академии РВСН
имени Петра Великого (г. Серпухов)
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17
Тел.: +7(4967 78-92-23

В статье представлен методический подход к анализу характеристик неоднородных конечных марковских цепей при разных шагах переходов. Предложен подход к определению вероятностно-временных характеристик и временных характеристик.

In article final Markov chain with different steps of transitions in which there is a reduction of length of all steps to the minimum is presented. The concept of the fictitious conditions providing adequacy of generated final Markov chain to physical process is thus entered. The approach by definition of is likelihood-time characteristics and time characteristics of non-uniform final Markov chains with identical and different step of transition from a condition in conditions of final Markov chain is offered.

Ключевые слова: сеть передачи данных (СПД), конечная марковская цепь (КМЦ), шаг перехода из состояния в состояния КМЦ, фиктивные состояния, неоднородная КМЦ, временные характеристики, вероятностно-временные характеристики.

Keywords: data transmission network (DTN), final Markov chain (FMC), step of transition from a condition in conditions FMC, fictitious conditions, non-uniform FMC, time characteristics, likelihood-time characteristics.

Конечные марковские цепи (КМЦ) широко используются при описании циклических процессов, проистекающих во многих технических системах, в частности, в системах радиотехнического и телекоммуникационного профиля [1, 2]. Например, процесс функционирования сети передачи данных (СПД) хорошо описывается КМЦ. Это обусловлено тем, что [3, 4]:

- процесс доставки сообщений в СПД является случайным, что вытекает из наличия в каналах связи (КС) помех, приводящих к искажениям передаваемых бит информации;
- физика процесса доставки сообщений в СПД подтверждает соблюдение в нем марковского свойства;
- изменение состояния данного процесса происходит в дискретные моменты времени, вызванные передачей информационного или квитанционного кадров;
- количество состояний рассматриваемого процесса счетно и конечно.

Именно эти свойства и лежат в основе определения такого случайного процесса как конечная марковская цепь. Различают поглощающие и эргодические КМЦ. В первом случае в КМЦ имеется одно или несколько поглощающих состояний, во втором – таковые отсутствуют. Случайный процесс, попав в поглощающее состояние, выйти из него уже не может. Здесь рассматриваются только поглощающие КМЦ.

Основными характеристиками КМЦ, находимыми в различных исследованиях, как правило, являются вероятностно-временные (ВВХ) и временные характеристики (ВХ), при этом исходными данными для анализа являются матрица переходных вероятностей (МПВ) и вектор вероятностей начальных состояний КМЦ.

В случае, когда КМЦ является однородной (МПВ неизменна от шага к шагу) и шаг переходов (ШП) по всей цепи одинаков, нахождение ВВХ и ВХ осуществляется известными подходами теории КМЦ [2-4].

Отметим, что под ВВХ понимается динамика вероятностей состояний КМЦ на i-м шаге, и они описываются уравнением Колмогорова-Чепмена (УКЧ):

$$P^{(i)}_{S_{\langle n\rangle}} = P^{(0)}_{S_{\langle n\rangle}} \cdot P_{[n,n]}. \qquad (1)$$

где $P^{(0)}_{S_{\langle n\rangle}}$ – вектор вероятностей состояний КМЦ на нулевом шаге (вектор начальных состояний);
$P^{(i)}_{S_{\langle n\rangle}}$ – вектор вероятностей состояний КМЦ на i-м шаге;
$P_{[n,n]}$ – МПВ КМЦ.

Под ВХ понимается математическое ожидание (МО) числа шагов $M[L]$, затрачиваемое процессом для перехода из l-го состояния в поглощающее и дисперсия $D[L]$ (среднее квадратическое отклонение $\sigma[L]$ (СКО)) числа таких шагов. Определения ВХ поглощающей КМЦ осуществляется по фундаментальной матрице (ФМ) $N_{[n-r,n-r]}$, получаемой из матрицы $Q_{[n-r,n-r]}$, сформированной из МПВ $P_{[n,n]}$, где r – количество поглощающих состояний КМЦ. ФМ имеет вид:

$$N_{[n-r,n-r]} = (I - Q)^{-1}, \qquad (2)$$

где I – единичная матрица размером $(n-r)\times(n-r)$.

МО числа шагов $M[L]$, затрачиваемое процессом для перехода из l-го состояния в поглощающее, равно сумме элементов последней строки ФМ.

Дисперсия числа шагов $D[L]$ находят по так называемой дисперсионной матрице (ДМ), получаемой по формуле:

$$N_{d[n-r,n-r]} = N_{[n-r,n-r]} \times (2N_{dg[n-r,n-r]} - I) - N_{sg[n-r,n-r]}, \qquad (3)$$

где $N_{dg[n-r,n-r]}$ – диагональная матрица, полученная из ФМ заменой всех элементов нулями, кроме элементов главной диагонали;
$N_{sg[n-r,n-r]}$ – матрица, полученная из диагональной возведением каждого ее члена в квадрат.

Дисперсия числа шагов $D[L]$, затрачиваемых процессом для перехода из l-го состояния в поглощающие, равно сумме элементов последней строки ДМ (3).

Переход к реальному времени при нахождении ВВХ на l-м шаге процесса в классической теории КМЦ осуществляется умножением текущего числа шагов на длину шага $\tau_ш$, т.е. $\tau_ш = l \cdot \tau_ш$. Переход к реальному времени при нахождении МО и дисперсии осуществляется так:

$$M[t] = M[L] \cdot \tau_ш;\ D[t] = D[L] \cdot \tau_ш^2. \qquad (4)$$

Однако во многих практических случаях в КМЦ ШП разные. Это актуально, например, для СПД, у которых процесс доведения сообщений сопровождается как передачей на канальном уровне повтора информационного кадра (ИК), так и квитанционного кадра (КК) о верном или неверном доведении ИК. Учитывая, что длины ИК и КК разные, а скорость передачи информации как в прямом, так и в обратном каналах чаще всего одинакова, возникает проблема определения ВХ и ВВХ по описывающей данный процесс КМЦ с разными ШП. Снять данное ограничение классической теории КМЦ позволяют метод «фиктивных состояний» и метод «среднего шага переходов».

Метод фиктивных состояний заключается в следующем [5, 6]. Среди всех ШП анализируемой КМЦ, кроме перехода «сам в себя», выделяется наименьший и все остальные шаги нормируются по нему. Причем, наименьший ШП рассматриваемой КМЦ является наибольшим общим делителем всех ее ШП. Во все переходы с «длинными» шагами вводится дополнительно фиктивные состояния, причем их число равно норме «длинного» шага по отношению к «короткому» без единицы. Переход в первое фиктивное состояние некоторого перехода осуществляется с имеющейся ПВ, а переходы из одного фиктивного состояния в другое, а также из последнего фиктивного состояния в искомое происходит с вероятностью 1. Таким образом, во всей КМЦ ШП выравнивается по самому короткому шагу. Последнее позволяет использовать классический подход к нахождению ВХ и ВВХ КМЦ.

Недостатком этого метода является существенное увеличение числа состояний КМЦ при большом временном разбросе значений ШП и как следствие – увеличение размеров МПВ. При этом МПВ будет увеличиваться только за счет введения нулевых элементов, что не приводит к её усложнению, а следовательно, и не усложнит трудоемкий процесс нахождения самих переходных вероятностей (ПВ). Однако метод фиктивных состояний при большом числе разных ШП анализируемой КМЦ требует нахождения наибольшего общего делителя и модификации КМЦ, которая становится разреженной, что вызывает сложности при ее обращении.

Для этого случая используется метод среднего шага переходов [4]. Его суть заключается в

следующем. Пусть имеется КМЦ с n состояниями, переходы между которыми происходят с разными шагами. Аналогично МПВ $P_{[n,n]}$ для КМЦ вводится матрица шагов переходов (МШП) $T_{[n,n]}$, при этом каждой ПВ $p_{i,j}$ соответствует свой шаг $\tau_{i,j}(i,j=\overline{1,n})$. КМЦ рассматривается в переходном режиме за L шагов. Распределение вероятностей КМЦ на нулевом шаге задано вектором $P^{(0)}_{S_{\langle n\rangle}}$, финальное распределение вероятностей – вектором $P^{(f)}_{S_{\langle n\rangle}}$. Для каждого i-го состояния КМЦ вводится частный средний ШП во все состояния:

$$t_i=\sum_{j=1}^{n}p_{i,j}\tau_{i,j}=const\,, \qquad (5)$$

и для всей КМЦ средний ШП на текущем ℓ-м шаге $\overline{\tau}_{u_\ell}$.

В основу метода среднего шага переходов положены следующие доказанные утверждения.

Утверждение 1. Средний ШП в КМЦ с разными ШП на каждом текущем шаге ℓ является своим, т.е. если $\tau_{i,j}\neq const$, то:

$$\forall\ell=\overline{0,L}\quad\exists\quad\overline{\tau}_{u_\ell}=\sum_{i=1}^{n}t_i\cdot P^{(\ell)}_{S_{\langle n\rangle}}. \qquad (6)$$

Утверждение 2. Средний шаг в КМЦ с разными ШП зависит от начального распределения вероятностей состояний, т.е. если $\tau_{i,j}\neq const$, то:

$$\forall\ell=\overline{0,L}\quad\exists\quad\overline{\tau}_{u_\ell}=f\left(P^{(0)}_{S\langle n\rangle}\right). \qquad (7)$$

Утверждение 3. Реальное среднее время за L шагов КМЦ с разными ШП $\tau_{i,j}$ равно:

$$\forall\ell=\overline{0,L}\quad\exists\quad t_L=\sum_{\ell=1}^{L}\overline{\tau}_{u_\ell}\,. \qquad (8)$$

Утверждение 4. Дисперсия «среднего шага» в КМЦ с разными ШП на каждом текущем шаге ℓ является своей, т.е. если $\tau_{i,j}\neq const$, то:

$$\forall\ell=\overline{0,L}\quad\exists\quad D\left[\tau_{u_\ell}\right]=\sum_{i=1}^{n}(t_i-\overline{\tau}_{u_\ell})^2\cdot P^{(l)}_{S_{\langle n\rangle}}. \qquad (9)$$

Утверждение 5. Средний ШП эргодической КМЦ с разными ШП с течением времени стремится к постоянной величине, т.е. если $\tau_{i,j}\neq const$, то:

$$\lim_{\ell\to\infty}\overline{\tau}_{u_\ell}=\sum_{i=1}^{n}\tau_i P^{(f)}_{S_i}. \qquad (10)$$

Утверждение 6. Средний ШП поглощающей КМЦ с разными ШП с течением времени стремится к ШП поглощающего состояния, т.е. если $\tau_{i,j}\neq const$, то:

$$\lim_{\ell\to\infty}\overline{\tau}_{u_\ell}=\tau_{n,n}\,. \qquad (11)$$

Утверждение 7. Дисперсия «среднего шага» в эргодической и поглощающей КМЦ с разными ШП с течением времени стремится нулю, т.е. если $\tau_{i,j}\neq const$, то:

$$\lim_{l\to\infty}D\left[\tau_{u_\ell}\right]=0\,. \qquad (12)$$

Утверждение 8. Среднее время перехода КМЦ из состояния i в состояние j при разных ШП равно:

$$\forall\,i,j=\overline{1,n}\quad\exists\quad M[t]=\sum_{k=i}^{j-1}M[S_k]\cdot\tau_k\,, \qquad (13)$$

где $M[S_k]$ – среднее число шагов, проводимых процессом в k-м сообщающемся состоянии (находится по ФМ (2));

τ_k – частный средний ШП для k-го состояния.

Утверждение 9. Дисперсия времени перехода КМЦ из состояния i в состояние j при разных ШП равна:

$$\forall\,i,j=\overline{1,n}\quad\exists\quad D[t]=\sum_{k=i}^{j-1}D[S_k]\cdot\tau_k^2\,, \qquad (14)$$

где $D[S_k]$ – дисперсия числа шагов, проводимых процессом в k-м состоянии (находится по ДМ (3)).

Таким образом, для нахождения ВВХ по методу среднего шага переходов необходимо использовать УКЧ (для нахождения вектора вероятностей состояний) и воспользоваться один раз выражением (5) и на каждом шаге решения УКЧ выражениями (6), (8) и (9) для нахождения длины конкретного шага и длительности всего процесса в целом. Для нахождения ВХ достаточно воспользоваться выражениями (13) и (14) в совокупности с выражением (5).

В телекоммуникационных системах процесс доведения сообщений зачастую имеет нестационарный характер, что объясняется, например, изменением вероятности ошибки на элементарный символ в сеансе связи и др.

Соответствующая таким реальным процессам КМЦ является неоднородной, т.к. компоненты (ПВ) МПВ у неё меняется от шага к шагу. Кроме того, в такой КМЦ ШП могут быть также как одинаковыми, так и разными.

Нахождение ВВХ в неоднородной КМЦ при одинаковых ШП осуществляется по известному УКЧ в следующей модификации [7]:

$$P^{(i)}_{S_{\langle n\rangle}}=P^{(i-1)}_{S_{\langle n\rangle}}\cdot P^{(i)}_{[n,n]}\,, \qquad (15)$$

где $P^{(i)}_{[n,n]}$ – МПВ на i-м шаге КМЦ.

Длительность анализируемого процесса будет зависеть от числа шагов так: $t_{iu}=i\cdot\tau$.

Нахождение ВХ ($M[L]$ и $D[L]$) базируется на получении из МПВ ФМ и ДМ. Но МПВ на каждом шаге КМЦ своя. Следовательно, на каждом шаге l могут быть получены свои $M[L]_l$ и $D[L]_l$. К их усреднению могут быть применены разные подходы. Один из них заключается в следующем. Для всех L шагов находятся МПВ, а затем на их множестве для каждого шага строится матрица дисперсий ПВ. Суммированием всех дисперсий такой матрицы получаем для нее не-

кий коэффициент. Нормируя данные коэффициенты по всему множеству МПВ, получаем весовые коэффициенты для каждой МПВ. Именно они и будут использованы для усреднения $M[L]$ и $D[L]$ на всем множестве шагов.

Нахождение ВВХ в неоднородной КМЦ при разных ШП осуществляется также по УКЧ (15), при этом на каждом шаге УКЧ дает вектор вероятностей состояний. Для нахождения длительности процесса при разных ШП также используется метод среднего шага переходов. При этом на каждом текущем шаге необходимо воспользоваться выражениями (5), (6), (8) и (9) для нахождения длины конкретного шага и длительности всего процесса в целом.

Нахождение ВХ в неоднородной КМЦ при разных ШП осуществляется комбинацией подходов для случая однородной КМЦ и разных ШП и случая неоднородной КМЦ и одинаковых ШП. Это допустимо в силу независимости процедур нахождения среднего текущего шага и процедуры нахождения весовых коэффициентов для усреднения $M[L]$ и $D[L]$ на всем множестве шагов.

Литература

1. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Основы сетей передачи данных. Курс лекций. Учебное пособие. Изд. 2-е, испр. – М.: Интуит.ру «Интернет-университет Информационных Технологий», 2005. 176 с.

2. Казаков В.А. Введение в теорию марковских процессов и некоторые радиотехнические задачи. М.: Сов.радио, 1973.

3. Кемени Джон Дж., Снелл Дж. Ларк. Конечные цепи Маркова / Пер. с англ. М.: Наука, 1970.

4. Цимбал В.А. Качество информационного обмена в сетях передачи данных. Марковский подход. Монография. Серпухов: СВИ РВ, 2009. 161 с.

5. Цимбал В.А., Косарева Л.Н. Метод фиктивных состояний определения характеристик конечных марковских цепей при разной длине шага переходов / VI международная конференция. г. Пущино, 1999. С. 286.

6. Цимбал В.А. Нахождение характеристик реальных процессов на основе метода фиктивных состояний // Измерительная техника, 2001. №12.

7. Цимбал В.А., Попов М.Ю., Дробышев М.Ю. Математическое моделирование процесса доведения сообщения в радиосети без обратной связи с повторениями и накоплением информации / Информационные технологии в проектировании и производстве, 2010. №3. С. 78-83.

8. Цимбал В.А., Дегтярёв В.Б., Богатырёв А.Н. Поиск псевдослучайных последовательностей для систем связи с широкополосными сигналами на основе иррациональных чисел и геномных последовательностей // Известия Института инженерной физики, 2011, №1(19), С. 61-64.

9. Апонасенко А.А., Ваганов И.Н., Цимбал В.А. Марковская модель функционирования запросно-вызывного канала системы связи с ретрансляцией сигналов и предоставлением каналов по требованию. // Известия Института инженерной физики, 2012. №1(23). С. 60-65.

УДК 621.39

ОПТИМИЗАЦИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ TCP НАГРУЗКИ ПО ПАРАЛЛЕЛЬНОМУ СЕТЕВОМУ ТРАКТУ СЕТИ СВЯЗИ С МНОГОМЕРНОЙ МАРШРУТИЗАЦИЕЙ ПАКЕТОВ

Сергей Евгеньевич Орехов
кандидат технических наук
заместитель начальника кафедры
филиал Военной академии РВСН
им. Петра Великого (г. Серпухов)
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17
Тел.: +7(4967)78-97-11

Игорь Викторович Сысоев
главный эксперт отдела
Управление заказов
специальных средств
Тел.: +7(915)127-23-30

Статья посвящена решению задачи оптимального распределения TCP нагрузки по параллельному сетевому тракту сети связи с многомерной маршрутизацией пакетов, позволяющему обеспечить качество обслуживания абонентов при максимуме производительности сети.

The article is considered the TCP traffic distribution optimization criterion by used route control procedure is applied to parallel network highway data transfer into multidimensional pocket routing network allows to provide subscriber QoS in conjunction the network performance maximum.

Ключевые слова: многомерная маршрутизация пакетов, параллельный сетевой тракт, конкурентный маршрут, критерий минимума суммарной относительной задержки пакетов, оптимизация нелинейной целевой функции методом Лагранжа.

Keywords: multidimensional pocket routing, parallel network highway, concurrent route, traffic distribution optimization criterion to find minimum of total relative time-delay, non-linear efficiency function optimization by Lagrange method.

Одним из актуальных направлений повышения качества обслуживания в сетях связи является совершенствование протоколов стека TCP/IP [1], в частности, использование такого решения, как распределение сетевого трафика на основе многомерной маршрутизации пакетов (ММП) [2].

При ММП трафик делится оптимальным способом между несколькими маршрутами и парциально передается по данным маршрутам. Как правило, эти маршруты – непересекающиеся, и поэтому носят название конкурентных маршрутов (КМ). В свою очередь, множество КМ, образующих сетевой тракт передачи IP-трафика, называется параллельным сетевым трактом (ПСТ). Предполагается, что между каждой парой маршрутизаторов сформированы ПСТ согласно имеющейся информации о топологии сети [2].

Каждый КМ ПСТ можно рассматривать как IP-туннель [1]. Трафик по ПСТ должен быть распределен оптимальным образом, в зависимости от выбранного критерия. Критерий оптимальности плана распределения TCP нагрузки, инкапсулированной в IP-трафик, выбирается исходя из требований абонентов по качеству их обслуживания сетью связи [2]. Например, для трафика неинтерактивных абонентов (файловый обмен, электронная почта) характерно достижение максимума производительности сети, или минимизация вероятности потерь по заявкам на обслуживание (вызовам). Данные показатели могут быть достигнуты использованием при решении сформулированной выше задачи оптимизации критерия минимума суммарной относительной задержки IP пакета.

Исходя из изложенного, осуществим формальную постановку задачи оптимизации распределения трафика TCP-соединения по ПСТ сети связи с ММП с учетом критерия минимума суммарной относительной задержки.

В качестве исходных данных выступают:

m – мерность ПСТ, или количество КМ в ПСТ;

$\overline{t}_{d0i}$ – текущая средняя задержка при передаче IP пакета с инкапсулированным сегментом по i-му КМ ПСТ ($i=\overline{1,m}$);

t_{pi} – максимальное время обработки IP заголовка пакета с инкапсулированным сегментом маршрутизаторами i-го КМ ПСТ ($i=\overline{1,m}$);

$\overline{V}_{SGT}$ – среднее количество сегментов, которое поступит в буферные устройства маршрутизаторов ПСТ после установления новых TCP соединений;

$\overline{V}_{\max 0i}$ – максимальное текущее среднее количество сегментов, которое может поступить в буферные устройства маршрутизаторов i-го КМ ПСТ после установления новых TCP соединений ($i=\overline{1,m}$).

Требуется найти такой план распределения $\overline{V}_{SGT}$ сегментов трафика открываемых TCP-соединений по m-мерному ПСТ сети связи с ММП – $\left\{\overline{V}_i, i=\overline{1,m}\right\}$, при котором достигается минимум суммарной относительной задержки $\delta_\Sigma(m)$:

$$\delta_\Sigma(m)=\sum_{i=1}^{m}\left(1-\frac{\overline{\gamma}_{oi}}{\overline{\gamma}_{oi}+\overline{V}_i}\right)\to\min, \qquad (1)$$

где $\overline{\gamma}_{oi}$ – текущее среднее количество сегментов, которое находится в буферных устройствах маршрутизаторов i-го КМ ПСТ ($i=\overline{1,m}$):

$$\overline{\gamma}_{oi}=\overline{t}_{d0i}/t_{pi}\ . \qquad (2)$$

При минимизации целевой функции (1) должны выполняться следующие ограничения:

ограничение-равенство:

$$\sum_{i=1}^{m}\overline{V}_i=\overline{V}_{SGT}\ , \qquad (3)$$

ограничения-неравенства:

$$0\le\overline{V}_i\le\overline{V}_{SGT}, i=\overline{1,m}\ , \qquad (4)$$

$$\overline{V}_i\le\overline{V}_{\max 0i}, i=\overline{1,m}\ . \qquad (5)$$

Сформулированная задача оптимизации относится к классу задач нелинейного программирования с активными и неактивными ограничениями, решение которых базируется на теореме Куна-Таккера [3]. Согласно данной теореме решение, если оно существует, может быть найдено методом Лагранжа путем минимизации одноименной функции, включающей в себя целевую функцию и ограничения, умноженные на соответствующие множители. Однако при этом должны выполняться условия дополняющей нежесткости, а множители одновременно не принимать нулевые значения.

Воспользуемся теоремой Куна-Таккера для решения поставленной задачи, предварительно выполнив упрощение целевой функции (1) и раскрытие двойного неравенства (4):

$$\begin{cases}\sum\limits_{i=1}^{m}\dfrac{\overline{V}_i}{\overline{\gamma}_{oi}+\overline{V}_i}\to\min\\ \overline{V}_{SGT}-\sum\limits_{i=1}^{m}\overline{V}_i=0\\ \overline{V}_i-\overline{V}_{SGT}\le 0, i=\overline{1,m}\\ -\overline{V}_i\le 0, i=\overline{1,m}\\ \overline{V}_i-\overline{V}_{\max 0i}\le 0, i=\overline{1,m}\end{cases}\ . \qquad (6)$$

В соответствие с (6) и условиями теоремы Куна-Таккера функция Лагранжа примет вид:

$$L\left(\overline{V}_i,\lambda,\boldsymbol{\mu}\right)=\sum_{i=1}^{m}\frac{\overline{V}_i}{\overline{\gamma}_{oi}+\overline{V}_i}+\lambda\left(\overline{V}_{SGT}-\sum_{i=1}^{m}\overline{V}_i\right)+$$
$$+\sum_{i=1}^{m}\mu_{1i}\left(\overline{V}_i-\overline{V}_{SGT}\right)-\sum_{i=1}^{m}\mu_{2i}\overline{V}_i+$$
$$+\sum_{i=1}^{m}\mu_{3i}\left(\overline{V}_i-\overline{V}_{\max 0i}\right), i=\overline{1,m}\ . \qquad (7)$$

Условие существования локального минимума функции (7) выглядит следующим образом:

$$\begin{cases}\nabla L\left(\overline{V}_i\right)=\dfrac{\partial L\left(\overline{V}_i,\lambda,\boldsymbol{\mu}\right)}{\partial\overline{V}_i}=0, i=\overline{1,m}\\ \overline{V}_{SGT}-\sum\limits_{i=1}^{m}\overline{V}_i=0,\\ \mu_{1i}\left(\overline{V}_i-\overline{V}_{SGT}\right)=0, i=\overline{1,m}\\ \mu_{2i}\overline{V}_i=0, i=\overline{1,m}\\ \mu_{3i}\left(\overline{V}_i-\overline{V}_{\max 0i}\right)=0, i=\overline{1,m}\end{cases}\ . \qquad (8)$$

Вычислив градиент функции Лагранжа, получим систему однородных уравнений (9):

$$\begin{cases}-\dfrac{\overline{\gamma}_{oi}}{\left(\overline{\gamma}_{oi}+\overline{V}_i\right)^2}-\lambda+\mu_{1i}-\mu_{2i}+\mu_{3i}=0, i=\overline{1,m}\\ \overline{V}_{SGT}-\sum\limits_{i=1}^{m}\overline{V}_i=0,\\ \mu_{1i}\left(\overline{V}_i-\overline{V}_{SGT}\right)=0, i=\overline{1,m}\\ \mu_{2i}\overline{V}_i=0, i=\overline{1,m}\\ \mu_{3i}\left(\overline{V}_i-\overline{V}_{\max 0i}\right)=0, i=\overline{1,m}\end{cases}\ . \qquad (9)$$

Данная система распадается на несколько производных систем в зависимости от вариантов решения, полагая, что $\lambda\ne 0$.

Первый вариант ($\boldsymbol{\mu}_1=\boldsymbol{\mu}_2=\boldsymbol{\mu}_3=0$):

$$\begin{cases} -\dfrac{\overline{\gamma}_{oi}}{\left(\overline{\gamma}_{oi}+\overline{V}_i\right)^2}-\lambda=0, i=\overline{1,m} \\ \overline{V}_{SGT}-\sum\limits_{i=1}^{m}\overline{V}_i=0. \end{cases} \quad (10)$$

$$\overline{V}_i^{*}=\frac{\sqrt{\overline{\gamma}_{oi}}\left(\overline{V}_{SGT}+\sum\limits_{j=1}^{m}\overline{\gamma}_{oj}\right)}{\sum\limits_{j=1}^{m}\overline{\gamma}_{oj}}-\overline{\gamma}_{oi}, i=\overline{1,m}. \quad (11)$$

Второй вариант ($\mu_{1l}\neq 0, \boldsymbol{\mu}_2=0, \boldsymbol{\mu}_3=0$). Для второго варианта характерна ситуация, когда $\overline{V}_l=\overline{V}_{SGT}$ и $\overline{V}_{SGT}\le\overline{V}_{\max 0l}$. В этом случае, план распределения трафика по ПСТ является одномерным, т.е. весь дополнительный поток будет отправлен по l-му КМ:

$$\begin{cases} -\dfrac{\overline{\gamma}_{oi}}{\left(\overline{\gamma}_{oi}+\overline{V}_i\right)^2}-\lambda=0, i=\overline{1,m} \\ \overline{V}_{SGT}-\sum\limits_{i=1}^{m}\overline{V}_i=0, \\ \mu_{1l}\left(\overline{V}_l-\overline{V}_{SGT}\right)=0. \end{cases} \quad (12)$$

Третий вариант ($\boldsymbol{\mu}_1=0, \mu_{2l}\neq 0, \boldsymbol{\mu}_3=0$). Для третьего варианта характерна ситуация, когда $\overline{V}_l=0$. В этом случае, план распределения трафика по ПСТ также является неполномерным, т.е. дополнительный поток не будет отправляться по l-му КМ ($\{l\}=\overline{1,m}-\{s\}$), а оптимальный план будет получен из решения системы (10) путем исключения из ПСТ «нулевых» маршрутов:

$$\begin{cases} -\dfrac{\overline{\gamma}_{oi}}{\left(\overline{\gamma}_{oi}+\overline{V}_i\right)^2}-\lambda=0, i=\overline{1,m} \\ \overline{V}_{SGT}-\sum\limits_{i=1}^{m}\overline{V}_i=0, \\ \mu_{2l}\overline{V}_l=0, \{l\}\subset\overline{1,m}. \end{cases} \quad (13)$$

$$\begin{cases} -\dfrac{\overline{\gamma}_{oi}}{\left(\overline{\gamma}_{oi}+\overline{V}_i\right)^2}-\lambda=0, i\in\{s\}\subset\overline{1,m} \\ \overline{V}_{SGT}-\sum\limits_{\{s\}}\overline{V}_i=0, i\in\{s\}\subset\overline{1,m}. \end{cases} \quad (14)$$

Четвертый вариант ($\boldsymbol{\mu}_1=0, \boldsymbol{\mu}_2=0, \mu_{3l}\neq 0$). Для четвертого варианта характерна ситуация, когда $\overline{V}_l=\overline{V}_{\max 0l}$ и $\overline{V}_{SGT}\ge\overline{V}_{\max 0l}$. В этом случае исключаем известные величины $\overline{V}_l$, равные $\overline{V}_{\max 0l}$, из системы для первого варианта, соответственно уменьшив $\overline{V}_{SGT}$ на сумму значений известных переменных $\overline{V}_l$:

$$\begin{cases} -\dfrac{\overline{\gamma}_{oi}}{\left(\overline{\gamma}_{oi}+\overline{V}_i\right)^2}-\lambda=0, i=\overline{1,m} \\ \overline{V}_{SGT}-\sum\limits_{i=1}^{m}\overline{V}_i=0, \\ \mu_{3l}\left(\overline{V}_l-\overline{V}_{\max 0l}\right)=0, \{l\}\subset\overline{1,m}. \end{cases} \quad (15)$$

$$\begin{cases} -\dfrac{\overline{\gamma}_{oi}}{\left(\overline{\gamma}_{oi}+\overline{V}_i\right)^2}-\lambda=0, i\in\{s\}\subset\overline{1,m} \\ \overline{V}_{SGT}-\sum\limits_{\{l\}}\overline{V}_{\max 0j}-\sum\limits_{\{s\}}\overline{V}_i=0, j\in\{l\}=\overline{1,m}-\{s\}. \end{cases} \quad (16)$$

Остальные варианты решения системы (9) представляют собой комбинации представленных выше базисных решений (10)-(16) и поэтому в статье не приводятся.

Для оценивания эффекта от использования критерия минимума суммарной относительной задержки были рассмотрены характерные варианты загрузки трехмерного ПСТ сети специального назначения. Ограничениями по предельной загрузке маршрутов ПСТ выступали объемы буферных устройств типовых маршрутизаторов. Расчеты показали, что выигрыш по объему дополнительной загрузки ПСТ, функционирующего в режиме ММП, по сравнению с OSPF режимом составил 42,4%.

Литература

1. Таненбаум Э. Компьютерные сети. 4-е издание. СПб.: Питер, 2003. 992 с.
2. Орехов С.Е., Сысоев И.В. Синтез структуры сети связи с многомерной маршрутизацией пакетов / Труды РНТОРЭС им. А.С. Попова. М.: Информпресс-94, 2012. С. 265-267.
3. Аттетков А.В., Галкин С.В., Зарубин В.С. Методы оптимизации: Учеб. для вузов / Под ред. В.С. Зарубина, А.П. Крищенко. 2-е изд., стереотип. М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2003. 440 с. (Сер. Математика в техническом университете. Вып. XIV).
4. Орехов С.Е., Романов А.М., Ваганов И.Н. Теория диссипативных структур и ее приложение к методам приема и обработки широкополосных сигналов с непосредственным расширением спектра // Известия Института инженерной физики, 2010, №1 (15). С. 28-32.
5. Орехов С.Е. Графовая модель функционирования сети связи с многомерной маршрутизацией пакетов в виде системы массового обслуживания // Известия Института инженерной физики, 2012. №1(23). С. 57-59.
6. Орехов С.Е. Численный метод анализа временных характеристик случайного процесса, описываемого поглощающей конечной марковской цепью с неоднородными по длительности шагами переходов между состояниями цепи // Известия Института инженерной физики, 2013. №3(29). С. 62-65.

УДК 621.391.83

ФОРМАЛЬНОЕ ОПИСАНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ МОДУЛЯЦИИ И ДЕМОДУЛЯЦИИ НА ОСНОВЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ РЯДОВ ВОЛЬТЕРРА

Кирилл Александрович Батенков
кандидат технических наук
докторант
Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации
Адрес: 302034, г. Орел, ул. Приборостроительная, д. 35
Тел.: +7(4862)54-97-63
E-mail: pustur@yandex.ru

Получено формальное описание нелинейных операций модуляции и демодуляции на основе рядов Вольтерра, позволяющее фиксировать как число используемых базисных функций, так и степень нелинейности операций модуляции и демодуляции.

Formal description of nonlinear modulation and demodulation on basis of Volterra series is obtained. It allows to hold used basis function quantity and nonlinear degree of modulation and demodulation.

Ключевые слова: модуляция, демодуляция, дискретное отображение непрерывного канала связи, ряд Вольтерра.

Keywords: modulation, demodulation, continuous channel discrete mapping, Volterra series.

Возможность представления входного и выходного пространственно-временных сигналов в виде бесконечного ряда некоррелированных случайных функций не позволяет точно описывать процессы в канале связи, поскольку практическая реализация осуществима лишь для конечного числа слагаемых. Однако в большинстве случаев полезный сигнал изменяется существенно медленнее, чем помеха, либо имеет какую-либо локализацию, выражающуюся в различиях их статистических свойств. В результате в каноническом разложении пространственно-временного сигнала на выходе канала связи можно ограничиться некоторым числом членов ряда, дающих с определенной степенью точности описание входного сигнала. При этом либо число, либо последовательность коэффициентов разложения входного сигнала и выходного, искаженного стохастическим каналом связи, оказывается несогласованными в смысле точности их аппроксимации, что приводит к необходимости одновременного учета ошибок приближения как на входе, так и на выходе канала связи.

Очевидно, что с точки зрения среднеквадратической ошибки аппроксимации пространственно-временных сигналов на входе и выходе канале связи конечным рядом ответом на данный вопрос служит какая-нибудь форма канонического представления [1]. Однако при синтезе систем связи критерии в основном направлены на точность воспроизведения передаваемого сигнала, то есть задачи синтеза трактуются как задачи принятия статистических решений, показателями качества которых являются те или иные степени схожести переданного сообщения и вынесенного решения [2]. Следовательно разложение в ряд должно рассматриваться с позиции точного воспроизведения передаваемых сигналов на приемной стороне, а не с точки зрения точности аппроксимации передаваемых и принимаемых сигналов. Произвольность выбора базисных функций в ограниченном каноническом разложении позволяет подбирать их таким образом, чтобы обеспечить в некотором смысле точность приема сигнала. Другие же способы конечномерного представления входных и выходных сигналов (например, разложение Карунена-Лоэва, различного рода системы

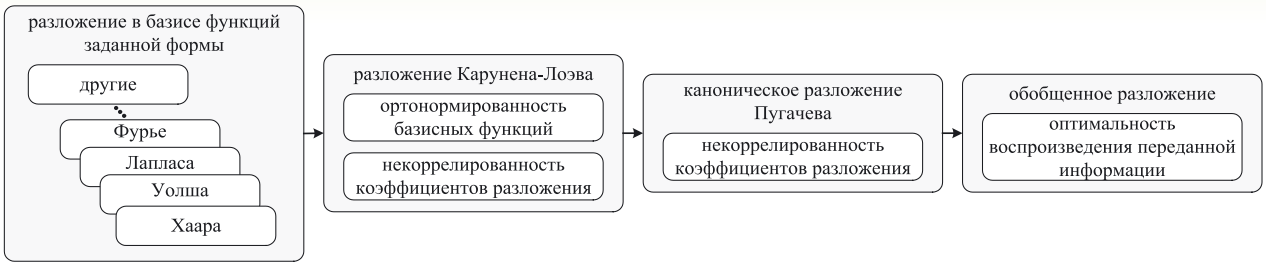


Рис. 1. Типы разложений, используемых для дискретного отображения непрерывного канала связи

ортогональных функций) делают возможным лишь выбор наиболее лучших представителей из заданного класса функций.

В целом же достаточность корреляционных свойств выходного пространственно-временного сигнала для его представления в виде канонического разложения скрывает в себе и серьезный недостаток. В данном случае фиксируется класс функций, придающих коэффициентам соответствующего разложения свойство некоррелированности, что с одной стороны делает возможным более простое описание дальнейших преобразований этих коэффициентов, а с другой – не только не обеспечивает их независимости в наиболее общих случаях негауссовских процессов, но и потенциально снижает качество синтезируемой системы, так как сокращает вариативность получаемых решений. Следовательно в общей постановке (негауссовские процессы) задача синтеза должна формулироваться без введения ограничений на класс функций или же свойства коэффициентов разложения. Даже независимость коэффициентов разложения не может гарантировать оптимальность по определенному критерию синтеза. Таким образом, дискретное отображение непрерывного многопараметрического канала связи должно основываться на разложениях с конечным числом членов ряда, в которых базисные функции вычисляются в соответствии с критерием оптимальности воспроизведения передаваемой информации (*рисунок 1*).

Следует также отметить, что указанные разложения, по сути, определяют отображения Ф и Ф', описывающие операции модуляции и демодуляции соответственно. При этом преобразования из конечномерного пространства в бесконечномерное Ф и обратно Ф' обычно считаются линейными, а значит удовлетворяют свойству однородности и принципу суперпозиции [3, 4]. Разумно предположить, что в более общем случае данные отображения должны быть нелинейными, а их представление в виде подобных рядов с ограниченным числом членов по существу является только частным случаем [5, 6]. Наиболее общее описание нелинейных преобразований можно получить на основе рядов Вольтерра. Однако при этом следует учесть, что в каноническом виде такой ряд определяет нелинейные преобразования между бесконечномерными пространствами, а операции модуляции Ф и демодуляции Ф' задают отношения между конечномерными и бесконечномерными пространствами. Таким образом, необходимо несколько видоизменить ряды Вольтерра путем представления сигналов на соответствующих конечномерных концах в виде рядов из взвешенных дельта-функций, то есть сигналы на выходе модулятора $x(t,\ r)$ и входе демодулятора $x'(t',\ r')$ можно записать в непрерывном виде как следующие суммы:

$$x\left(t_j,\mathbf{r}_j\right)=\sum_{k_j=1}^{N}x_{k_j}\,\delta\left(k_j-t_j\right)\delta\left(t_j\mathbf{1}_{n_a}-\mathbf{r}_j\right),\ j=\overline{1,\infty},\quad(1)$$

$$x'\left(t',\mathbf{r}'\right)=\mathrm{H}'\left\{x\left(t,\mathbf{r}\right)\right\}=\sum_{k=1}^{N'}x'_k\,\delta\left(k-t'\right)\delta\left(t'\mathbf{1}_{n_b}-\mathbf{r}'\right),\quad(2)$$

где $\mathbf{x}=\left(x_1,x_2,...,x_N\right)^T$, $\mathbf{x}'=\left(x'_1,x'_2,...,x'_{N'}\right)^T$ – векторы на входе и выходе дискретного канала связи (на входе модулятора и выходе демодулятора) размерности N и N' соответственно;

$1n$ – единичный вектор размерности n;

n_a, n_b – число измерений пространства на входе и выходе непрерывного многопараметрического канала связи соответственно.

При этом постоянная составляющая считается раной нулю как при описании модулятора, так и демодулятора, а кроме того, весовые функции (ядра Вольтерра) трактуются в смысле некоторых функций (базисных, или несущих), то есть по сути являются системными характеристиками модулятора и демодулятора и обозначаются $\varphi_i\left(t,\mathbf{r},t_1,...,t_i,\mathbf{r}_1,...,\mathbf{r}_i\right)$ и $\varphi'_i\left(t,\mathbf{r},t_1,...,t_i,\mathbf{r}_1,...,\mathbf{r}_i\right)$ соответственно. Учет нелинейности, не превышающей величины N_a (число членов ряда Вольтерра ограничено данным значением), делают возможным следующее представление:

$$x(t,\mathbf{r})=\sum_{i=1}^{N_a}\int_{t_1}\dots\int_{t_i}\int_{\mathbf{r}_1}\dots\int_{\mathbf{r}_i}\left\{\prod_{j=1}^{i}\sum_{k_j=1}^{N}x_{k_j}\delta(k_j-t_j)\delta(t_j\mathbf{1}_{n_a}-\mathbf{r}_j)\right\}\times$$
$$\times\varphi_i(t,\mathbf{r},t_1,\dots,t_i,\mathbf{r}_1,\dots,\mathbf{r}_i)dt_1\dots dt_i\,d\mathbf{r}_1\dots d\mathbf{r}_i.$$

Раскрытие произведения, перегруппировка слагаемых внутри него, а также использование фильтрующего свойства дельта-функции трансформирует операцию нелинейной модуляции к следующему виду:

$$x(t,\mathbf{r})=\sum_{i=1}^{N_a}\left[\sum_{k_1=1}^{N}\sum_{k_2=1}^{N}\dots\sum_{k_i=1}^{N}\left\{\prod_{j=1}^{i}x_{k_j}\right\}\varphi_i(t,\mathbf{r},k_1,\dots,k_i,k_1\mathbf{1}_{n_a},\dots,k_i\mathbf{1}_{n_a})\right] \quad (3)$$

Отсюда следует важное условие осуществимости нелинейной модуляции, выражающееся в обязательном превышении или по крайней мере равности размерности сигналов на входе модулятора N степени нелинейности модулятора N_a, то есть $N_a \leqslant N$. В обратном случае ($N_a > N$) произведения в фигурной скобке (3) не существуют, что означает идентичность операций модуляции с нелинейностью большей N_a операции модуляции с нелинейностью N_a.

Следует также заметить, что вследствие свойства коммутативности операции умножения (то есть $\prod_{j=1}^{i}x_{k_j}=\prod_{j'=1}^{i}x_{k'_{j'}}$ даже при условии, что $\exists k_j \neq k'_j$) число суммируемых базисных функций можно существенно сократить. Количество одинаковых произведений соответствует числу перестановок упорядоченного множества индексов сигнала на входе модулятора $\{k_j\}$, $j=\overline{1,i}$, $k_j<k_{j'}\,|\,j<j'$, $j'=\overline{1,i}$, а само данное множество перестановок целесообразно обозначить как Pi, каждый элемент которого $P_{i,p}=\{k_{j_p}\}$, $j_p=\overline{1,i}$, $p=\overline{1,i!}$, $i=\overline{1,N_a}$ представляет собой уникальную перестановку исходного упорядоченного множества. Следовательно базисные функции модуляции являются функциями только временных и пространственных выходных координат, так как входные координаты дискретны, и имеют следующий вид:

$$\varphi_{k_1,\dots,k_i}(t,\mathbf{r})=\sum_{\{k_{j_p}\}\in P_i}\varphi_i(t,\mathbf{r},k_1,\dots,k_i,k_1\mathbf{1}_{n_a},\dots,k_i\mathbf{1}_{n_a}), \quad (4)$$

где число элементов множества перестановок P_i, равно числу всех возможных перестановок, то есть $i!$ [7]. Перегруппировка слагаемых в (3) и использование (4) приводит к формуле нелинейной модуляции в виде:

$$x(t,\mathbf{r})=\sum_{i=1}^{N_a}\left[\sum_{k_1=1}^{N}\sum_{k_2=k_1}^{N}\dots\sum_{k_i=k_{i-1}}^{N}\left\{\prod_{j=1}^{i}x_{k_j}\right\}\varphi_{k_1,\dots,k_i}(t,\mathbf{r})\right]. \quad (5)$$

Для описания оператора нелинейной модуляции Φ' также следует использовать непрерывный вид сигналов, но на выходе демодулятора (2). Учет нелинейности, не превышающей величины N_b (число членов ряда Вольтерра ограничено данным значением), делают возможным следующее представление:

$$\sum_{k=1}^{N'}x'_k\,\delta(k-t')\delta(t'\mathbf{1}_{n_b}-\mathbf{r}')=$$
$$=\sum_{i=1}^{N_b}\int_{t'_1}\dots\int_{t'_i}\int_{\mathbf{r}'_1}\dots\int_{\mathbf{r}'_i}\left\{\prod_{j=1}^{i}x'(t'_j,\mathbf{r}'_j)\right\}\times$$
$$\times\varphi'_i(t',\mathbf{r}',t'_1,\dots,t'_i,\mathbf{r}'_1,\dots,\mathbf{r}'_i)dt'_1\dots dt'_i\,d\mathbf{r}'_1\dots d\mathbf{r}'_i.$$

Использование свойства дельта-функции отличия от нуля только в случае равенства нулю аргумента позволяет представить выражение для координат сигнала на выходе демодулятора в виде:

$$x'_k=\sum_{i=1}^{N_b}\int_{t'_1}\dots\int_{t'_i}\int_{\mathbf{r}'_1}\dots\int_{\mathbf{r}'_i}\left\{\prod_{j=1}^{i}x'(t'_j,\mathbf{r}'_j)\right\}\times$$
$$\times\varphi'_i(k,k\mathbf{1}_{n_b},t'_1,\dots,t'_i,\mathbf{r}'_1,\dots,\mathbf{r}'_i)\times$$
$$\times dt'_1\dots dt'_i\,d\mathbf{r}'_1\dots d\mathbf{r}'_i,\quad k=\overline{1,N'}.$$

Естественно, что в отличие от модулятора соотношения между размерностью выходного сигнала N' и степенью нелинейности демодулятора N_b оказываются произвольными. Следует также заметить, что равенства между размерностями сигналов на входе модулятора N и выходе демодулятора N', а также между степенями нелинейности модулятора N_a и демодулятора N_b также являются необязательными, то есть в общем случае $N \neq N'$ и $N_a \neq N_b$. Следовательно, единственным ограничением на данные величины остается условие осуществимости нелинейной модуляции ($N_a \leqslant N$).

Таким образом базисные функции демодуляции являются функциями временных и пространственных входных координат, так как выходные координаты дискретны, и подобные функции имеют следующий вид:

$$\varphi'_{i,k}(t'_1,\dots,t'_i,\mathbf{r}'_1,\dots,\mathbf{r}'_i)=\varphi'_i(k,k\mathbf{1}_{n_b},t'_1,\dots,t'_i,\mathbf{r}'_1,\dots,\mathbf{r}'_i),$$
$$i=\overline{1,N_a},\quad k=\overline{1,N'}.$$

На основе этого выражения операция нелинейной демодуляции преобразуется к форме:

$$x'_k = \sum_{i=1}^{N_b} \int_{t'_1} \dots \int_{t'_i \mathbf{r}'_1} \int \dots \int_{\mathbf{r}'_i} \left\{ \prod_{j=1}^{i} x'\left(t'_j, \mathbf{r}'_j\right) \right\} \times$$

$$\times \varphi'_{i,k}\left(t'_1, \dots, t'_i, \mathbf{r}'_1, \dots, \mathbf{r}'_i\right) dt'_1 \dots dt'_i \, d\mathbf{r}'_1 \dots d\mathbf{r}'_i,$$

$$k = \overline{1, N'}. \qquad (6)$$

Еще большей общностью обладают дискретные отображения непрерывного канала связи на базе операций нелинейной модуляции (5) и демодуляции (6), но в которых базисные функции являются случайными процессами, а не детерминированными. Подобные функции задают частный случай стохастических отображений сигнала на входе модулятора x в пространственно-временной сигнал на входе непрерывного канала связи $x(t,r)$ Ф и пространственно-временного сигнала на выходе непрерывного канала связи $x'(t',r')$ в сигнал на выходе демодулятора x' Ф', задаваемых в общем случае бесконечномерными условными плотностями вероятностей

$$\Phi: \omega_{x/\mathbf{x}}\left[\bar{\mathbf{x}}, \mathbf{x}; \left\{t_j, \mathbf{r}_j\right\}\right] = P\left[\bar{x}_j = x\left(t_j, \mathbf{r}_j\right) \middle| \mathbf{x}\right], \; j = \overline{1, \infty},$$

и

$$\Phi': \omega_{\mathbf{x}'/x'}\left[\mathbf{x}', \bar{\mathbf{x}}'; \left\{t'_j, \mathbf{r}'_j\right\}\right] = P\left[\bar{x}'_j = x'\left(t'_j, \mathbf{r}'_j\right) \middle| \mathbf{x}'\right],$$

где $\left\{t_j, \mathbf{r}_j\right\} = t_1, \mathbf{r}_1, t_2, \mathbf{r}_2, \dots, t_\infty, \mathbf{r}_\infty$ и

$\left\{t'_j, \mathbf{r}'_j\right\} = t'_1, \mathbf{r}'_1, t'_2, \mathbf{r}'_2, \dots, t'_\infty, \mathbf{r}'_\infty$

обозначают упорядоченные множества временных и пространственных переменных;

$P(A|B)$ – вероятность появления события A при условии, что имеет место событие B.

Поскольку детерминированные функции являются частным случаем стохастических, то рассмотрение подобного рода базисных функций существенно расширяет класс операторов нелинейной модуляции и демодуляции и обобщает понятие разложений случайных функций в нелинейный стохастический ряд (*рисунок 1*). При этом разумно ожидать роста показателей качества воспроизведения переданной информации по аналогии с задачами оценки параметров, для которых рандомизированные правила принятия решений оказываются для ряда критериев наилучшими, в то время как детерминированные существенно уступают им по используемому показателю качества [8, 9, 10].

Тип случайных базисных функций может быть также довольно произвольным. Возможно использование стохастических процессов и полей, обладающих свойством марковости, имеющих заданные значения определенных моментов, а также некоторых параметров и т. п. При этом любой тип случайности расширяет класс операторов нелинейной модуляции и демодуляции, поскольку детерминированные функции могут быть получены из стохастических путем введения определенных допущений и по сути, как упоминалось ранее, являются лишь частным случаем случайных. Однако задание вида случайных функций несколько уступает в общности наиболее широкому классу случайных функций, для которых ограничения на какие-либо зависимости мгновенных значений или на параметры и функции от них не накладываются вообще. Однако подобные ограничения в ряде случаев существенно упрощают решение задачи оптимального синтеза дискретного отображения непрерывного канала связи.

Таким образом, в наиболее обобщенном структурированном виде уравнения (5) и (6), являющиеся по сути операторами нелинейной модуляции Ф и демодуляции Ф' соответственно, задают дискретное отображение непрерывного канала связи. Следует подчеркнуть еще одно немаловажное достоинство именно структурного типа дискретного отображения. Так, в наиболее общем виде подобное отображение предполагает учет нелинейности произвольно большой степени, вплоть до бесконечной. В результате и реализация, и синтез оптимальных операций как модуляции, так и демодуляции оказываются весьма затруднительными, за исключением случаев определенной заданной формы используемых базисных функций. Однако данное обстоятельство является достаточно сильным ограничением, поскольку способно существенно сократить класс операторов отображения. Представление же операций в параметризованном виде (5) и (6) делает возможным как выбор заданного числа базисных функций в рамках определенного порядка нелинейности, так и введение ограничения на максимальную нелинейность оператора дискретного отображения.

В итоге, решение задач синтеза оптимальных модулятора и демодулятора возможно как в общем виде (при устремлении степени нелинейности к бесконечности), что должно быть подобно оптимальным нелинейным системам, как правило трудно реализуемым на практике, так и при достаточно произвольных ограничениях на число и порядок нелинейности базисных функций, что приводит к сравнительно простым реализациям вышеописанных процедур.

Литература

1. Пугачев В.С. Теория случайных функций и ее применение к задачам автоматического управления. М.: Физматгиз, 1962. 883 с.

2. Тихонов В.И. Статистическая радиотехника. М.: Советское радио, 1966. 681 с.

3. Батенков А.А. Дискретизация линейного канала связи с памятью и аддитивным белым гауссовским шумом численным методом / А.А. Батенков, К.А. Батенков // Математическое моделирование, 2009. Т. 21, № 1. С. 53-74.

4. Батенков А.А. Алгоритм синтеза базиса ортонормированных функций для многоканальной передачи данных / А.А. Батенков, Г.В. Богачев, К.А. Батенков // Цифровая обработка сигналов, 2007. №2. С. 19-25.

5. Батенков К.А. О постановке задачи моделирования информационно-телекоммуникационных систем с позиции теории статистических решений // Молодежь и наука: сборник материалов VIII Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной 155-летию со дня рождения К.Э. Циолковского [Электронный ресурс] № заказа 7880 / отв. ред. О.А. Краев. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т., 2012. – URL: http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2012/thesis/s023/s023-002.pdf. Дата обращения: 12.09.2012.

6. Батенков К.А. Математическое моделирование непрерывных многопараметрических каналов связи в операторной форме // Телекоммуникации, 2013. №10. С. 2-4.

7. Бронштейн И.Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов / И. Н. Бронштейн, К. А. Семендяев. 13-е изд., исправленное. М.: Наука: Главная редакция физико-математической литературы, 1986. 544 с.

8. Репин В.Г. Статистический синтез при априорной неопределенности и адаптация информационных систем / В.Г. Репин, Г.П. Тартаковский. М.: Советское радио, 1977. 432 с.

9. Репин В.Г. Проверка многоальтернативных гипотез в условиях априорной неопределенности / В.Г. Репин, Г.П. Тартаковский, А.А. Слепокуров // Проблемы передачи информации, 1991. Т. 27. Вып. 3. С. 39-56.

10. Батенков К.А. Максимум взаимной информации как основной критерий синтеза инфокоммуникационных систем // Труды Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики. Ростов-на-Дону: ПЦ «Университет» СКФ МТУСИ, 2013. С. 51-53.

УДК 629.782

УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫЙ ВАРИАНТ АДАПТИВНОГО МЕТОДА ФОРМИРОВАНИЯ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ВОЗДУШНЫХ ЦЕЛЕЙ ДЛЯ СИГНАЛОВ СО СТУПЕНЧАТОЙ ПЕРЕСТРОЙКОЙ НЕСУЩЕЙ ЧАСТОТЫ

Дмитрий Геннадьевич Митрофанов
доктор технических наук, профессор
Военная академия войсковой ПВО
ВС РФ им. А.М. Василевского
Адрес: 214027, г. Смоленск, ул. Котовского, д. 2
Тел.: +7(4812)41-57-41

Сергей Васильевич Иванушкин
доктор военных наук, доцент
Первый Вице-президент Института
по развитию МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)35-31-93

Описаны подходы к формированию портретов и двумерных радиолокационных изображений (ДРЛИ) воздушных целей. Указаны проблемы, возникающие при построении ДРЛИ целей, движущихся в турбулентной атмосфере с траекторными нестабильностями. Демонстрируются варианты способов обработки отраженных сигналов с перестройкой частоты, позволяющие повысить помехоустойчивость метода с сохранением качества ДРЛИ. Приведена структура модернизированного метода формирования ДРЛИ воздушной цели.

The article describes approaches to forming air target maps and two-dimensional radar images (TDRI). The problems of forming TDRI of targets that move in turbulent atmosphere with trajectory instability. Ways of back echo processing with frequency tuning, that allow to raise method noise immunity while preserving the quality of TDRI are demonstrated. The structure of modernized method of target TDRI forming is presented.

Ключевые слова: радиолокационное изображение, дальностный портрет цели, частотная характеристика, траекторная характеристика, сигналы с перестройкой частоты, траекторные нестабильности, измерение радиальной скорости, фазовая фокусировка.

Keywords: radar image, target distance map, frequency-response characteristic, trajectory characteristic, signals with frequency tuning, trajectory instability, range rate measurement, phase focusing.

Увеличение тактовой частоты современных процессоров и аналого-цифровых преобразователей предоставляет возможность разрабатывать, проверять экспериментальным способом и существенно развивать новые методы обработки радиолокационной информации. Исследования в этой области проводятся в интересах повышения информативности радиолокационных систем. В последние десятилетия на основе длительного когерентного накопления отраженных сигналов были реализованы методы инверсного радиолокационного синтезирования апертуры, обеспечивающие высокое разрешение по поперечной координате. В результате в практику радиолокации было введено понятие поперечного радиолокационного изображения или доплеровского портрета цели. А после экспериментального подтверждения возможности получения высокого разрешения в радиальном направлении за счет обработки сигналов с глубокой девиацией частоты или за счет обработки сигналов со ступенчатой (межимпульсной или межпачечной) перестройкой несущей частоты стал нарицательным термин «дальностный портрет» цели. Этот портрет также легко формируется из отражений (от элементов конструкции цели) сверхкоротких зондирующих импульсов. В результате возникла задача объединения двух указанных видов портретов в двумерном радиолокационном изображении (ДРЛИ) цели, несущем информацию о ее продольно-поперечной структуре.

Была предложена и продекларирована в научных изданиях совокупность методов формирования ДРЛИ [1-3]. Однако ими не была предусмотрена адаптация к множеству негативных

факторов, которыми сопровождается обработка сигналов, отраженных реальными летательными аппаратами в турбулентной атмосфере. К таким факторам относятся произвольные рыскания планера воздушной цели (ВЦ) при траекторных нестабильностях (ТН) полета, проявление турбовинтового эффекта и др. Поэтому возникла необходимость и был предложен адаптивный метод формирования ДРЛИ ВЦ в условиях искажений отраженных сигналов действиями негативных факторов [4].

Описанный метод отличается от предложенных ранее еще и тем, что может функционировать при квазихаотическом законе изменения несущей частоты от пачки к пачке, чем обеспечивается повышенная помехоустойчивость используемого радиолокационного средства. Однако для адаптации к рысканиям планера метод предполагает осуществление корреляционного анализа отражений на какой-либо одной (названной основной) несущей частоте, что вынуждает использовать при зондировании дополнительную посылку одночастотных сигналов. Кроме того, до недавнего времени не было известно способов измерения радиальной скорости цели в режиме поимпульсной или попачечной ступенчатой перестройки несущей частоты, особенно если не соблюдается закономерность перестройки. Это, в свою очередь, тоже вынуждало извлекать информацию о радиальной скорости ВЦ, организуя на первичном этапе одночастотное излучение. Достоинство, выражающееся в повышении помехоустойчивости, при этом существенно принижается или вовсе теряется. Следовательно, задача развития предложенного в [4] метода формирования ДРЛИ является актуальной. А для решения этой задачи целесообразно использовать получившие в настоящее время развитие частные способы адаптивной обработки отраженных сигналов, в том числе и с перестройкой несущей частоты, которые потенциально способны обеспечить устранение выявленных недоработок.

Что касается вынужденного одночастотного зондирования, то для устранения необходимости его применения и использования при излучении только сигналов с перестройкой частоты (СПЧ) необходимо, во-первых, освоить выявление в режиме излучения СПЧ закона изменения угловой скорости поворота ВЦ, а во-вторых, – обеспечить качественную оценку в этом режиме радиальной составляющей вектора скорости цели.

Для оценки закона изменения угловой скорости (ЗИУС) поворота ВЦ целесообразно предложить сравнение не частотных характеристик (ЧХ), а их производных в форме импульсных характеристик или дальностных портретов (ДП). Это объясняется тем, что частотные характеристики ВЦ в рамках рассматриваемого метода формирования ДРЛИ составляются из отраженных сигналов, закон изменения частоты которых отличается для каждой фракции из перестраиваемых по частоте пачек. К тому же ДП ВЦ является результатом когерентного сложения разночастотных составляющих, вследствие чего в меньшей степени подвержен шумовым искажениям.

Суть ранее используемого одночастотного способа выделения информативных интервалов синтезирования заключалась в том, что интенсивность амплитудно-фазовых флюктуаций и ширина лепестков отражательной характеристики цели находятся в зависимости от угловой скорости его поворота. Идея предлагаемого способа оценки закона изменения углового положения ВЦ (в режиме изучения СПЧ) базируется на том, что ввиду интерференции сигналов, отраженных от рассеивающих центров (РЦ), принадлежащих одноименным элементам дальности, амплитуда и фаза одноименных составляющих ДП с течением времени закономерно, т.е. соответствующим образом трансформируется. Чем больше угловая скорость изменения ракурса цели $\dot{\gamma}$, тем значительнее разница между параметрами одноименных элементов смежных ДП. Поэтому для оценки угловой скорости поворота ВЦ необходимо проводить анализ скорости изменения комплексной амплитуды отражений в одноименных элементах дальности. Зависимость, косвенно отражающую угловую скорость изменения ракурса наблюдения цели и вычисляемую по разности комплексных амплитуд элементов дальности смежных ДП предлагается именовать траекторной характеристикой (ТХ). Эта характеристика по свой физической сущности подобна корреляционной характеристике, используемой при одночастотной зондировании сигналов.

Для учета изменений, происходящих с амплитудой и фазой отраженных сигналов целесообразно сравнивать реальную (Re) и мнимую (Im) квадратурные составляющие однотипных элементов дальности в смежных ДП. Для определения n-го элемента ТХ вычисляется усредненное по всем элементам дальности значение разности между реальной и мнимой квадратурными составляющими смежных ДП в соответствии с выражением

$$u_n = \frac{1}{K}\sum_{k=1}^{K}\left\{\left|\dot{H}_{kn}\right|\cos\varphi_{kn} - \left|\dot{H}_{k,n+1}\right|\cos\varphi_{k,n+1} + \right.$$
$$\left. + \left|\dot{H}_{kn}\right|\sin\varphi_{kn} - \left|\dot{H}_{k,n+1}\right|\sin\varphi_{k,n+1}\right\}, \qquad (1)$$

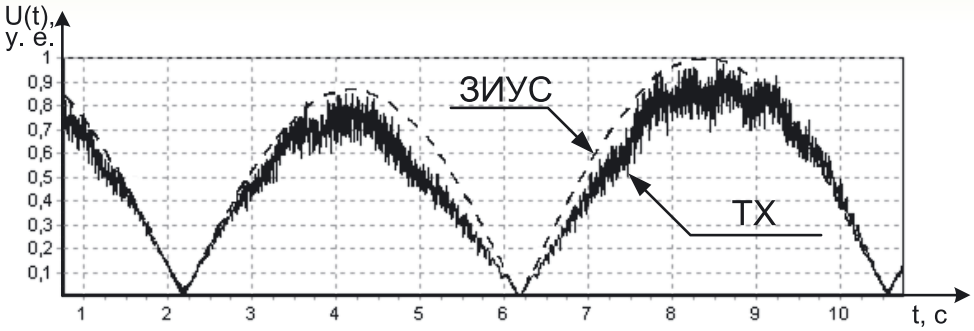


Рис. 1. Траекторная характеристика цели

где $|\dot{H}_{kn}|\cos\varphi_{kn}$ и $|\dot{H}_{kn}|\sin\varphi_{kn}$ – соответственно реальная и мнимая квадратурные составляющие k-го элемента разрешения n-го ДП;
K – количество элементов в ДП;
n – порядковый номер анализируемого ДП.

Разность амплитуд малоинформативных в рамках рассматриваемой задачи элементов смежных ДП (в которых отсутствуют отражения от реальных РЦ поверхности цели) при наличии шума будет иметь произвольное значение небольшого уровня. Большое число таких элементов вносит существенные искажения в формируемую ТХ. Поэтому в интересах снижения влияния шума на информативность ТХ целесообразно использовать только те элементы дальности, в которых проявляются отражения от РЦ поверхности планера ВЦ. Для этого в первом ДП определяются номера элементов k, амплитуда сигнала в которых превышает установленный пороговый уровень $H_{пор}$. Порог $H_{пор}$ зависит от среднего уровня шумов и вычисляется как среднее арифметическое амплитуд всех элементов ДП

$$H_{пор} = \frac{1}{NK}\sum_{k=1}^{K}\sum_{n=1}^{N}|\dot{H}_{kn}|.$$

В дальнейшем осуществляется сравнение амплитуд только в тех элементах дальности m, для которых в первом ДП выполняется условие $|\dot{H}_{km}| > H_{пор}$. Кроме того, необходимо компенсировать влияние радиального движения ВЦ за время накопления разночастотного массива отраженных сигналов. Следствием влияния радиального движения ВЦ является быстрое изменение квадратурных составляющих, что существенно исказит ТХ. Не исключена и миграция откликов от РЦ из одного элемента разрешения в другой от портрета к портрету, что при использовании процедуры исключения элементов дальности, содержащих только шум, приведет к невозможности формирования ТХ. Для устранения негативного влияния данного фактора используется компенсация с помощью метода адаптивного диаграммоформирования при высоких радиальных скоростях воздушных целей [5]. Данный алгоритм путем отслеживания положения откликов от РЦ в серии ДП позволяет устранять искажения фазовой структуры массива комплексных значений импульсных характеристик.

Сформированная предложенным способом ТХ демонстрирует только характер изменения угловой скорости ракурса локации, а не ее абсолютное значение. Поэтому полученную с помощью выражения (1) характеристику целесообразно нормировать.

Проверка разработанного частного алгоритма проведена методом математического моделирования. Моделировались рыскания планера самолета с амплитудой 2° и угловой скоростью 1,5°/с. Для построения каждого ДП использовались отражения 128 сигналов с перестройкой несущей частоты в диапазоне 150 МГц и периодом следования $T_и$=30 мкс.

На *рисунке 1* представлен вариант ТХ, сформированной на основе выражения (1). Для обеспечения качественного анализа полученной характеристики на *рисунке 1* с помощью пунктирной линии показан априорно известный истинный закон изменения угловой скорости поворота ВЦ относительно линии визирования.

Исследования показали, что изначально формируемая ТХ имеет сильную изрезанность. Для удобства поиска локальных экстремумов этой характеристики следует проводить ее сглаживание. Чтобы при сглаживании не утрачивать информации о положении участков накопления, соответствующих различной угловой скорости поворота ВЦ, время приема N_c сигналов (отсчетов) в частной выборке из состава ТХ, необходимых для реализации алгоритма усреднения, не должно превышать четверти минимального периода ТН $T_{TN\ min}$. Уменьшение числа N_c приводит к снижению эффективности процедуры сглаживания. Таким образом, количество отсче-

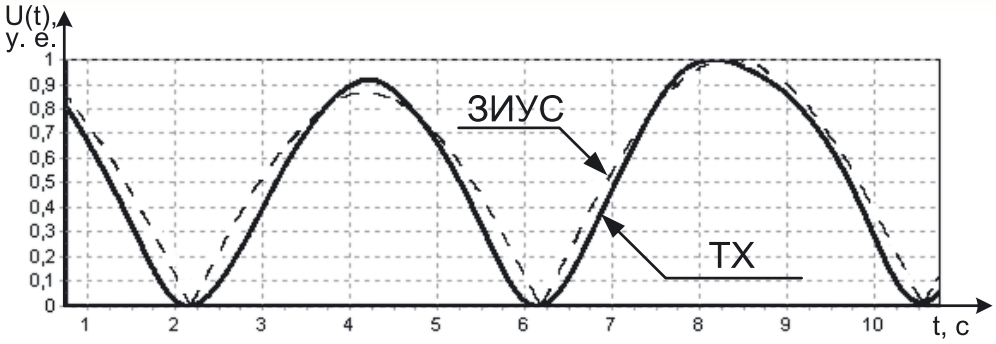


Рис. 2. Сглаженная ТХ цели

тов N_c в частной выборке из состава ТХ с учетом времени накопления отраженных сигналов для формирования ДП $T_{дп}$ необходимо выбирать на основе неравенства $N_c < T_{TN\,min}/(4T_{дп})$.

Для расчета величин n-х элементов сглаженной ТХ $u_{сгл\ n}$ целесообразно использовать выражение

$$u_{сгл\ n} = \frac{1}{N_c}\sum_{m=1}^{N_c} u_{n+m-N_c/2}\,. \qquad (2)$$

Пятикратное сглаживание сформированной ТХ методом скользящего среднего при $N_c=100$ трансформирует ТХ к виду, приемлемому для выделения закона изменения угловой скорости поворота ВЦ. Вариант такой ТХ представлен на *рисунке 2*.

Для оценки радиальной скорости ВЦ V_r в режиме излучения СПЧ предложен оригинальный способ анализа структуры ДП [6]. Идея способа основана на том, что неверное фазирование элементов частотной характеристики приводит к хаосу в структуре ДП и увеличению энтропии его состояния. Верное фазирование элементов ЧХ, основанное на расчете фазовых сдвигов с учетом предполагаемой величины V_r и соответствующего изменения дальности до цели в момент приема сигнала на определенной частоте, приводит к минимизации энтропии состояния вектора ДП. При расчете энтропии используется только амплитудная информация об импульсных откликах, т.е. огибающая вектора ДП. Экстремальное значение энтропии H указывает на величину истинной радиальной скорости ВЦ [6], как показано на *рисунке 3*.

Причем точность определения V_r в режиме излучения и приема СПЧ превышает точность классического способа оценки V_r при одночастотном зондировании. Оценка величины V_r в режиме линейного изменения несущей частоты от импульса к импульсу приводит к неоднозначности. Однако метод формирования ДРЛИ в интересах повышения помехоустойчивости ис-

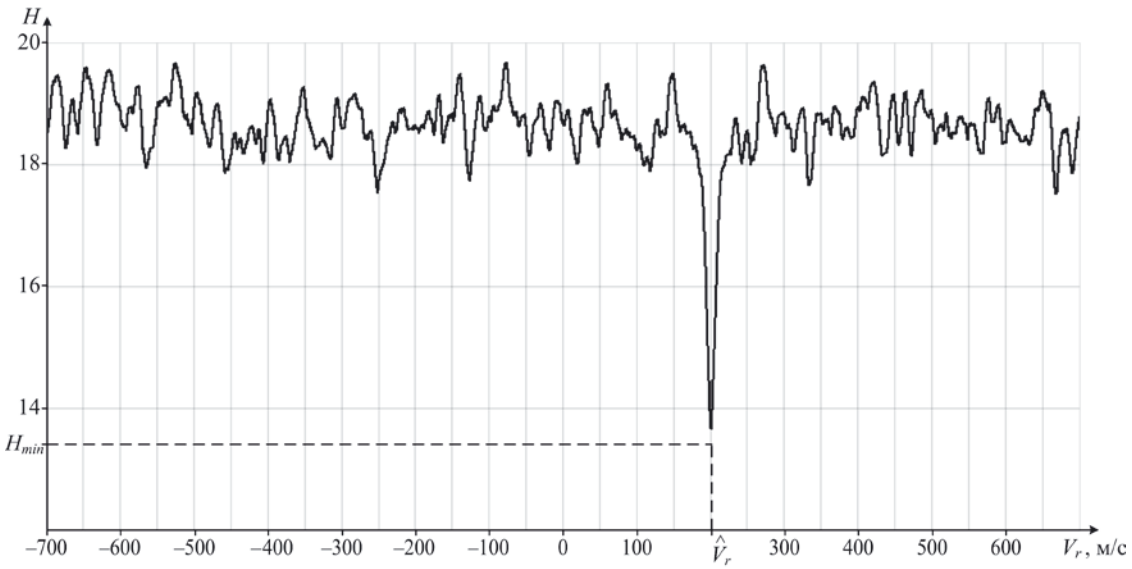


Рис. 3. Изменение энтропии вектора ДП

пользует случайный закон перестройки частоты, что сопутствует однозначному и точному измерению радиальной скорости V_r. Оценка скорости V_r использовалась методом построения ДП или ДРЛИ как инструмент фазирования ЧХ. И хотя в процессе поиска V_r огибающая ДП является уже сформированной, необходимо повторно с учетом выявленной величины V_r получать комплексный вектор ДП, поскольку хранение в памяти всех вариантов портрета является нерациональным, и информация об истинном ДП в процессе расчетов утрачивается.

В настоящее время получена модификация способа [6], ориентированная на работу в условиях шумов и помех [7]. Основу способа [7] составляет совпадение глобальных экстремумов моментов разных порядков, вычисляемых по множеству элементов ДП. Вне экстремумов зависимости моментов носят случайный характер. Аддитивная или мультипликативная свертка характеристик моментов повышает яркость основного экстремума аналогично некогерентному накоплению в радиолокации.

Разработан также энтропийный способ оценки радиального ускорения ВЦ a_r, но он менее точен и восполняется последовательным определением V_r на момент очередной посылки СПЧ [8].

Совместное использование отмеченных выше алгоритмов устраняет необходимость выполнения одночастотного зондирования при адаптивном формировании ДРЛИ цели.

Кроме того исследование свойств доплеровского портрета подсказало целесообразность его построения на интервале, соответствующем среднему значению угловой скорости поворота ВЦ [9], поскольку именно на нем истинная величина угловой скорости $\dot{\gamma}$ поддается точному расчету [2]. В точках максимумов ТХ угловая скорость поворота ВЦ является следствием совпадения угловых скоростей, обусловленных перемещением его центра масс по боковой траектории и рысканиями планера. В точках минимумов ТХ эти угловые скорости компенсируют друг друга. Значит, в точках со средними значениями ТХ угловая скорость рыскания планера становится равной нулю и неопределенность существенно снижается.

Предложенный подход правомерен только в отношении летательных аппаратов с боковыми ракурсами перемещения. Если же курсовой угол ВЦ близок к нулю, то целесообразно пользоваться интервалами инверсного радиолокационного синтезирования, соответствующими максимальной угловой скорости поворота, жертвуя равенством масштабов ДРЛИ в продольном и поперечном направлениях. В этом состоит ограничение предложенного подхода выравнивания продольного и поперечного масштабов ДРЛИ, столь важного в задачах идентификации ВЦ.

Дальность до ВЦ может быть однозначно измерена в рамках метода построения ДРЛИ по задержке плотной пачки СПЧ, излученной с большой скважностью по отношению к остальным пачкам или сигналам режима квазинепрерывного излучения. Величину курсового угла (ракурса полета цели) можно установить по последовательным положениям ВЦ решением тривиальной геометрической задачи.

Таким образом, известный метод формирования ДРЛИ [4] может приобрести повышенную помехоустойчивость, а значит и информативность, путем постоянного излучения сигналов со сменой несущей частоты по случайному закону и выделения информации о поведении цели и ее радиальной скорости за счет анализа только разночастотных отражений. Основу модернизированного адаптивного помехоустойчивого метода формирования ДРЛИ ВЦ при использовании СПЧ должны составлять следующие операции:

- выбор параметров СПЧ, используемых в режиме сопровождения ВЦ;
- определение однозначной дальности до ВЦ по задержке одной из пачек СПЧ, излученной с большим интервалом по отношению к остальным плотным пачкам СПЧ;
- излучение последовательностей зондирующих импульсов в квазинепрерывном режиме с частотой заполнения, изменяющейся по случайному закону от пачки к пачке или от импульса к импульсу, а также с вобуляцией частоты повторения импульсов внутри одночастотных пачек, если таковые используются (вобуляция способствует нейтрализации негативного влияния турбовинтового эффекта, приводящего к появлению ложных импульсных откликов);
- прием отраженных сигналов, их фильтрацию, усиление, когерентную обработку и запись их амплитуд и фаз в течение 5 секунд в избыточную матрицу данных (ИМД), в столбцах которой изменения параметров отражений обусловлены линейным изменением несущей частоты, а в строках – изменением ракурса локации ВЦ с течением времени;
- проведение дискретного преобразования Фурье с комплексными пиками откликов сигналов одночастотных пачек, нахождение в полученных доплеровских спектрах значений амплитуд и фаз планерной составляющей и формирование из них усредненных ЧХ с линейно-ступенчатым изменением частоты;
- формирование из каждой усредненной ЧХ дальностного портрета цели после оценки V_r

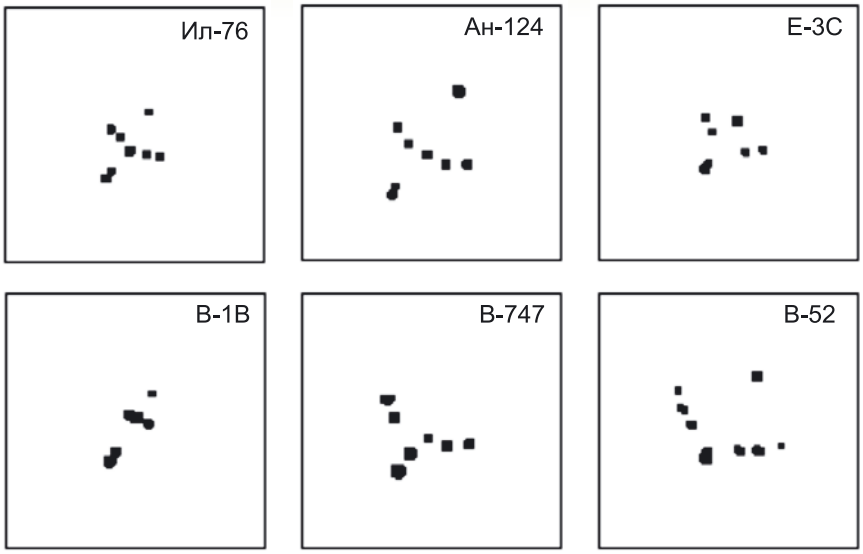


Рис. 4. Формы ДРЛИ целей различных типов

и компенсации фаз, связанных с изменением дальности, причем фазовые добавки должны учитывать временные задержки до середины каждой одночастотной пачки, что предполагает хранение данных о времени приема первого и последнего импульса каждой такой пачки;

- построение информативной ТХ цели методом усреднения разностей между квадратурными составляющими в одноименных элементах смежных ДП, содержащих отклики от РЦ, и сглаживания первоначально сформированной характеристики методом скользящего окна;
- оценку ракурса сопровождения ВЦ по изменению координат с течением времени;
- при превышении курсовым углом ВЦ величины 30° выбор с помощью ТХ момента времени t_0, соответствующего средней угловой скорости поворота ВЦ относительно линии визирования, и формирование дальностно-временной матрицы отражений (ДВМО) [4] на интервале T_c, для которого t_0 является серединой;
- расчет угловой скорости поворота цели, связанной только с перемещением ее центра масс по боковой траектории;
- при малом курсовом угле ВЦ – выбор момента времени t_0, соответствующего максимальной угловой скорости ее поворота;
- фазовую автофокусировку комплексных данных в строках ДВМО по фазе доминирующего отражателя [4];
- весовую обработку ДВМО по одночастотным строкам;
- проведение операции быстрого преобразования Фурье с элементами одночастотных строк ДВМО и получение дальностно-частотной матрицы данных (ДЧМД);
- масштабирование ДЧМД в поперечном направлении с учетом рассчитанной угловой скорости поворота ВЦ и формирование ее ДРЛИ.

Виды двумерных радиолокационных изображений, которые можно получить адаптивным методом формирования при курсовом угле 30° и средней длине волны порядка 3 см, представлены на *рисунке 4*. Они получены методом математического моделирования после адаптивного выбора интервалов синтезирования, соответствующих средней угловой скорости поворота цели. Тип модели воздушной цели, составленной из тел простой и специальной формы методом суперпозиции, указан в верхнем правом углу изображения. Как видно, бинарные ДРЛИ в целом правильно характеризуют геометрические особенности летательных аппаратов, что позволяет рекомендовать их для решения задач идентификации в радиолокационных системах двойного назначения.

Представленные в работе результаты получены в ходе исследований, выполненных в рамках гранта РФФИ № 13-07-97505 а/Ц при финансовой поддержке администрации Смоленской области и Российского фонда фундаментальных исследований.

Литература

1. Фархат Н.Х. Формирование радиолокационных изображений методом разнесения в диапазоне СВЧ и автоматизированная идентификация целей, основанная на использовании моделей нейронных сетей // ТИИЭР, 1989. Т. 77. № 5. С. 43-56.

2. Стайнберг Б.Д. Формирование радиолокационного изображения самолета в диапазоне СВЧ // ТИИЭР, 1988. Т. 76. № 12. С. 26-46.

3. Анфиногенов А.Ю., Школьный Л.А. Методы мате-

матического моделирования радиолокационных изображений искусственных распределенных объектов // Успехи современной радиоэлектроники, 1998. №2. С. 49–58.

4. Митрофанов Д.Г. Метод построения радиолокационных изображений аэродинамических летательных аппаратов // Полет, 2006. № 11. С. 52-60.

5. Ширман Я.Д., Горшков С.А., Лещенко С.П. и др. Методы радиолокационного распознавания и их моделирование // Радиолокация и радиометрия, 2000. №2.

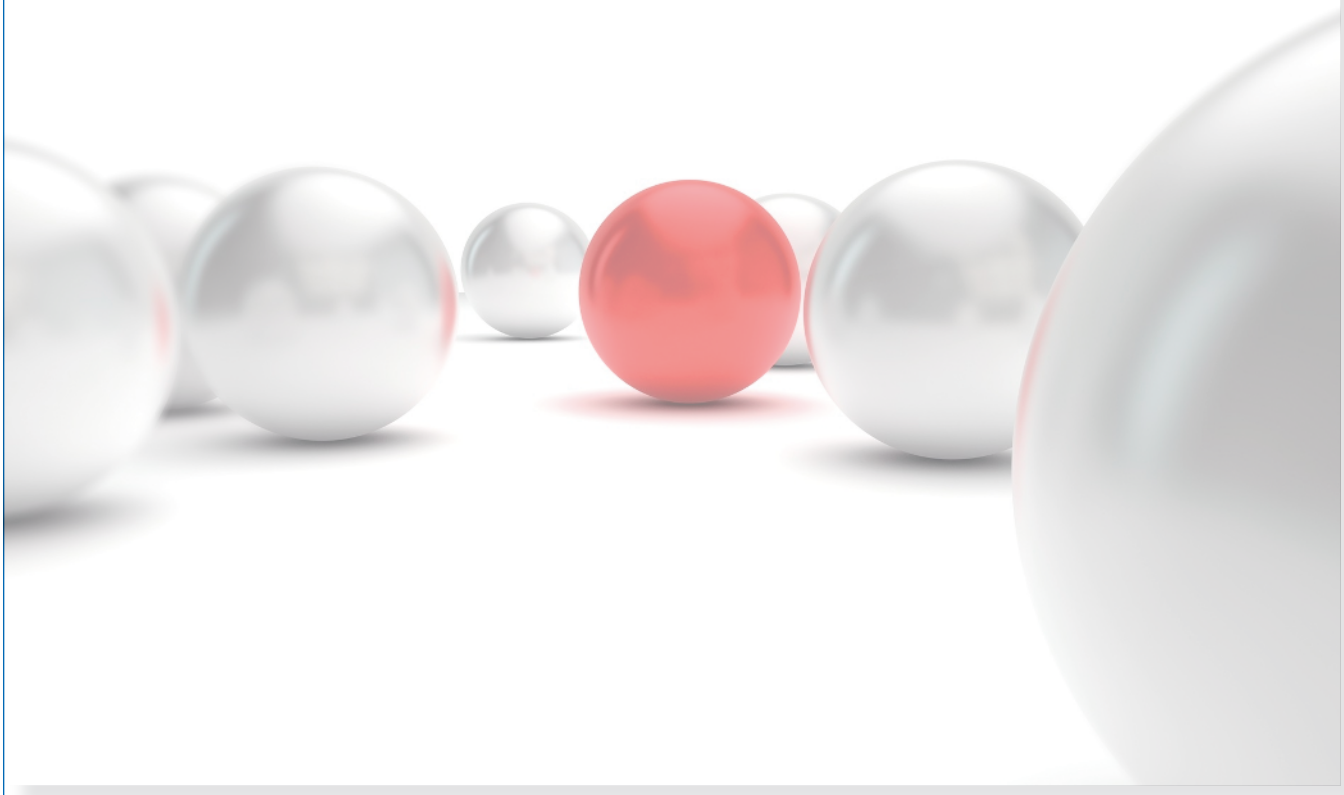
6. Майоров Д.А., Савостьянов В.Ю., Митрофанов Д.Г. Применение зондирующих сигналов с перестройкой частоты для измерения радиальной скорости воздушных объектов методом минимума энтропии // Электромагнитные волны и электронные системы, 2007. №9. С. 54-60.

7. Митрофанов Д.Г. Модификация подхода к измерению радиальной скорости объекта в РС с поимпульсной перестройкой несущей частоты // Информационно-измерительные и управляющие системы, 2009. №10. С. 56-64.

8. Майоров Д.А., Митрофанов Д.Г., Гаврикова Е.А. Автоматизированное измерение радиального ускорения малоразмерных воздушных объектов при поимпульсной перестройке несущей частоты // Нейрокмпьютеры: разработка, применение. Методы и модели смежных предметных областей интеллектуальных информационных систем, 2010. №10. С. 53-56.

9. Митрофанов Д.Г., Прохоркин А.Г., Нефедов С.И. Измерение поперечных размеров летательных аппаратов по частотной протяженности доплеровского портрета // Радиотехника, 2008. №1. С. 84-90.

10. Митрофанов Д.Г., Прохоркин А.Г., Перехожев В.А., Иванушкин С.В., Бортовик В.В., Майоров Д.А. Установление закона поворота планера летательного аппарата по амплитудно-фазовым характеристикам радиолокационных отражений // Известия Института инженерной физики, 2012. №26. С. 26-33.



УДК 621.396.677

ГЕОРАДИОЛОКАЦИОННАЯ ОЦЕНКА НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ НЕУПЛОТНЯЕМЫХ ГРУНТОВЫХ ПУТЕЙ ДВИЖЕНИЯ

Сергей Евгеньевич Кузеев
младший научный сотрудник
филиал Военной академии РВСН
им. Петра Великого (г. Серпухов)
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17
Тел.: +7(962) 905-94-17
E-mail: exus201@mail.ru

Антон Владимирович Подзоров
кандидат технических наук
младший научный сотрудник
филиал Военной академии РВСН
им. Петра Великого (г. Серпухов)
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17
Тел.: +7(916) 069-29-34
E-mail: exus201@mail.ru

Валентина Васильевна Котова
младший научный сотрудник
филиал Военной академии РВСН
им. Петра Великого (г. Серпухов)
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17
Тел.: +7(962)905-94-17
E-mail: exus201@mail.ru

В статье показана возможность использования георадиолокационного зондирования для оценки несущей способности грунтовых путей.

The article shows the possibility of the use of geo-radar sounding for the estimation of the bearing capacity of ground paths.

Ключевые слова: георадиолокация, несущая способность, пенетрация, георадар, природа грунта.

Keywords: georadiolocation, carrying capacity, penetration, GPR, nature of the soil.

В условиях постоянного развития и применения строительной, сельскохозяйственной и прочей техники, все более становятся актуальными вопросы, связанные с решение задач доставки крупногабаритных грузов в труднодоступные места. Одной из таких задач, является задача оценки несущей способности грунтовых путей.

В настоящее время с целью исследования предполагаемых маршрутов движения используются пенетрационные методы статического и динамического зондирования [1]. В их основе лежит определение характеристик сопротивления грунта по результатам вдавливания различных зондов в грунт. При достаточной простоте применяемых методов они обладают существенным недостатком. По своей сути пенетрация дает дискретные значения характеристик грунта на предполагаемом маршруте движения транспортных средств, что может привести к отсутствию возможности движения на некоторых участках маршрута.

В связи с этим более предпочтительным для решения такого типа задач является применение методов непрерывной оценки состояния грунтового полотна на маршрутах движения транспортных средств. Одним из таких является георадиолокационный метод [2].

Идея метода георадиолокационного зондирования состоит в излучении импульсов электромагнитных волн и регистрации сигналов, отраженных от границ раздела слоев зондируемой среды, имеющих различные электрофизические свойства.

Наиболее важными параметрами, характеризующими возможности применения метода георадиолокации в различных средах, являются удельное затухание и скорость распространения электромагнитных волн в среде, которые определяются ее электрическими свойствами.

Основой исследования является установление связи данных пенетрации различных грунтовых покрытий и георадиолокации.

Таблица 1

Песочный и глинистый грунт

Влажность, %	Число ударов (опыт 1) пес./гл.	Число ударов (опыт 2) пес./гл.	Число ударов (опыт 3) пес./гл.	Среднее из трех опытов пес./гл.
0	5/4	6/6	6/6	5,67/5,3
5	15/18	17/20	17/22	16,33/20
7,5	20/30	20/33	20/32	20/31,67
10	21/45	21/42	22/49	21,33/45,33
12,5	10/40	9/35	9/41	9,33/38,67
15	7/33	5/30	5/33	5,67/32

Пенетрация проводилась малым наконечником в грунтовой лаборатории РГУПС (г. Ростов-на-Дону). Диаметр наконечника – 35 мм.

Георадиолокация проводилась с использованием антенного блока АБ-1700, работающего на частоте 1700 МГц.

Испытуемый объем с грунтом (речной песок, глина), размеры 40×40×40 см.

Измерения обоими методами проводились по следующей схеме. Задавалась массовая влажность грунта, которая рассчитывалась по формуле:

$$M_B = \frac{c}{1-c} M_П , \qquad (1)$$

где $M_П$ и M_B – масса песка и воды;
c – значение влажности в процентах.

Параметр c варьировался и принимал значения: 0%, 5%, 7.5%, 10%, 12.5%, 15%.

После увлажнения полученный грунт испытывал динамическое уплотнение с силой F=mg с числом ударов 10. По первому методу (пенетрация) для каждого значения влажности грунта c получено число ударов наконечника до его полного погружения и записано в *таблицу 1* для песка и глины. Для набора статистики измерения выполнены в количестве трех серий с последующим их усреднением.

По второму методу (георадиолокация) получены георадарограммы для указанных значений влажности c (*рисунок 1*) и проведена их математическая обработка с определением относительной отражательной способности $\sum_{отн}$ грунта. Полученные данные приведены в *таблице 2*.

Полученные результаты эксперимента приведены в виде графиков зависимости количества ударов пенетрометра от влажности и относительной отражательной способности грунта от влажности (*рисунки 2-5*).

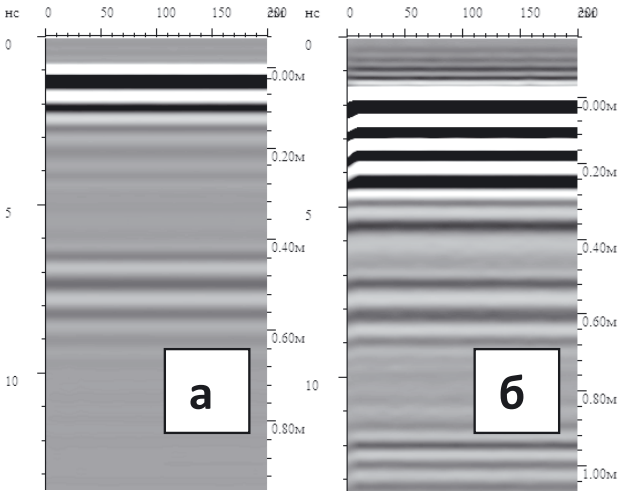


Рис. 1. Данные георадиолокации:
а) песок; б) глина.

Таблица 2

Данные георадиолокации

Влажность, %	Отражательная способность $\sum_{отн}$ песка	Отражательная способность $\sum_{отн}$ глины
0	0,146	0,747
5	0,552	0,85
7,5	0,665	0,87
10	0,781	0,885
12,5	0,837	0,9
15	0,894	0,91

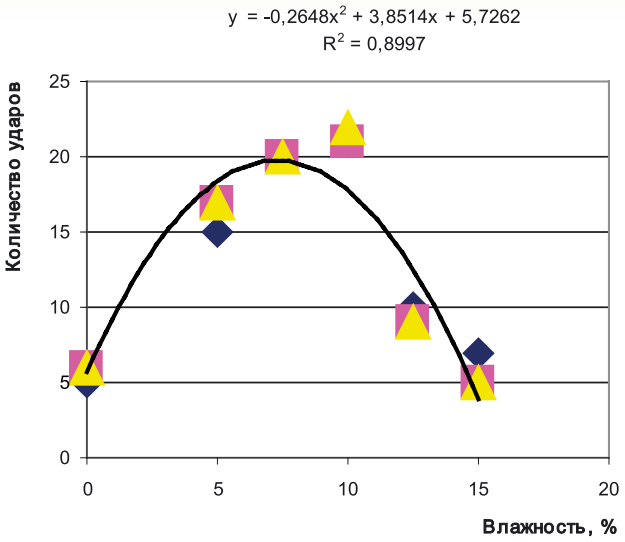


Рис. 2. Песочный грунт

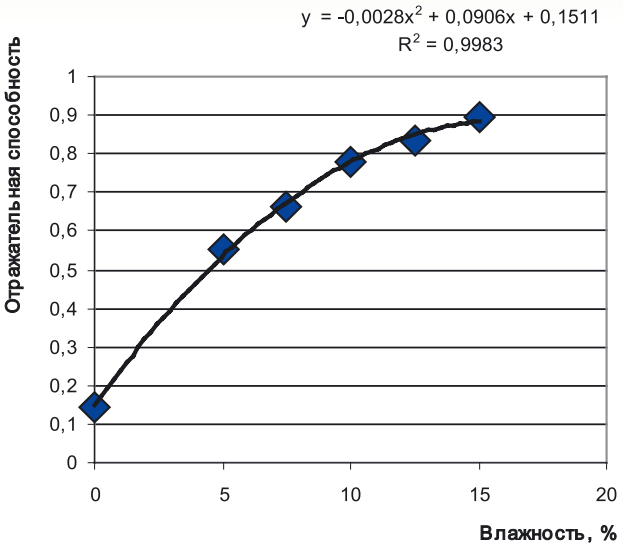


Рис. 3. Песочный грунт

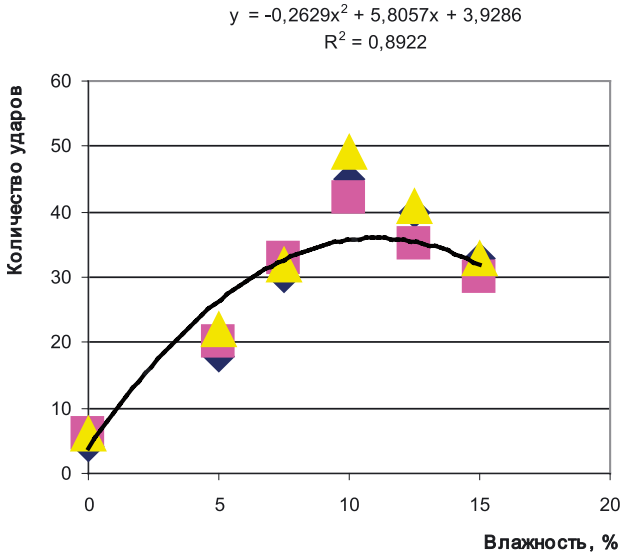


Рис. 4. Глинистый грунт

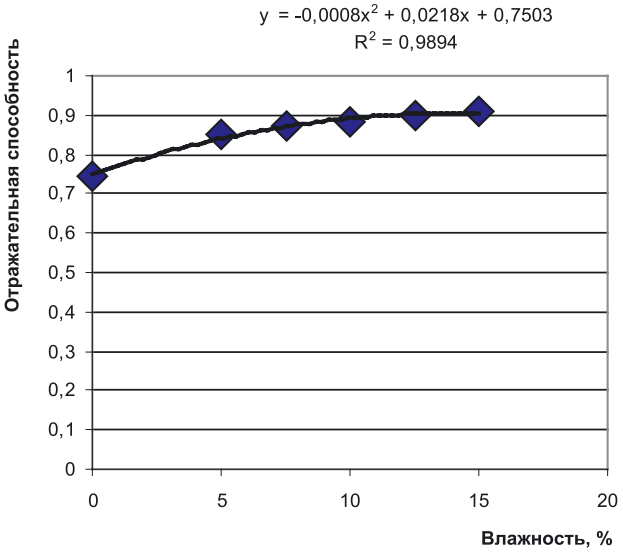


Рис. 5. Глинистый грунт

Анализ графиков позволяет сделать вывод, что вне зависимости от типа грунта до 80% наблюдается хорошая корреляция между данными динамической пенетрации и георадиолокации. Однако для применения полученных результатов необходимо иметь информацию о природе грунта, которая необходима для корректного выбора соответствующего коэффициента.

Для возможности использования показаний георадара с целью определения проходимости транспортных средств необходимо установить зависимость несущей способности грунта с его отражающей способностью.

На *рисунках 6* и 7 представлены зависимости изменения удельной несущей способности различных типов грунтов от влажности.

Использование численных значений позволяет получить регрессионными методами функциональную зависимость, связывающую удельную несущую способность грунтов c_z с их отражающей способностью Σ.

Такого рода зависимость представлена выражением:

$$c_\Gamma = \alpha \cdot \exp(\beta \cdot \Sigma) + \gamma \cdot \exp(\delta \cdot \Sigma) + \theta, \qquad (2)$$

где α, β, γ, θ - эмпирические коэффициенты для различных типов грунтов.

Численные значения этих коэффициентов

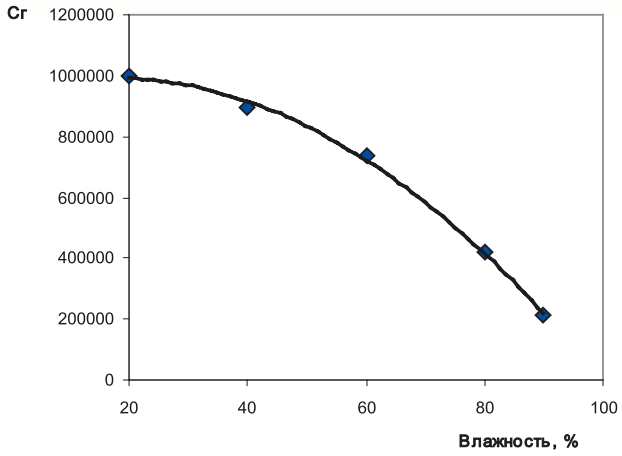


Рис. 6. Суглинистый грунт

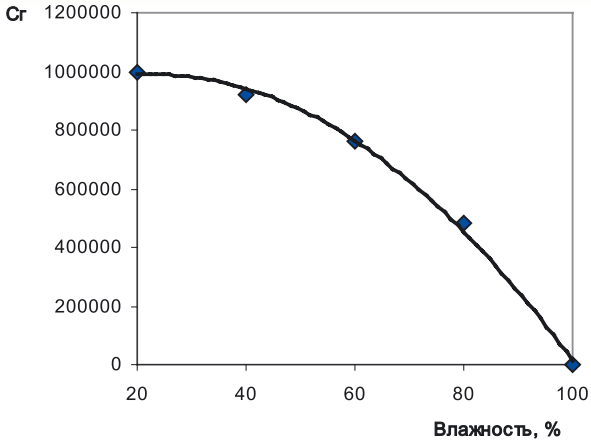


Рис. 7. Глинистый грунт

для глинистого и суглинистого грунта представлены в *таблице 3*.

В результате проведенных исследований можно сделать вывод, что зависимость, связывающая удельную несущую способность грунтов c_z с их отражающей способностью Σ, может быть использована для оценки проходимости транспортного средства по результатам георадиолокационного мониторинга грунтового полотна дороги.

Таблица 3

Значения коэффициентов

Тип грунта	α	β	γ	θ
Глина	$3.01\ 10^{-2}$	$-2.62\ 10^{-9}$	16.6	$9\ 10^{5}$
Суглинок	$1.92\ 10^{-2}$	$-2.31\ 10^{-9}$	16.6	$9.5\ 10^{5}$

Литература

1. ГОСТ 19912-2001.
2. Коншин Г.Г. Диагностика земляного полотна железных дорог. М.: ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2007. 200 с.

УДК 519.715, 623.43.01

ОЦЕНИВАНИЕ РИСКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ СОЗДАНИИ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ

Владимир Иванович Полянский
доктор технических наук, профессор
генеральный директор
ОАО «Корпорация «СПУ-ЦКБ ТМ»
Адрес: 111024, Москва, ул. Подъемная, д. 12а
Тел.: +7(495)673-67-11
E-mail: heavyeng@gmail.com

Предлагается оценивание риска принятия решений по совокупности показателей при создании сложных технических систем проводить с использованием аппарата нечетких множеств.

There are proposed to execute evaluation of risk of decision-making on the aggregate of indicators during elaboration of compound technical systems with usage of apparatus of fuzzy sets.

Ключевые слова: риск, нечеткое множество, нечеткое распределение, показатели свойств, решения, фазовые состояния.

Keywords: risk, fuzzy set, fuzzy allocation, indicators of properties, solutions, phase states.

Аппарат теории нечетких множеств находит все большее применение при описании неопределенности в проблемах принятия решений, так как используемые вероятностные представления далеко не всегда отвечают действительности, особенно при создании сложных технических систем.

К такому мнению приходит значительное число исследователей, в частности Калман утверждает: «Для того, чтобы моделировать неопределенности при помощи вероятностного механизма, необходимо иметь чересчур много информации, которая не может быть извлечена из доступных данных в большой массе практических задач. В первую очередь это относится к выбору тех или иных вероятностных распределений, описывающих неопределенность. В то же время конкретный вид распределений существенно сказывается на сложности аналитического решения или исследования задачи» [1].

Кроме того, нередки случаи, когда в проблеме принятия решений по результатам наблюдений важна не средняя, а максимально возможная погрешность [2]. В этих случаях вероятностное описание неадекватно отражает наши потребности и более естественным представляется подход, описывающий неопределенность множеством, а эксперимент – многозначным отображением.

Для описания неопределенности максимально возможной погрешности с “весами”, учитывающими различную «возможность» того или иного результата измерения, естественным аппаратом является теория нечетких множеств.

Таким образом, существует необходимость использования альтернативных теорий неопределенности. Один из наиболее привлекательных подходов предлагается теорией нечетких множеств, в которую легко укладываются плохо формализуемые понятия и знания экспертов. Особенно сильно это проявляется при описании лингвистических неопределенностей [3]. С другой стороны, сами нечеткие понятия часто допускают гибкую лингвистическую интерпретацию, что делает их использование естественным и наглядным.

Длительное время теория вероятностей и базирующаяся на ней математическая статистика были единственными дисциплинами, предлагающими средства как для описания эксперимента, так и для оценивания риска принятия решения в условиях неопределенности. В силу это-

го в рамках данных теорий был накоплен богатый концептуальный опыт и выделен ряд фундаментальных понятий. Однако, многие из этих понятий имеют весьма абстрактный смысл, не связанный непосредственно с теоретико-вероятностным подходом. Такие важные понятия, как совместное распределение, условное распределение и другие имеют свои аналоги и в теориях неопределенности, базирующихся на нечетких множествах.

Определение 1. Нечетким распределением A на пространстве X называется нечеткое множество на X, т.е. A полностью определяется своей функцией принадлежности (характеристической функцией) $\mu_A : X \to M, M = [0,1]$. Значение $\mu_A(x)$ интерпретируется, как степень принадлежности элемента x множеству A [2].

Нечеткое распределение является аналогом вероятностного распределения, т.е. вероятностной меры, заданной на измеряемом пространстве.

$F(X) = M^x = (X \to M)$ – семейство всех нечетких распределений на пространстве X.

Нечеткое распределение называется нормированным, если $\sup_x \mu_A(x) = 1$.

В теории вероятностей распределение переводится измеримым отображением в некоторое новое распределение. Аналогичная конструкция может быть введена и в терминах нечетких множеств.

Определение 2. Пусть A некоторое нечеткое распределение на X, т.е.

A∈F(X) и f: X→Y некоторое отображение, тогда распределение B на Y является образом распределения x, индуцированным отображением f и обозначается B=fA, если

$$\mu_B(y) = \sup_{x:f(x)=y} \{\mu_A(x)\} = \sup_{x \in f^{-1}(y)} \{\mu_A(x)\}$$

$\mu_B(y) = 0$, если $f^{-1}(y) \neq 0$.

Степень принадлежности y образу нечеткого множества A определяется максимальной степенью принадлежности x множеству A для всех таких x, образом которых является y [2].

Определение 3. Нечеткое распределение C∈F(X×Y) определяет нечеткое совместное распределение пары (x,y), x∈X, y∈Y.

Совместное распределение иногда интерпретируется как нечеткое отношение, как степень , с которой x и y находятся в отношении C.

Распределение C^*∈F(X×Y) называется противоположным к C, если $\mu_C(y,x) = \mu_C(x,y)$. Совместное распределение вместе с проекциями $P_X : X \times Y \to X$ и $P_y : X \times Y \to Y$ индуцируют маргинальные распределения, как проекции отношения A = P_XC и B = P_YC на пространствах X и Y соответственно:

$$\mu_A(x) = \sup_y \{\mu_C(x,y)\}$$

$$\mu_B(y) = \sup_y \{\mu_C(x,y)\}$$

Определение 4. Нечетким переходным распределением, действующим из пространства X в пространство Y, называется отображение α:X∈F(Y), ставящее в соответствие каждому элементу x∈X некоторое нечеткое распределение αx→F(Y) в пространстве Y [2].

Заметим, что множество переходных распределений из X в Y находится во взаимно-однозначном соответствии с множеством распределений на X×Y. Так как α:X∈F(Y) и C∈F(X×Y), тогда соотношение

$$\mu_C(x,y) = \mu_{\alpha x}(y) \quad \forall x \in X, \forall y \in Y$$

учитывает взаимно-однозначную связь между C и α. Распределение αx есть не что иное, как множество y, находящихся в отношении C с x.

В математической статистике понятие переходного распределения играет важную роль, оно фактически служит базой для описания статистического эксперимента, особенно при наличии априорного распределения. На нем также основывается понятие условного распределения.

Определение 5. Пусть A – некоторое распределение в X, и α – переходное распределение из X в Y, тогда B∈F(Y) называется образом распределения A, индуцированным переходным распределением α и обозначается как B=αA, если

а) для M-теории

$$\mu_B(y) = \sup_x \min\{(\mu_A(x), \mu_{\alpha x}(y))\};$$

б) для P-теории

$$\mu_B(y) = \sup_x (\mu_A(x), \mu_{\alpha x}(y)).$$

Определение 6. Пусть A – распределение в X и α – переходное распределение из A в B∈Y. Совместным распределением, порожденным A и αназывается такое распределение α*A в X×Y, что

а) для M-теории

$$\mu_{\alpha * A}(x,y) = \min\{(\mu_A(x), \mu_{\alpha x}(y))\};$$

б) для P-теории

$$\mu_{\alpha * A}(x,y) = \mu_A(x), \mu_{\alpha x}(y).$$

Определение 7. Если некоторое произвольное распределение A∈F(X×Y) порождается своим маргинальным распределение P_XA и некоторым переходным распределением α:X→F(Y), т.е. представимо в виде A=α*P_XA, то ∝ является условным распределение для A относительно X.

Аналогично $\beta: Y \to F(X)$ является условным распределением для A относительно Y, если $A^* = \beta * P_Y A$.

Для оценивания риска в настоящее время достаточно глубоко и всесторонне исследованы модели и методы принятия решения.

В настоящей работе предлагается основанная на модели $M = < R, S', \Pi, \mu, \Phi >$ методика оценивания риска при описании процесса принятия решений для сложных систем в альтернативной теории вероятностей – теории нечетких множеств. Согласно этой модели множество $R=\{R_i \mid i=\overline{1,n}\}$ возможных решений относительно объекта, $\Pi = \{\pi_j \mid j=\overline{1,m}\}$ множество показателей свойств объекта и цели, показателей на которых все решения попарно различимы и $\tilde{S} = \{f_{ij}, \mu F_i(f_{ij}) \mid i=\overline{1,n}, j=\overline{1,m}\}$ нечеткое множество модельных значений показателей свойств объекта и цели являются заданными.

Принятие решения $R_i \in R$ $(i=\overline{1,n})$ объекта осуществляется путем наблюдения за связанной с ним системой показателей. Нечеткое распределение $\mu F_i(f_{ij})$ показывает степень, с которой модельные значения показателей π_j на интервале f_{ij} определяют решения R_i.

Информация с объекта поступает в виде количественных или качественных значений y_j показателей, имеющих в общем случае также нечеткое распределение.

$\mu_{f_{ij}}(y_j)$ – функция принадлежности измеренного значения y_j модельному интервалу f_{ij} решения Ri, нечеткое распределение результатов измерения y_j на модельном интервале f_{ij} показателей π_j, решение определяет степень истинности, с которой результат измерения y_j показателя π_j определяет принятое решение на заданном модельном интервале f_{ij}.

Таким образом, проверка показателя π_j заключается в измерении его текущего значения y_j и определении интервалов f_{ij} модельных значений, которым он принадлежит.

В соответствии с используемой моделью принимаемое решение может находиться в одном из множества решений, называемых фазовыми состояниями (ФС) процесса принятия решений. Начальным ФС процесса принятия решений является все множество заданных решений, которое обозначается R. Конечными ФС являются одноэлементные множества, обозначаемые $R_i \mid i=\overline{1,n}$.

Все остальные множества $R \subseteq R$, содержащие 2,3 ,..., m элементов, обозначим

$$R_k \ (k=m+1, m+2,\ldots)$$

Подмножество допустимых для проверки показателей в ФС Rk определяется из условия

$\pi_j \in \Pi_k$, если $\exists R_i, R_r \in R_k : f_{ij} \cap f_{rj} = \emptyset$

$$\forall y_j \in \underset{\{i:R_i \in R_k\}}{I} f_{ij} : \mu_{f_{ij}}(y_j) \neq \mu_{f_{rj}}(y_j).$$

Результатом (исходом) проверки показателя $\hat{\pi}_j$ называется событие, заключающееся в попадании измеренного значения y_j показателя в один из интервалов f_{ij} модельных значений показателей свойств объекта, среды и цели или их пересечений $\gamma_{kj}^{v} = \bigcap f_{ij}$, где {i} – множество индексов взаимно пересекающихся интервалов модельных показателей.

Если интервал f_{ij} не пересекается с другими, то это множество содержит единственный элемент.

Пересечения интервалов f_{ij} модельных показателей будем называть зонами, число *v* которых конечно $v=\overline{1,w_{kj}}$.

Из-за нечеткости измерения, случайного характера измерения показателей и помех, воздействующих на объект, зоны γ_{kj}^{v} имеют нечеткое распределение в пространстве возможных результатов измерений y_j показателей свойств объекта, среды и целей

$$\pi_j : \gamma_{kj}^{v} = \{y_j, \mu_{\gamma_{kj}^{v}}(y_j)\},$$

где $\mu_{\gamma_{kj}^{v}}(y_j)$ – функция принадлежности результата измерения y_j к зоне γ_{kj}^{v} пересечения интервалов f_{ij} модельных значений показателей π_j, определяющая уровень доверия результату измерения y_j показателя, степень нечеткости отражения показателей свойств объекта, среды и целей на множество принимаемых решений – степень риска;

$\mu_{\beta y_j}(R_i)$ – переходные нечеткие распределения измеренных значений y_j модельных интервалов f_{ij} показателей в зоне на множестве принимаемых решений $\{R_i \mid \overline{1,n}\}$, т.е. $\mu_{\beta y_j}(R_i)$ ставит в соответствие каждому значению y_j интервала f_{ij}, находящемуся в зоне $\gamma_{kj}^{v} = \underset{\{i\}}{I} f_{ij}$, некоторое нечеткое распределение βy_j на множестве R/R_i решения.

Зоны отличаются друг от друга числом и составом пересекающихся в них интервалов f_{ij} и могут иметь в общем случае разную длину.

Проверку показателя π_j формально можно представить как нечеткое отображение в следующем виде

$$\pi_j : R_k \to R_{kj}^{v} \times M, \text{ если } y_j \in \gamma_{kj}^{v},$$

где $R_{ij}^{v} \subset R_k$ подмножество, содержащее только те решения $R_i \in R_k$, которым соответствуют пересекающиеся интервалы f_{ij}, т.е.

$$R_{kj}^{v} = \{R_i \in R_k, \mu_{R_{kj}^{r}}(R_i) \mid i : \underset{\{i\}}{I} f_{ij} \neq \emptyset\},$$

$$\gamma_{ij}^{v} = \underset{\{i\}}{I} f_{ij}, \ i : R_i \in R_{ij}^{v}.$$

Степень уверенности, с которой измеренное значение y_j показателя $\pi_j \in \Pi$ определяет каж-

дое из решений R_i ФС R_k определяется значением функции принадлежности $\mu_{\gamma_{kj}^{v}}(y_j)$ в зоне γ_{ij}^{v} и нечетким переходным распределением $\mu_{\beta y_j}(R_i)$.

Отсюда следует, что решения R_i входят или определяются в ФС R_k с определенной степенью уверенности, достоверности, характеризуемой функцией принадлежности $\mu_{Rk}(R_i)$. Таким образом, ФС R_k является нечетким множеством, в котором решения $R_i \in R_k$ связаны отношением толерантности. В зависимости от значения $\mu_{Rk}(R_i)$ функции принадлежности, или другими словами, степени предпочтения, которое отдается экспертами решению $R_i \in R_k$ среди других решений, входящих в ФС R_k, оценивается степень риска при принятии данного решения $1-\mu_{Rk}(R_i)$.

По аналогичной схеме оцениваются риски в процессе моделирования (имитационного, интеллектуального и др.). Степень риска, с которой показатель $\pi_j \subset \Pi_k$ идентифицирует решение R_i в ФС R_k, определяется значениями функций принадлежности $\mu_{f_{ij}}(y_j)$ и $\mu_{\beta y_j}(R_i)$.

Определение 8. Под риском принятия решения $R_i \in R_k$ по показателю $\pi_j \in \Pi_k$ понимается степень ложности принятия данного решения в ФС R_{kj}^{v} по результату измерения y_j показателя π_j и определяется следующим выражением

$$1-\mu_{R_{kj}^{v}}(R_i)=\sup_{y_j}\min\{\mu_{\gamma_{kj}^{v}}(y_j),\mu_{\beta_{y_j}}(R_i)\},$$

где $\mu_{R_{kj}^{v}}(R_i)$ – функция принадлежности или нечеткое распределение решений F_i в ФС R_{kj}^{v}.

Эта функция дает возможность оценить все альтернативные варианты решений R_i в ФС R_{kj}^{v} процесса принятия решений и по критерию максимального значения $\mu_{R_{ij}^{v}}(R_i)$, удовлетворяющего условию

$$\max_{R_i}\{\mu_{R_{kj}^{v}}(R_i)\}\geq\alpha:\forall R_r\in R\setminus\{R_i\},\ \mu_{R_{kj}^{v}}(R_r)\leq\alpha,$$

принять решение, т.е. идентифицировать решения R_i в ФС R_{kj}^{v}. Если условие не выполняется, для анализа ФС привлекаем следующий показатель из подмножества $\Pi_к \subset \Pi$.

Чем меньше риск каждого исхода π_j^{v} измерений значений y_j, тем меньше риск принятия решения по показателю π_j.

Определение 9. Риск принятия решений $R_i \in R$ по результатам измерения значений y_j показателя π_j, выполненного в ФС R_k и имеющего несколько исходов, которым соответствует ФС R_{kj}^{v}, определяется как максимальное значение риска самого неблагоприятного исхода измерения значений y_j показателя π_j, т.е.

$$1-\mu_{R_k}(R_i)=\min_{R_{kj}^{v}}\{\max_{R_i\in R_{kj}^{v}}\{\mu_{R_{kj}^{v}}(R_i)\,|\,i=\overline{1,n}\,|\}\ v=\overline{1,\omega_{kj}}\}.$$

По значению функции принадлежности проверки $\mu_{R_k}(R_i,\pi_j)$, можно построить стратегию оптимального процесса принятия решений относительно объекта по критерию минимума риска при задании непрерывных величин и их распределений в качестве показателя свойств объекта и цели. Следует отметить, что представление показателей в непрерывной форме является наиболее общим, поэтому предлагаемая методика без нарушения общности рассуждений может быть использована и в случаях применения бинарных и целочисленных показателей.

Таким образом, если в результате измерения показателя π_j, измеренное значение y_i попадает в зону γ_{kj}^{v}, это означает, что «подозреваемое» решение находится в ФС R_{ij}^{v}. Определив значение функции принадлежности каждого решения Ri ФС R_{ij}^{v} по результату измерения показателя π_j, можно принять оптимальное решение $R_i \in R$ относительно объекта по приведенному критерию или продолжить проверки по другим показателям. Таким образом, для каждой зоны γ_{kj}^{v} определяется по критерию риска принятия решения относительно объекта.

Процесс выбора показателей продолжается до тех пор, пока по результатам очередного измерения $\pi_j \in \Pi,\ j=\overline{1,m}$ не будет выполняться условие:

$$\max_{R_i}\{\mu_{R_{kj}^{v}}(R_i)\}\geq\alpha:\forall R_r\in R\setminus\{R_i\},\mu_{R_{kj}^{v}}(R_r)\leq\alpha\ ,$$

Определение 10. Риск принятия решений $R_i \in R$ по результатам проведенных измерений будет определяться следующим выражением:

$$1-\mu_{R_k}(R_i)=\min_{\pi_j}\ \max_{R_i}\{\mu_{R_{kj}^{v}}(R_i)\,|\,i=\overline{1,n},j=\overline{1,m},\nu=\overline{1,\omega_{kj}}\}$$

Таким образом, решена задача определения риска принятия решения по показателям свойств объекта, среды и цели в условиях существенной неопределенности на основе использования нечеткого распределения.

Преимуществом данного подхода в процессе создания сложных технических систем, в отличие от известных, является возможность количественного оценивания риска без использования вероятностей ошибки первого и второго рода, которые на практике получить весьма сложно, и потому в большинстве случаев они задаются с большой степенью произвола. Это существенно искажает истинные значения оцениваемого риска. Применение нечеткого распределения в определенной мере компенсирует этот недостаток.

Литература

1. Калман Р.Е. Идентификация систем с шумами // УМН, 1985. №4(244), С. 27-41.

2. Голубцов П. В. Теория нечетких множеств как теория неопределенности и задачи принятия решений в нечетком эксперименте // Проблемы передачи информации, 1994. Вып. 3.

3. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта. Под ред. Д.А. Поспелова. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. 312 с.

УДК 338

СИМПЛИФИКАЦИЯ АСПЕКТОВ ДЛЯ ФИНАНСОВОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ

Алексей Александрович Александров
аспирант
Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)
Адрес: 125993, ГСП-3, А-80, г. Москва,
Волоколамское ш., д. 4
Тел.: +7(916)661-85-71
E-mail: aaaseliger@mail.ru

Рассмотрены проблемы понимания специфики инновационного развития предприятия (а именно, привлечение инвестиций), а также эффективного управления им, как главных факторов совершенствования и развития инновационно-ориентированного предприятия в условиях существующей экономики; выработаны рекомендации по определению показателей эффективного финансового обеспечения инновационного развития предприятия. Изложены аспекты финансового обеспечения инновационной деятельности и развития предприятия, определены финансовые показатели внедрения инноваций, показана экономико-математическая модель инновационной деятельности.

Problems of understanding of specifics of innovative development of the enterprise, namely, attraction of investments, and also effective management are considered by it as the main factors of improvement of development innovative the focused enterprise in the conditions of existing economy, and recommendations about definition of indicators of effective financial security of innovative development of the enterprise are developed. Aspects of financial security of innovative activity and enterprise development are stated, financial performance of introduction of innovations is defined, the economic-mathematical model of innovative activity is shown.

Ключевые слова: инновационная деятельность, инвестиции, инновационное развитие предприятия.

Keywords: innovative activity, investments, innovative development of the enterprise.

Введение

Инновационность предприятия является важным конкурентным преимуществом, ибо позволяет своевременно защитить бизнес от назревающих угроз со стороны внешней среды через систему опережающего и непрерывного поиска новых возможностей выживания и развития. Как правило, рынок всегда меняет отношение к предприятию на более позитивное, если оно становится более интересным, разнообразным и креативным (инновационным).

Инновации представляют собой эффективное средство конкурентной борьбы. Понятие «инновация» относится как к радикальным, так и к постепенным изменениям в продуктах, процессах и стратегии предприятия. Исходя из того, что цель нововведений – повышение эффективности, экономичности, качества, удовлетворенности клиентов организации, понятие инновационности можно отождествлять с понятием предприимчивости – готовности к новым возможностям улучшения работы организации (коммерческой, государственной, благотворительной).

В настоящее время доказано, что именно инновационная деятельность является локомотивом успешного функционирования организации. Инновации увеличивают доходы компаний, ускоряют рост, являются основой для создания конкурентного преимущества, привлекают инвесторов и потребителей. Опрос ведущих бизнес-аналитиков, проведенный компанией Arthur D. Little, показал, что 90% опрошенных экспертов считают, что важность инноваций существенно возросла за последнее десятилетие.

Итоги очередного ежегодного исследования инновационной активности крупнейших миро-

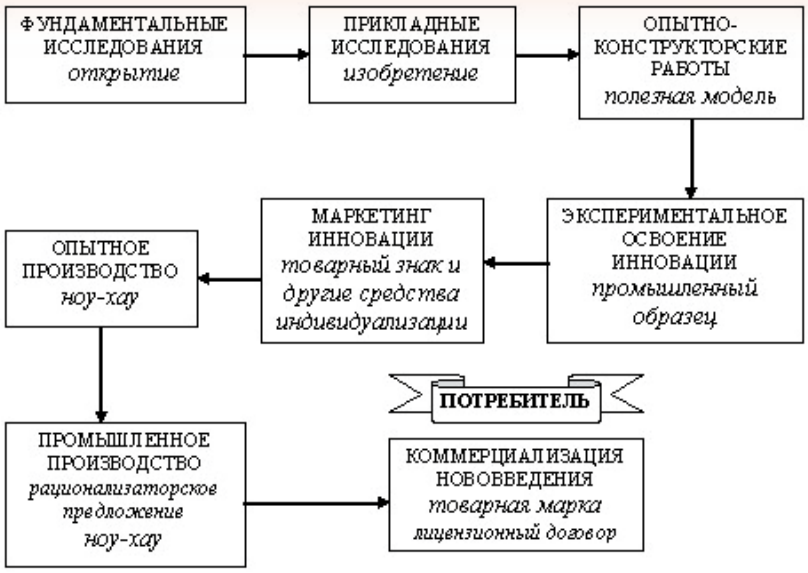


Рис. 1. Распределение результатов интеллектуальной деятельности по стадиям инновационного процесса

вых компаний в сфере R&D (НИОКР) The Global Innovation 1000, проведенного в 2009 году ведущей американской консалтинговой фирмой Booz&Company, показали, что большинство представленных в рейтинге компаний – лидеров по инвестициям в R&D, несмотря на посткризисную рецессию, не пошли на сокращение объемов финансирования своих инновационных программ. Более того, значительное число этих компаний даже увеличило расходы на НИОКР, рассчитывая в скором будущем, на стадии нового подъема, получить дополнительные рыночные преимущества по сравнению со своими менее дальновидными конкурентами.

Таким образом, инновации продолжают оставаться ведущим элементом рыночной стратегии компаний, и циклический спад деловой активности стал для них полезным и мощным стимулом для очередной эффективной перестройки своей инвестиционной политики.

В то же время, инновационная активность предприятий сдерживается многочисленными причинами объективного и субъективного характера (недостаточным финансовыми возможностями, высокой степенью риска, отсутствием собственной научно-исследовательской и опытно-конструкторской базы, кадров требуемой квалификации, необходимой научно-исследовательской и маркетинговой информации).

Следовательно анализ и прогнозирование развития экономики становятся невозможными без изучения целей и источников инноваций, форм внутреннего и внешнего технологического обмена, оценки текущих и капитальных затрат на инновационную деятельность по ее видам и источникам финансирования, объема инновационной продукции.

Предметом исследования статьи является понятие инновационной деятельности и значение финансирования инноваций и инновационной деятельности в условиях рыночной экономики.

Основные исследования

Прежде чем дать определение инновационному предприятию, необходимо понять смысл таких терминов как инновация и инновационная деятельность.

Инновация – это нововведение в области техники, технологии, организации труда или управления, основанное на использовании достижений науки и передового опыта. Инновация – конечный результат инновационной деятельности, получивший реализацию в виде:

- нового или усовершенствованного продукта, реализуемого на рынке;
- нового или усовершенствованного технологического процесса, используемого в практической деятельности.

Можно также согласиться с определением Э. Дандона относительно сущности инноваций. Само определение инновации представляет собой «прибыльную реализацию творческой стратегии».

Так как инновация определятся как конечный результат инновационной деятельности, рассмотрим данный термин.

Инновационная деятельность – деятельность, направленная на коммерциализацию на-

копленных знаний, технологий и оборудования. Результатом инновационной деятельности являются новые или дополнительные товары, услуги или товары, услуги с новыми качествами, т.е. инновации.

В постановлении Правительства РФ от 24 июля 1998 года №832 «О концепции инновационной политики Российской Федерации на 1998-2000 гг.» приведено определение этого вида деятельности:

«Инновационная деятельность – процесс, направленный на реализацию результатов законченных научных исследований и разработок либо иных научно-технических достижений в новый или усовершенствованный продукт, реализуемый на рынке, в новый или усовершенствованный технологический процесс, используемый в практической деятельности, а также связанные с этим дополнительные научные исследования и разработки».

Неотъемлемым элементом любой инновационной деятельности является экономический анализ. Стадии инновационного процесса представлены на *рисунке 1*. Экономический анализ может использоваться не только как инструмент оценки достигнутого уровня инновационной активности и устойчивости предприятия, но и для оценки изменения этого уровня под воздействием различных технико-экономических факторов.

Именно посредством экономического анализа можно заранее выявить негативные моменты в деятельности хозяйствующего субъекта, «узкие места» в реализации инновационного проекта, то есть экономический анализ является важнейшим средством выявления внутрихозяйственных резервов повышения уровня инновационной активности, эффективности инновационной деятельности и устойчивости функционирования предприятия.

Экономический анализ инновационной деятельности выступает инструментом для разработки управленческих решений, направленных на повышение эффективности функционирования предприятия, а также используется для оценки профессионального мастерства и деловых качеств руководителей предприятия, инновационных подразделений и специалистов.

Целью инновационного анализа является определение целесообразности осуществления инновационных внедрений в деятельность хозяйствующего субъекта.

По результатам анализа обосновывается целесообразность разработки и реализации управленческих решений, направленных на повышение эффективности инновационной деятельности и устойчивости функционирования предприятия.

Известные модели инновационной деятельности рассматривают разные стороны взаимодействия хозяйствующих субъектов: работников предприятий и предпринимателей, банковской системы и др. Однако единой модели, которая учитывала бы их общие интересы, несмотря на ее необходимость, на современном этапе развития экономики не существует. Кроме того, в существующих моделях не рассматривается механизм их реализации. Поэтому очень актуальным является построение формализованной модели инновационной деятельности, определяющей основные источники инвестиций и связывающей инвестиции с уровнем дохода.

Основными источниками инвестиционных ресурсов являются: собственные средства (прибыль, амортизационный фонд) и заемные средства (банковский кредит, субсидии государства, средства акционеров). Каково бы ни было происхождение средств, всегда необходимо добиваться максимального роста эффективности капитала. Одним из признаков роста эффективности капитала является рост производительности труда, опережающий рост заработной платы. Функция технического прогресса зависит от притока новых идей и от возможностей их внедрения. Она выражает динамизм общества, его изобретательность и готовность к экспериментированию. По мере ускорения темпов роста инвестиций на единицу труда производительность труда также возрастает, однако при достижении некоторого порогового значения, инвестиций увеличение их объема не приводит к повышению производительности труда, так как увеличение размеров инвестиций позволяет более глубоко использовать имеющиеся технические знания, но такое использование имеет свои пределы. При этом необходимо учитывать, что предприниматели принимают решение об инвестировании, если сумма чистой прибыли в течение периода функционирования инновации сравнима либо превышает норму прибыли всей технической системы, в состав которой входит инновация. Они рассматривают только те инвестиционные проекты, которые гарантируют возвращение всей инвестируемой суммы в обозримом промежутке времени. Математически величина инвестиций на единицу труда в момент времени ***t*** выражается уравнениями:

$$\begin{aligned} i_t &= \int (P_t - W_t)dt, \\ \frac{i_t}{q_t} &= \int_t^{t+h} (P_t - W_t)(1+q_t)^{h-t}\,dt \end{aligned}, \qquad (1)$$

где P_t – производительность труда в момент времени *t;*

W_t – прогнозируемая величина заработной платы;
t – продолжительность прогноза;
h – продолжительность, в течение которой инвестор предполагает возместить всю сумму вложенных инвестиций;
q_t – коэффициент дисконтирования в течение времени t.

Отсюда следует, что сумма прибыли в течение времени h должна равняться первоначальной стоимости инвестиций. Из (1) следует, что темп роста производительности труда и соответствующий ему темп роста заработной платы имеют тенденцию стимулировать равный темп роста инвестиций. При этом возможны три случая:

1. Темп роста инвестиций на единицу труда равен темпу роста реальной заработной платы и производительности труда. В этом случае возникает положение равновесия:

$$\frac{d_i / d_t}{i} = \frac{dp / dt}{p} \quad . \qquad (2)$$

2. Инвестиции растут темпами, превосходящими темпы роста производительности труда. Однако долго такой темп роста инвестиций сохраняться не может. Он будет сохраняться до тех пор, пока не станет равным темпу роста производительности труда и заработной платы.

3. Инвестиции возрастают темпами более низкими, чем производительность труда. В этом случае рост производительности труда и зарплаты стимулирует ускорение инвестиций, темп роста которых стремится к достижению равновесного уровня.

При раздельном рассмотрении взаимосвязи инновационной деятельности с темпами накопления капитала и факторами производства выявилось категорическое отрицание обоих подходов. Альтернативность применения должна иметь место лишь при их комплексном использовании, что позволит создать единую формализованную модель инновационной деятельности промышленного производства.

Рыночные условия допускают возможность использования различных способов инвестиционной деятельности. Для обоснования стоимости инвестированного в инновации капитала предлагается такой универсальный показатель, как модифицированная внутренняя норма прибыльности:

$$\sum_{t=0}^{T} \frac{ДР_t}{(1+k)^t} = \frac{\sum_{t=0}^{T} ДП_t / (1+k)^{T-t}}{(1+МВНП)^T} \quad , \qquad (3)$$

где $ДР_t$ – денежные расходы по проекту в момент времени t;
$ДП_t$ – денежные прибыли по проекту в момент времени t;
$МВНП$ – модифицированная внутренняя норма прибыли;
k – ставка реинвестирования капитала, высвобождающаяся при реализации проекта;
T – плановый горизонт расчета.

Этому интегральному показателю не свойственен такой недостаток как мультипликация.

Современные требования, предъявляемые к обеспечению устойчивости деятельности предприятия в долгосрочной перспективе, направлены на выполнение основной цели бизнеса. Согласно принятому подходу выполняются условия поддержания заданного уровня прироста рыночной стоимости. Данный подход характеризуется выбором факторов, которые оказывают определяющее влияние на компоненты или составляющие бизнеса, измеряемые эффектом добавленной стоимости предприятия. Используемый инструментарий ориентирован на исследование влияния чувствительности заранее заданного набора ключевых параметров: изменения темпа прироста рентабельности продаж, увеличения нормы прибыли, повышения эффективности вложенного оборотного капитала. Такие параметры показывают размер прироста рыночной стоимости предприятия при изменении перечисленных факторных показателей. Однако существующая практика анализа, применяемая в традиционном исполнении, страдает рядом существенных недостатков. К главным из них относятся отсутствие сбалансированности и оптимальности применяемых параметров, наличие двойственных оценок, имеющих принципиальное значение в управлении бизнес-процессами предприятия. В подобной ситуации использование полученных результатов может оказаться некорректным и даже ложным. Дело в том, что в рассматриваемых моделях параметризация противоречивой и корректной входной информации может вызвать на выходе дисбаланс. Дело в том, что устойчивый рост предприятия определяется как повышение предполагаемого уровня объема продаж. При этом любое увеличение продаж в будущем должно быть компенсировано за счет вложения дополнительных ресурсов (например, увеличением заемных средств, уменьшением дивидендных выплат и др.). Отслеживание коэффициента устойчивого роста позволяет выявить несогласованность в изменениях финансовых показателей.

В модели устойчивого роста для обеспечения стабильного развития все параметры должны принимать заранее установленные значения. Однако на практике в силу объективных причин

предприятию трудно постоянно поддерживать стабильное состояние. По мере того, как устойчивое финансовое состояние из периода в период становится переменным, применение рассмотренной модели *SGR* приводит к неверным результатам. В этой связи необходимо скорректировать условия модели, поскольку прирост собственного капитала и прирост объемов продаж могут быть не сбалансированы во времени. В результате получаем окончательный вид скорректированной модели устойчивого роста предприятия:

$$SGR_g = \frac{(E - div)\times\left[\frac{S}{A}\times\left(1+\frac{D}{E}\right)\right]}{1-\frac{P_n}{S}\times\left[\frac{S}{A}\times\left(\frac{E+D}{E+P_r}\right)\right]}\times\frac{1}{S_0}-1, \qquad (4)$$

где SGR_g – коэффициент устойчивого роста в изменяющихся условиях;

$\frac{S}{A}\frac{S}{A}$ – плановый коэффициент оборачиваемости активов;

$\frac{D}{E}\frac{D}{E}$ – плановый коэффициент финансового левериджа;

$\frac{P_n}{S}\frac{P_n}{S}$ – плановый коэффициент рентабельности продаж;

S_0 – объем продаж текущего периода.

На основании приведенной модели осуществляется расчет коэффициента устойчивого роста предприятия, вычисляемого в ходе изменения ключевых факторов. При этом можно оценить, что же именно происходит в процессе перехода от стабильного состояния к переменному состоянию, когда периодически изменяются ключевые параметры модели. Следует иметь в виду, что высокое значение SGR_g вовсе не характеризует устойчивый рост, наблюдаемый в долгосрочной перспективе. Это связано с тем, что запланированный результат будет достигнут, когда значения всех параметров, образующих модель, попадают в заранее установленные диапазоны. Такие параметры будем называть целевыми переменными скорректированной модели устойчивого роста компании.

Крайне важно также определить оптимальную зависимость *SGR* и стоимости бизнеса *PV*. Для этого необходимо выразить стоимость бизнеса через показатель устойчивости роста, изменяемого в течение календарного периода оценки:

$$PV = \frac{E_t}{NI_t}\times\sum_{t=1}^{N}\frac{SGR_t}{(1+d)^t} + \\ +\sum_{t=1}^{N}\frac{Dept_t + I_t - \Delta WCap_t - \Delta FA_t}{(1+d)^t}, \qquad (5)$$

где E_t – собственный капитал;

t – индекс времени;

NI_t – уровень инвестиций;

N – период оценки;

SGR_t – коэффициент устойчивого роста в изменяющихся условиях;

d – ставка дисконта;

$Dept_t$ – амортизация;

I_t – инвестиции в бизнес;

$\Delta WCap_t$ – прирост оборотного капитала;

ΔFA_t – прирост капитальных вложений.

Таким образом, при изменении темпа роста за любой период времени в интервале оценки N меняется и значение суммарной приведенной стоимости бизнеса *PV*, что является индикатором привлекательности инвестиций в данную компанию.

Заключение

Очевидно, что для реализации успешной инновационной деятельности необходимо грамотное управление. Важнейшей проблемой в инновационной деятельности является проблема организации этой деятельности. Анализ деятельности ряда предприятий позволяет сделать вывод о том, что все большее значение приобретает качество управления. Квалификация менеджера, руководителя становится важнейшим фактором обеспечения эффективности инновационного процесса. В этой ситуации от менеджера требуется виртуозное владение всем набором инструментов управления. Причина слабого использования современных управленческих технологий заключается, во-первых, в высокой сложности современных технологий управления, а во-вторых, в том, что для восприятия и практического использования этих технологий принципиально недостаточно полученных знаний.

А для того, чтобы выявить негативные моменты в деятельности хозяйствующего субъекта, «узкие места» в реализации инновационного проекта необходим экономический анализ инновационной деятельности. То есть экономический анализ является важнейшим средством выявления внутрихозяйственных резервов повышения уровня инновационной активности, эффективности инновационной деятельности и устойчивости функционирования предприятия.

Таким образом, чтобы принимать экономически грамотные и научно обоснованные решения по выбору способов и методов финансирования инновационной деятельности, недостаточно ограничиться анализом эффективности инвестиций по основным экономическим параметрам. Необходимо оценить также динамику

изменений показателей с учетом их взаимосвязей. Для этого необходимо оценивать влияние новых технологий на развитие экономики предприятия.

Литература

1. Ивасенко А.Г., Никонова Я.И. Инвестиции: источники и методы финансирования. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Издательство «Омега-Л», 2009.

2. Крылов Э.И., Власова В.М., Журавкова И.В. Анализ эффективности инвестиционной и инновационной деятельности предприятия: Учеб. пособие. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Финансы и статистика, 2003.

3. Липсиц И.В., Коссов В.В. Экономический анализ реальных инвестиций: Учеб. пособие. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Экономистъ, 2004.

4. Олейникова Е.А. Экономическая и национальная безопасность: Учебник. М.: Издательство «Экзамен», 2005.

5. Балдин К.В., Передеряев И.И., Голов Р.С. Инвестиции в инновации: Учебное пособие. М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и Ко», 2009.

6. Бланк И.А. Управление финансовыми рисками. Киев: Ника-Центр, 2005.

7. Хотяшева О.М. Инновационный менеджмент: Учебное пособие. 2-е изд. СПб.: Питер, 2006.

8. «Эксперт», №21. 31 мая – 6 июня, 2010.

9. Первушин В.А. Проблемы управления инновационным развитием предприятия // Интеллектуальная собственность. 2005.

10. Ромашова И. Инновационный потенциал предприятия // Биржа плюс авто, 2008.

11. Батурина Н.А. Теоретические основы инновационного анализа хозяйствующего субъекта // Справочник экономиста, 2008.

12. Гришин В.В. Инновационные разработки как объекты интеллектуальной собственности // Мировое национальное хозяйство, 2010.

13. Боркина А.В. Инновации в малом бизнесе // Исследования и аналитика, 2005.

14. Рыкунов В.И. Основы управления. М: Изограф, 2000.

15. Крук Д.М., Дейнеко О.А., Громова Р.А. и др. Под ред. Д.М. Крука // Основы управления производством: Учебник для студентов экон. спец. вузов. М.: Экономика, 1998.

УДК 65.014

СИСТЕМАТИЗАЦИЯ ИННОВАЦИЙ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Елена Дмитриевна Володина
начальник отдела
ФГБНУ «Госметодцентр»
Адрес: 115998, г. Москва, ул. Люсиновская, д. 51
Тел.: +7(499)706-81-27

Николай Михайлович Емелин
заслуженный деятель науки и техники РСФСР, доктор технических наук, профессор
заместитель директора ФГБНУ «Госметодцентр» по научной работе
Адрес: 115998, Москва, ул. Люсиновская, д. 51
Тел.: +7(499)706-81-25

Ольга Владимировна Голодкова
заместитель начальника отдела
ФГБНУ «Госметодцентр»
Адрес: 115998, г. Москва, ул. Люсиновская, д. 51
Тел.: +7(499)706-81-27

В статье рассматриваются инновации в образовании. Предлагаются показатели систематизации и направления системного анализа инновационной деятельности вузов.

Innovations in education are considered in the article. It is proposed the indices of systematization and directions of system analysis of universities innovation activity.

Ключевые слова: инновации, образование, систематизация, интерактивные системы.
Keywords: innovation, education, systematization, interactive system.

Необходимость перехода экономики России на инновационный путь развития признана важнейшей общегосударственной задачей стратегического характера, решение которой обеспечит перевод экономики страны на более высокий технологический уклад и, в конечном счете, обеспечит ее глобальную конкурентоспособность.

Залогом конкурентоспособности бизнеса, повышения качества его деятельности, улучшения производительности и, как результат, экономического роста являются инновации, наука и развитие технологий. В сфере образования инновации также служат одним из источников экономического роста страны, поскольку делают более производительным труд каждого отдельного человека и повышают способность к восприятию и использованию на практике инноваций, то есть кадры работают не только производительнее, с использованием более сложных средств труда, но и лучше распоряжаются ресурсами. Более того, инновационное развитие экономики невозможно без высококвалифицированных кадров, которые генерируют новые идеи и осуществляют их реализацию.

Основными объектами инновационных процессов в образовании являются: содержание и структура образования, технологии учебно-воспитательных процессов, методы и средства обучения и воспитания, организационно-экономические механизмы управления. К основным направлениям инновационных процессов в образовании относятся: обеспечение современных условий организации образовательного процесса, в том числе на основе использования новейших информационных технологий, обеспечение для учащихся широких возможностей для совместной, сетевой, проектной деятельности и учебно-профессиональной коммуникации с молодыми исследователями, включение их в проекты и исследования, реализуемые вузами, в том числе через финансовую поддержку конкретных проектов и образовательных программ. К примеру, в федеральных и национальных исследовательских университетах эта работа осуществляется в рамках программ стратегического развития.

В «Руководстве Осло» [1] – общепризнанном в мире справочном и методологическом издании в области инноваций, разработанном и утвержденном Организацией экономического сотрудничества и развития – определены и подробно описаны главные типы инноваций: продуктовые, процессные, организационные и маркетинговые.

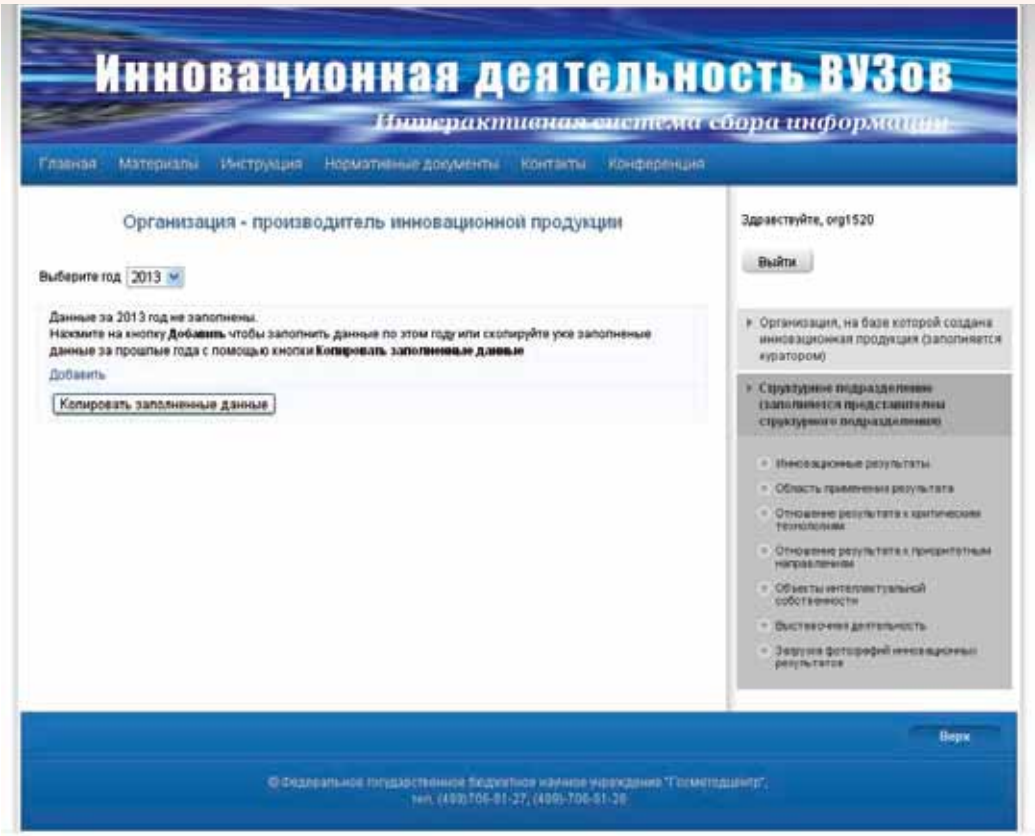


Рис. 1. Сайт «Инновационная деятельность вузов»

К основной инновационной продукции в образовании можно отнести впервые разработанные и направленные на подготовку кадров, необходимых для осуществления инноваций:

– содержание и структура образования (новые образовательные программы и тому подобные образовательные продукты) – в качестве продуктовых инноваций;

– учебно-воспитательные технологии (процессы), методы и средства обучения и воспитания - в качестве процессных;

– внедрение нового организационного метода в деловой практике учреждения, в организации рабочих мест, формальных или неформальных групп работников или внешних связей, как, например, вступление в научно-техническое сотрудничество с университетами или другими исследовательскими организациями и т.п. – в качестве организационных;

– реализация новых методов маркетинга, продвижения и размещения образовательных услуг и продуктов, установления цен на товары и услуги – в качестве маркетинговых.

Рождение нового учебного процесса, новой системы управления в образовательной среде, новой образовательной технологии и методов (кейс-технологии, интернет-технологии, дистанционные технологии), новых интеллектуальных объединений (бизнес-инкубаторы, технопарки, лаборатории, научно-исследовательские центры, центры трансфера технологий, проектно-конструкторские бюро) [2], программные и другие информационные продукты – по сути, являются научно-инновационными продуктами образовательной системы.

Отнесение товаров, работ, услуг к инновационным предполагает использование определенных критериев, позволяющих судить об эффективности того или иного нововведения.

Минобрнауки России определена следующая совокупность критериев отнесения товаров, работ и услуг к инновационной продукции [3]: научно-техническая новизна; внедрение товаров, работ, услуг; экономический эффект реализации товаров, работ, услуг; наукоемкость товаров, работ и услуг. Они предоставляют возможность формирования планов закупки инновационной продукции, но для этого прежде всего необходимо сформировать реестр инновационных товаров, работ, услуг.

Решение этой задачи осуществляется с использованием разработанной интерактивной системы сбора информации «Инновационная деятельность вузов», innovedu 2013@yandex.ru

(*рисунок 1*), которая позволяет охарактеризовать инновационную деятельность вузов по таким показателям, как область применения, отношение инновационных результатов к критическим технологиям, к приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники, к объектам интеллектуальной собственности.

Собранная информация позволит сформировать образовательные кластеры по выбранным показателям инновационной деятельности вузов, провести системный анализ инновационной деятельности вузов, используя научно-методический аппарат, представленный в работах [4-7]. Это, в свою очередь, позволит разработать предложения по совершенствованию инновационной деятельности вузов и их устойчивого функционирования по выбранным показателям инновационной деятельности.

Литература

1. Руководство Осло. Рекомендации по сбору и анализу данных по инновациям. 3-е изд. М.: 2010.

2. Бугаков И.А., Царьков А.Н. Современная интегрированная система непрерывного образования как основа эффективного воспроизводства кадров для устойчивого инновационного развития // Известия Института инженерной физики, 2012. №24. С. 66-73.

3. Приказ Минобрнауки России от 1 ноября 2012 г. № 881 «Об утверждении критериев отнесения товаров, работ, услуг к инновационной и высокотехнологичной продукции для целей формирования плана закупки такой продукции».

4. Емелин Н.М., Артамонов Ю.Н., Мелихов В.О. Аналитический обзор деятельности научно-образовательных центров национальной нанотехнологической сети. М.: Российские нанотехнологии, 2010. Т. 5. №11-12.

5. Емелин Н.М., Артамонов Ю.Н., Мелихов В.О. Аналитический обзор деятельности научно-образовательных центров национальной нанотехнологической сети. М.: Российские нанотехнологии, 2011. Т. 6. №1-2.

6. Емелин Н.М., Артамонов Ю.Н., Мелихов В.О. Аналитический обзор деятельности научно-образовательных центров национальной нанотехнологической сети. М.: Российские нанотехнологии, 2011. Т. 6. №3-4.

7. Емелин Н.М., Артамонов Ю.Н., Мелихов В.О., Карулин В.П., Пьянков В.В. Комплексный анализ и оценка устойчивости системы научно-образовательных центров национальной нанотехнологической сети России. М.: Российские нанотехнологии, 2011. Т. 6. №9-10.

УДК 62-758.2

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ТЕМПЕРАТУРНО-ВРЕМЕННОЙ СУПЕРПОЗИЦИИ ДЛЯ РАСШИРЕНИЯ ЧАСТОТНОГО СПЕКТРА ИСПЫТАНИЙ ВИБРОПОГЛОЩАЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ

Евгений Николаевич Талицкий
доктор технических наук, профессор
профессор кафедры
Владимирский государственный университет
Адрес: 600000, г. Владимир, ул. Горького, д. 87
Тел.: +7(4922)53-61-10
E-mail: ental@vlsu.ru

Андрей Валерьевич Романов
аспирант
Владимирский государственный университет
Адрес: 600000, г. Владимир, ул. Горького, д. 87
Тел.: +7(910)173-54-67
E-mail: relax555@mail.ru

Рассмотрено применение принципа температурно-временной суперпозиции для расширения эффективного диапазона частот в экспериментальном определении модуля упругости и коэффициента механических потерь вибропоглощающих материалов. Получаемые при этом данные можно использовать для моделирования и расчета конструкций ячеек с полимерными демпферами.

The application of the principle of time-temperature superposition to extend the effective range of frequencies in the experimental determination of the elastic modulus and loss factors of vibration-absorbing materials. Obtained in this data can be used for modeling and analysis of the cells with polymer dampers.

Ключевые слова: ячейка радиотехнического устройства, защита от вибраций, демпфирование, принцип температурно-временной суперпозиции.

Keywords: bay of wireless device, defense from vibration, damping, the principle of time-temperature superposition.

Радиотехнические устройства (РТУ), устанавливаемые на подвижных объектах (самолетах, автомобилях, ракетах и т.д.), в процессе эксплуатации подвергаются интенсивным вибрационным и ударным воздействиям. Перегрузки при этом могут значительно превышать допустимые значения и приводить к нарушению работы и отказам устройств [1]. Для защиты от вибраций и ударов часто применяют специальные устройства – полимерные демпферы (ПД), которые позволяют значительно уменьшить амплитуды резонансных колебаний в широком диапазоне частот вибраций [2].

Для создания эффективных конструкций ячеек РТУ с ПД требуются специальные полимеры, обладающие высокими демпфирующими свойствами в широких температурном и частотном диапазоне. Однако в настоящее время практически отсутствуют данные о динамических характеристиках существующих полимерных вибропоглощающих материалов в требуемом частотном и температурном диапазоне.

Поэтому одной из важнейших задач является определение динамических механических характеристик существующих и вновь создаваемых материалов. Для экспериментального определения динамического модуля упругости (ДМУ) и коэффициента механических потерь (КМП) чаще всего применяют метод резонансных колебаний [3,4], который позволяет определять КМП и ДМУ материала в лучшем случае на частотах 20-900 Гц, тогда как для аппаратуры авиакосмической техники полоса действующих частот составляет 5-2000 Гц [5]. Кроме того, использование метода резонансных колебаний приводит к существенным ошибкам при испытаниях на высоких частотах. Появление аппаратуры DMA (Dynamic mechanical analysis) несмо-

тря на новые возможности и достаточно высокую точность позволяет проводить испытания материалов на частотах только до 100-1000 Гц (аппараты DMA 242 E Artemis, DMA8000, DMA/SDTA861e).

Поэтому для расширения эффективного диапазона частот в экспериментальном определении ДМУ и КМП целесообразно использовать принцип температурно-временной суперпозиции (ТВС), основанный на том, что возрастание частоты динамической нагрузки при постоянной температуре качественно влияет на характеристики упруговязких свойств так же, как снижение температуры при постоянной частоте [6, 7]. С помощью созданных Вильямсом, Лэнделом и Ферри методов можно свести данные о релаксации напряжений, полученные при самых различных температурах, к одной кривой, охватывающей много порядков времени при какой-то стандартной температуре [7]. Это позволит ограничиться измерением вязкоупругих свойств материалов в диапазонах, удобных для технической реализации эксперимента.

Температурные зависимости всех механических свойств аморфных полимеров могут быть описаны одной функцией α_T, называемой фактором сдвига, которая представляет собой отношение частоты при температуре T_0, принятой за стандартную, к значению частоты при температуре T. Согласно Вильямсу, Лэнделу и Ферри, универсальная формула для фактора сдвига имеет вид [7]:

$$\lg \alpha_T = \lg \frac{f}{f_p} = -\frac{\tilde{n}_1^0 (\dot{O} - \dot{O}_0)}{\tilde{n}_2^0 + (\dot{O} - \dot{O}_0)}, \qquad (1)$$

где f – искомая частота, Гц;

f_p – частота, на которой происходили замеры температурной характеристики (резонансная частота замера), Гц;

c_1^0 и c_2^0 – эмпирические константы, соответствующие температуре T_0; T_0 – стандартная температура, на которую производится перерасчет частоты, °С;

T – текущая температура, °С.

Приближенно константы c_1^0 и c_2^0 рассматривают как универсальные, равные c_1^0=17,44 и c_2^0=51,6. Однако их значения могут отличаться для разных материалов, что может привести к значительной ошибке при расчете.

Алгоритм определения постоянных в уравнении Вильямса-Ландела-Ферри [6] начинается с произвольного выбора некоторой температуры T_0 внутри экспериментального интервала. Затем строят логарифмические графики зависимости от частоты величины модуля упругости. Измеряют расстояние по горизонтали между каждой парой соседних кривых и записывают его как $\Delta \lg a_T$. Затем значения $\Delta \lg a_T$ последовательно прибавляются к известной величине при T_0 чтобы получить $\Delta \lg a_T$ при каждой температуре. Далее экспериментальные значения подставляются в выражение (1).

Для этой цели строится зависимость значений $(T–T_0)/\Delta \lg a_T$ от $(T–T_0)$; по угловому коэффициенту s этой кривой и отрезку i, отсекаемому на оси, вычисляются две эмпирические константы:

$$c_1^0 = -(1/s), \qquad (2)$$

$$c_2^0 = i/s. \qquad (3)$$

Вид уравнения (1) не зависит от выбора Т0. Чтобы проверить правильность значений c_1^0 и c_2^0, необходимо выбрать некоторую вторую температуру T_1 и повторить графическое решение, которое дает коэффициенты c_1^0 и c_2^0, соответствующие Т1. Затем они преобразовываются к значениям, соответствующим T_0 с помощью соотношений

$$c_1^0 = \frac{\tilde{n}_1^1 \tilde{n}_2^1}{\tilde{n}_2^1 + T_0 - T_1}, \qquad (4)$$

$$c_2^0 = \tilde{n}_2^1 + T_0 - T_1. \qquad (5)$$

Эти значения могут отличаться от первоначальных, расчет рекомендуется проводить, используя проверенные значения c_1^0 и c_2^0.

В качестве примера, применим принцип ТВС для расчета частотной зависимости ДМУ пенополиуретана ППУ-202-2 ТУ 6-05-221-229-72. Методом резонансных колебаний консольно закрепленного образца была получена зависимость ДМУ Е от температуры T на трех резонансных частотах (*таблица 1* и *рисунок 1*).

Таблица 1

Динамические характеристики ППУ-202-2

T, °С	200 Гц	600 Гц	1200 Гц
	Е 10^5, Па	Е 10^5, Па	Е 10^5, Па
-60	931	1240	2130
-40	322	480	992
-20	201	251	453
0	113	155	178
+20	48	69	78
+40	41	52	61
+60	37	41	46
+70	29	33	41

На основании имеющихся данных, используя принцип ТВС, определяем зависимость $E=\Psi(f)$ для различных температур. Частота определяется согласно уравнению Вильямса-Лэндела-Ферри (1) по формуле:

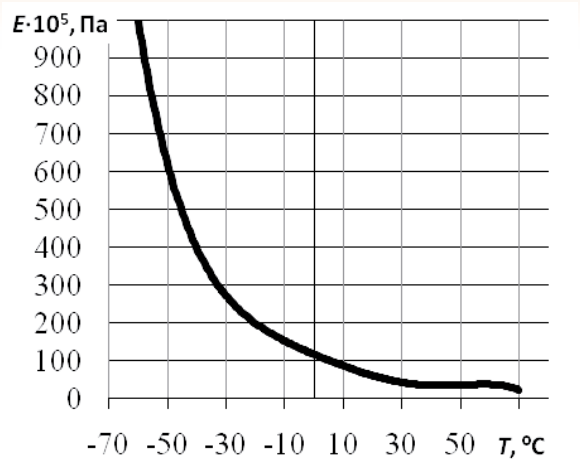


Рис. 1.
Температурная зависимость ДМУ пенополиуретана ППУ-202-2 на частоте 200 Гц

$$f = f_p \cdot 10^{-\frac{n_1^0 (T-T_0)}{n_2^0 + (T-T_0)}}. \qquad (6)$$

Таким образом, определяемой частоте f соответствует модуль упругости E, взятый при температуре T по температурной зависимости ДМУ на частоте f_p=200 Гц, изображенной на *рисунке 1*. Полученная частотная зависимость динамического модуля упругости E будет определена по формуле (6) для температуры T_0.

Предварительно необходимо рассчитать постоянные уравнения Вильямса-Ландела-Ферри для необходимых температур по формулам (2) и (3).

Графики зависимостей динамического модуля упругости E полимера от частоты в диапазоне температур от –60°С до +70°С приведены на *рисунке 2*. Далее необходимо построить зависимости lg$E$ от логарифма частоты f. Полученные графики приведены на *рисунке 3* для тех же температур.

Необходимо выбрать некоторую температуру T_0 внутри имеющегося температруного диапазона – в данном случае выбирается температура –40°С, близкая к температуре стеклования пенополиуретана ППУ-202-2. Далее необходимо определить величину $\Delta\lg a_T$ для каждой пары кривых. Для этого задаются одним значением логарифма модуля упругости, проводят горизонтальную прямую и определяют расстояние по оси абсцисс между точками пересечения проведенной прямой и соответствующими логарифмическими кривыми. Это значение записывается как $\Delta\lg a_T$ для соответствующей температуры (*таблица 2*). Затем эти полученные значения прибавляются к известной величине при T_0, чтобы получить значения $\lg a_T$ при каждой температуре.

Таблица 2

Определение значений $\Delta\lg a_T$ для ППУ-202-2

T	$\Delta\lg a_T$	$\lg a_T$	T_0	$T-T_0$	$(T-T_0)/\Delta\lg a_T$
-40	-	0,000	-40	0	0
-20	0,670	0,670	-40	20	29,850
0	0,910	1,580	-40	40	25,316
20	1,570	3,150	-40	60	19,047
40	0,500	3,650	-40	80	21,917
60	0,485	4,135	-40	100	24,183
70	0,475	4,610	-40	110	23,861

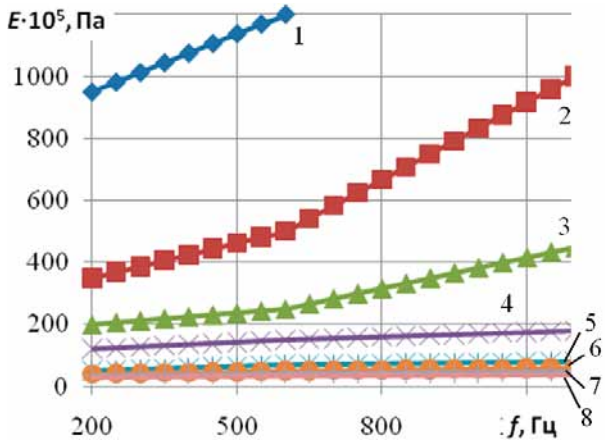


Рис. 2.
Зависимость ДМУ ППУ-202-2 от частоты при различных температурах:

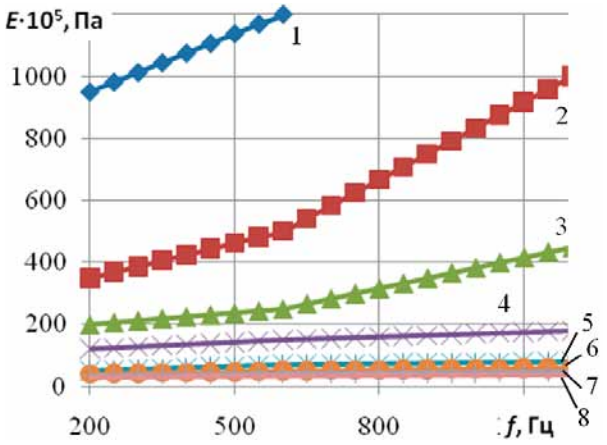


Рис. 3.
Зависимость логарифма ДМУ ППУ-202-2 от логарифма частоты при различных температурах:

1– -60°С, 2 – -40°С, 3 – -20°С, 4 – 0°С,

5 – 20°С, 6 – 40°С, 7 – 60°С, 8 – 70°С

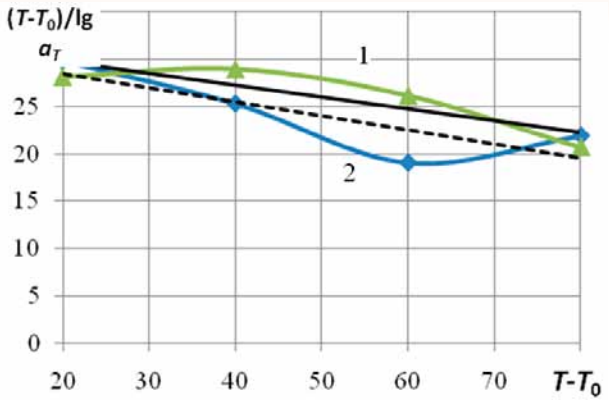


Рис. 4.
Зависимость значений $(T–T_0)/\Delta\lg a_T$ от $(T–T_0)$ и соответствующие и аппроксимирующие прямые:
1 – -60°С, 2 – -40°С

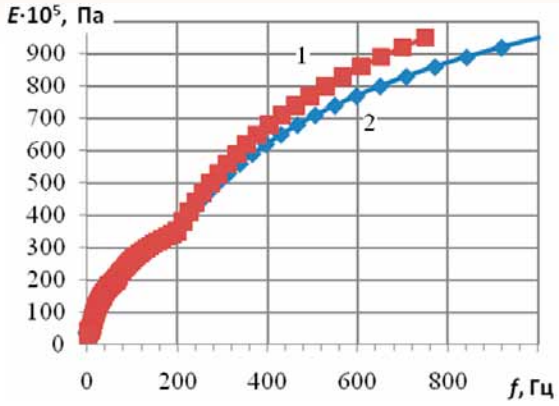


Рис. 5.
Частотные зависимости ДМУ полимера при различных значениях постоянных:
1 – c_1^0=7,42, c_2^0 =278,32; 2 – c_1^0=6,67, c_2^0 =210,33

Для определения коэффициентов c_1^0 и c_2^0 уравнения Вильямса – Ландела – Ферри необходимо построить график зависимости значений $(T–T_0)/\Delta\lg a_T$ от $(T–T_0)$. Если строить данные зависимости для всех значений температур от –40°С до +70°С, то вид графика сильно отличается от прямой. Поэтому необходимо строить график зависимости значений $(T–T_0)/\Delta\lg a_T$ от $(T–T_0)$ в диапазоне температур от –20°С до +40°С (*рисунок 4*).

Для данной кривой строится линейная аппроксимирующая кривая, определяется ее уравнение

$$y=–0,15x+31,55. \qquad (7)$$

Далее по угловому коэффициенту прямой и отрезку, отсекаемому на оси ординат, согласно (2) и (3) определяются постоянные

$$c_1^0=–(1/s)=–(1/0,15)=6,67,$$
$$c_2^0=i/s=31,55/0,15=210,33.$$

Для проверки правильности определения постоянных уравнения Вильямса – Ландела – Ферри необходимо взять другую характеристическую температуру (*рисунок 4*) и определить аналогичным образом постоянные уравнения. Например, для температуры T_1=–60°С постоянные уравнения Вильямса-Ландела-Ферри равны

$$c_1^1 = 8,00,\ c_2^1=258,32.$$

Далее для получения коэффициентов c_1^0 и c_2^0 необходимо полученные постоянные для температуры T_1 подставить в уравнения (4) и (5)

$$c_1^0 = \frac{8,00 \cdot 258,32}{258,32 - 40 + 60} = 7,42,$$
$$c_1^0 = 258,32 - 40 + 60 = 278,32.$$

Таким образом, отклонение при определении постоянных уравнения Вильямса-Ландела-Ферри составило для c_1^0 11 %, а для c_2^0 32%. Можно предположить, что ошибка возникает вследствие недостаточно точного определения частотной зависимости ДМУ пенополиуретана ППУ-202-2. Однако если построить частотные зависимости динамического модуля упругости пенополиуретана ППУ-202-2 при температуре –40°С для двух вариантов постоянных, определенных выше, можно видеть, что эти зависимости незначительно отличаются друг от друга (*рисунок 5*). Следовательно, различия в определении постоянных уравнения Вильямса-Ландела-Ферри можно считать допустимыми и не оказывающими значительного влияния на конечный результат.

Рассчитываем коэффициенты для других температур. Например, для температур T_{01}=–60°С, T_{02}=–50°С и T_{03}=0°С эти коэффициенты соответственно равны c_1^{01}=7,37, c_2^{01} = 190,33; c_1^{01} = 7,00, c_2^{01} = 200,33; c_1^{01} = 5,60, c_2^{01} = 250,33. Графики полученных с помощью метода температурно-временной суперпозиции зависимостей приведены на *рисунке 6*.

Заключение. Применение принципа температурно-временной суперпозиции позволяет на основе имеющейся температурной зависимости динамических механических характеристик на определенной частоте получить семейство зависимостей от частоты при различных температурах. Полученные в широком диапазоне частотные зависимости динамических характеристик можно использовать для моделирования и расчета конструкций ячеек РТУ с полимерными демпферами.

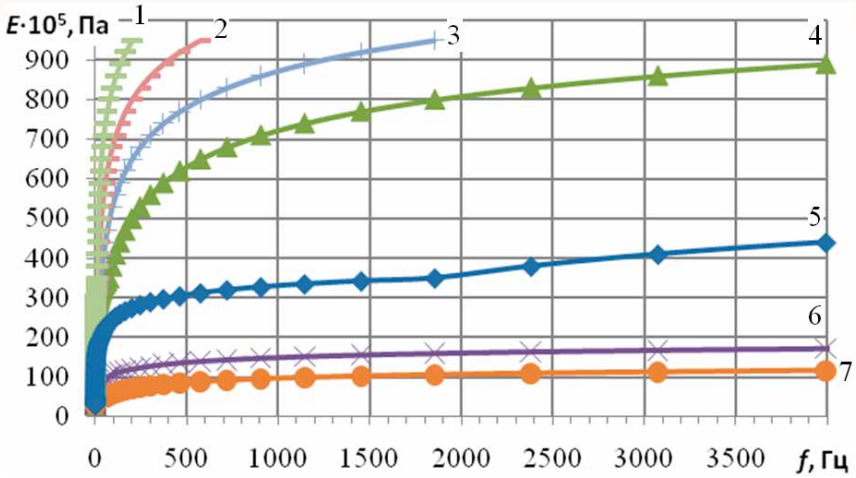


Рис. 6.

Частотная зависимость ДМУ пенополиуретана ППУ-202-2 при температурах
1 – -60°С, 2 – -55°С, 3 – -50°С, 4 – -45°С, 5 – -30°С, 6 – 0°С, 7 – +10°С

Литература

1. Нашиф А., Джоунс Д., Хендерсон Дж. Демпфирование колебаний: Пер. с англ. М.: Мир, 1988. 488 с.

2. Талицкий Е.Н. О применении вибропоглощающих полимеров для защиты электронной аппаратуры от вибрационных воздействий // Проектирование и технология электронных средств, 2008. №1. С. 18-21.

3. Талицкий Е.Н. О методике определения механических динамических характеристик полимеров // Электронная техника. Сер. 6. Материалы, 1981. Вып. 5. С. 79-80.

4. ГОСТ 19873-74. Пластмассы. Резонансный метод определения динамических модулей упругости и коэффициентов механических потерь при колебаниях консольно закрепленного образца. М.: Изд-во стандартов, 1974. 7 с.

5. Справочник конструктора РЭА: Общие принципы конструирования / Андреева Л.Б., Барканов Н.А., Бегинин А.С., под ред. Р.Г. Варламова. М.: Советское радио, 1980. 480 с.

6. Ферри Дж. Вязкоупругие свойства полимеров. М.: Изд-во Иностранной литературы, 1963. 536 с.

7. Ван Кревелен Д. В. Свойства и химическое строение полимеров. М.: Химия, 1986. 416 с.

УДК 347.7, 006.01

ОЦЕНКА УДОВЛЕТВОРЕННОСТИ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ УСЛУГ В СФЕРЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Олег Николаевич Андрух
кандидат технических наук, доцент
директор филиала Университета машиностроения в г. Серпухове,
Вице-президент МОУ «ИИФ» по учебно-методической работе
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)35-31-93; E-mail: oandruh@mail.ru

Майя Константиновна Чадунели
заведующая кафедрой «Гуманитарные и социально-экономические дисциплины» филиал Университета машиностроения в г. Серпухове
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)35-31-93; E-mail: maiakonst@mail.ru

В статье анализируются основные подходы к оценке удовлетворенности потребителей услуг в сфере профессионального образования и определяются основные подходы, обеспечивающие возможность адекватной оценки удовлетворенности потребителей услуг в сфере профессионального образования.

In article the main approaches to an assessment of satisfaction of consumers of services in the sphere of professional education are analyzed and the main approaches providing possibility of an adequate assessment of satisfaction of consumers of services in the sphere of professional education are defined.

Ключевые слова: система менеджмента качества, удовлетворенность потребителей, оценка удовлетворенности, образовательные услуги.

Keywords: quality management system, satisfaction of consumers, satisfaction assessment, educational services.

Важнейшим принципом менеджмента качества является ориентация на потребителя, в соответствии с которым «организации зависят от своих потребителей и поэтому должны понимать их текущие и будущие потребности, выполнять их требования и стремиться превзойти их ожидания» [3]. Для эффективного функционирования системы менеджмента качества (СМК) организация должна описать процессы, связанные с потребителями [4], и обеспечивать их реализацию. Процессы, связанные с потребителями, позволяют оценить их удовлетворенность и разработать управленческие мероприятия, направленные на постоянное улучшение СМК, совершенствование правил организации по достижению удовлетворенности потребителя [5].

Под удовлетворенностью потребителей понимают восприятие потребителями степени выполнения их требований [3].

Оценка удовлетворенности потребителей услуг в сфере среднего и высшего профессионального образования (профессионального образования) является сложной задачей. На практике образовательные учреждения зачастую заявляют о необходимости данной оценки, но либо не осуществляют ее в виду множества факторов, влияющих на удовлетворенность, либо проводят оценку в ограниченном объеме, результаты которой не отражают действительную удовлетворенность потребителей. Поэтому актуальны научные исследования по разработке методик и средств их реализации, обеспечивающие адекватность проводимых мероприятий полученной оценке удовлетворенности. В настоящей статье анализируются особенности профессиональных образовательных услуг, влияющие на традиционные подходы к оценке удовлетворенности потребителей; классифицируются и характеризуются потребители образовательных услуг; определяются основные подходы к процедуре оценки удовлетворенности потребителей.

Основными отличительными особенностями профессиональных образовательных услуг в сравнение с иными услугами являются:

❖ длительность оказания образовательной услуги;

❖ воздействие образовательной услуги на непосредственных и опосредованных потребителей;

❖ большое количество факторов, влияющих на удовлетворенность.

Длительность образовательных профессиональных услуг по основным образовательным программам может составлять от одного года в сфере среднего профессионального образования до 5,5 лет в сфере высшего профессионального образования. Результатом обучения являются сформированные общекультурные и профессиональные компетенции. В случае образовательных услуг опасно оценивать только удовлетворенность результатом обучения, так как система становится чрезвычайно инерционной, управленческие воздействия на факторы неудовлетворенности предыдущего цикла обучения могут не совпадать с текущими факторами, быть неактуальными и не способствовать повышению удовлетворенности.

Помимо оценки удовлетворенности результатом, необходимо осуществлять оценку удовлетворенности процессом обучения. В зависимости от длительности обучения, необходимо обосновать периодичность оценки удовлетворенности, количество «реперных» точек оценки процесса, которые могут быть связаны с окончанием семестра (курса) обучения.

Кроме того, недостаточно оценивать удовлетворенность выпускников образовательных учреждений непосредственно после окончания обучения. Представление выпускников об удовлетворенности обучением могут кардинально измениться после трудоустройства. Известно, процент выпускников, работающих по специальности, невелик – не более 30%, многие выпускники испытывают огромные трудности с трудоустройством. Ряд выпускников на предприятиях осознают, что их учили не тому, что нужно.

Таким образом, в отличие от традиционных услуг, об удовлетворенности которых можно судить однократно после предоставления услуги, в случае профессиональных услуг оценка удовлетворенности должна реализовываться в ряд этапов:

❖ в процессе обучения – кратно семестрам или годам обучения;

❖ непосредственно после окончания обучения;

❖ после трудоустройства.

Вторая отличительная особенность – воздействие образовательной услуги на непосредственных и опосредованных потребителей [2].

К непосредственным потребителям образовательных услуг относят обучаемых. В процессе обучения на непосредственных потребителей (студентов) направлено образовательное воздействие, формирующее общекультурные и профессиональные компетенции в соответствие с конкретным федеральным государственным образовательным стандартом. Если эти компетенции сформированы, по итогам обучения выпускники получают диплом о соответствующем профессиональном образовании.

К опосредованным потребителям относят родителей обучаемых и работодателей. Как правило, в профессиональные образовательные учреждения поступают абитуриенты, не достигшие совершеннолетия. На этом этапе ответственность родителей велика, зачастую они влияют на выбор образовательного учреждения и специальности, оказывают обучаемому финансовую помощь и психологическую поддержку, интересуются всеми аспектами образовательного процесса.

Родители, слабо влияя на непосредственную деятельность образовательных учреждений, представляют собой своеобразную маркетинговую систему: в случае высокой удовлетворенности детей процессом и результатами обучения родители являются лучшей рекламой образовательного учреждения в своей среде; в случае низкой удовлетворенности – мощной антирекламой.

Одной из важнейших категорий опосредованных потребителей образовательных услуг являются работодатели. В конечном итоге обучаемые получают профессиональные компетенции для того, чтобы применять их в трудовой деятельности в условиях конкретных предприятий. Поэтому важно оценить удовлетворенность образовательными услугами работодателей. Парадоксально, но факт: при высокой удовлетворенности выпускников образовательными услугами удовлетворенность работодателей качеством подготовки работников и специалистов снижается. Это свидетельствует о недостаточном согласовании требований работодателей, федеральных образовательных стандартов и образовательных учреждений к перечню и особенностям формирования профессиональных компетенций, а также о том, что образовательные учреждения не реагируют в должной мере на необходимость коррекции основных образовательных программ в соответствии с нуждами экономики.

Третья особенность образовательной услуги – большое количество факторов, влияющих на удовлетворенность потребителя.

На удовлетворенность обучаемых в процессе обучения могут влиять следующие факторы:

- ❖ политика вуза и руководства;
- ❖ довузовская подготовка студентов;
- ❖ профессорско-преподавательский состав (ППС);
- ❖ методическое обеспечение образовательного процесса (учебно-методические материалы, библиотечные фонды и т.д.);
- ❖ материально-техническое обеспечение образовательного процесса (аудитории, лаборатории, оборудование и т.д.);
- ❖ содержание основной образовательной программы по профессии (содержание федерального государственного стандарта, учебный план по направлению подготовки (специальности, магистратуре), рабочие (учебные) программы по дисциплинам);
- ❖ организация научной работы студентов;
- ❖ организация производственных практик;
- ❖ организация внеучебной (воспитательной) работы;
- ❖ формирование знаний, умений, навыков и компетенций по профессии;
- ❖ организация питания студентов;
- ❖ работа деканата (оформление студенческих документов, расписание учебных занятий, организация учебной работы);
- ❖ рейтинг вуза.

Каждый из вышеприведенных факторов может подразделяться на отдельные показатели. Так, только по фактору «квалификация профессорско-преподавательского состава» в разных подходах предлагается использовать от 10 [6] до 15 [1] показателей. Большое количество факторов существенно осложняет проведение процедуры анкетирования и обработку результатов. Поэтому необходимы предварительные исследования по ранжированию факторов и определению их значимости (весомости) с тем, чтобы оставить в анкете наиболее значимые без существенной погрешности в оценке удовлетворенности потребителей.

Следующей важной задачей является выявление размера репрезентативной выборки при известном количестве обучаемых в профессиональном образовательном учреждении.

И за рубежом, и в РФ удовлетворенность потребителей деятельностью организации изучается на основе прямых методов (индивидуальный опрос, книги жалоб и предложений, анкетирование) и косвенных (сбор сведений о рекламациях к товару, замечаниях к услуге).

Опыт показывает, что для оценки удовлетворенности потребителей образовательными услугами использование традиционного анкетирования нерационально. Так, в Московском государственном машиностроительном университете (МАМИ) /Университете машиностроения/ в 2009 и 2010 годах проводилось анкетирование качества деятельности преподавательского состава студентами на двух факультетах. Приближенно можно считать эту процедуру оценкой удовлетворенностью по фактору «квалификация профессорско-преподавательского состава». Анкеты выдавались студентам и обрабатывались сотрудниками деканата.

Оказалось, что обработка результатов рутинна и занимает огромное количество времени: в семестре в одной учебной группе в среднем преподают 10 дисциплин (15 преподавателей), в учебной группе в среднем учится 25 студентов, анкетирование проводилось по 15 критериям, поэтому только для одной группы необходимо было вручную осуществить свыше 5500 арифметических действий. При большом количестве вычислений возможны механические ошибки, что крайне нежелательно.

Поэтому проведение анкетирования по оценке удовлетворенности потребителей образовательными услугами целесообразно проводить с использованием информационных технологий.

В Московском государственном машиностроительном университете (МАМИ) существует опыт интернет-анкетирования студентов. В 2010 году на сайте Университета машиностроения создана страничка «Оценка деятельности преподавателей», на которой студентам предоставляется возможность оценить работу преподавателей по 10 критериям по 5 балльной шкале. Вывод об оценке деятельности преподавателя в данном случае нерепрезентативен, так как количество студентов, оценивающих деятельность преподавателей, невелико, количество студентов, участвующих в опросе, случайно. Поэтому необходима разработка процедуры, обеспечивающей репрезентативность выборки.

Вместе с тем, практика проведения традиционного анкетирования студентов и интернет-анкетирования позволила обосновать основные требования к проведению процедуры оценки удовлетворенности потребителями образовательных услуг.

1. Оценку необходимо проводить с использованием информационных технологий для исключения рутинной обработки результатов оценки. В качестве такой технологии может быть использован специальный интернет-ресурс.

2. Анкета, позволяющая провести оценку, должна быть размещена на официальном сайте образовательного учреждения.

3. Анкетирование должно обеспечивать анонимность оценки.

4. Доступ к анкете должны иметь все группы потребителей услуг образовательного учреждения:

- ❖ студенты образовательного учреждения и его выпускники;
- ❖ родители студентов;
- ❖ работодатели.

5. Образовательное учреждение должно разработать и внедрить процедуру, обеспечивающую репрезентативность выборки по каждой группе потребителей.

Таким образом, в статье вскрыты основные причины, по которым в настоящее время оценка удовлетворенности потребителями профессиональных образовательных услуг либо не проводится, либо проводится формально; представлены основные направления, позволяющие описать и внедрить процедуру оценки удовлетворенности потребителей, сформированы требования к способу реализации процедуры оценки удовлетворенности потребителей.

Литература

1. Андрух О.Н., Зарытовский А.С., Николаенко А.В., Сидорова А.С., Швец А.А. Использование информационных технологий в анкетировании «Оценка качества преподавательской деятельности» // Материалы I всероссийской научно-практической конференции «Современное непрерывное образование». Серпухов: МОУ «ИИФ», 2011. С. 5.

2. Андрух О.Н., Сидорова А.С., Чадунели М.К. Формирование системы оценки качества деятельности образовательных учреждений профессионального образования потребителями // Известия МГТУ «МАМИ», 2013. №4(18). Т. 2. С. 359-363.

3. ГОСТ Р ИСО 9000-2008. Системы менеджмент качества. Основные положения и словарь.

4. ГОСТ Р ИСО 9001-2008. Системы менеджмент качества. Требования.

5. ГОСТ Р ИСО 10001-2009. Менеджмент качества. Удовлетворенность потребителей. Рекомендации по правилам поведения для организаций.

6. http://mami.ru

7. Бугаков И.А., Царьков А.Н. Система управления устойчивым развитием: концептуальные идеи цепи // Известия Института инженерной физики, 2013. №4(30). С. 87-94

8. Андрух О.Н., Заводчикова М.Г., Чадунели М.К. Техническая регламентация как установление обязательных требований к объектам технического регулирования // Известия Института инженерной физики, 2013. №4(30). С. 83-86.

УДК 37.014.3

МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ФОРМИРОВАНИЮ СТРАТЕГИЙ УПРАВЛЕНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ НЕЭФФЕКТИВНЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Николай Михайлович Емелин
заслуженный деятель науки и техники РСФСР, доктор технических наук, профессор
заместитель директора ФГБНУ «Госметодцентр» по научной работе
Адрес: 115998, Москва, ул. Люсиновская, д. 51
Тел.: +7(499)706-81-25

Юрий Николаевич Артамонов
кандидат технических наук
ведущий научный сотрудник ФГБНУ «Госметодцентр»
Адрес: 115998, г. Москва, ул. Люсиновская, д. 51
Тел.: +7(499)706-81-25

В статье рассмотрен подход к формированию множества управляющих характеристик для неэффективных образовательных учреждений высшего профессионального образования на основе модификаций метода канонического корреляционного анализа.

In article the approach considered to create the set of control characteristics for inefficient educational institutions of higher education using modification of canonical-correlation analysis..

Ключевые слова: совершенствование образования, бутстреп методы, канонический корреляционный анализ, осцилляционные матрицы.

Keywords: improving education, bootstrap methods, canonical-correlation analysis, oscillatory matrix.

Проведенный в 2012 году мониторинг деятельности вузов выявил группу неэффективных вузов, нуждающихся в оптимизации деятельности [1]. Этими вузами были разработаны Программы оптимизации (развития). Анализ этих программ показал, что для достижения пороговых значений показателей эффективности деятельности вузов, положенных в основу мониторинга 2012 года, предлагаемые в Программах мероприятия направлены на совершенствование нескольких направлений деятельности: образовательной, научно-исследовательской, международной, финансово-экономической деятельности и развитие элементов инфраструктуры.

Необходимо отметить, что невыполненные показатели для вузов, нуждающихся в оптимизации своей деятельности, существенно различались (исходным критерием отнесения вуза к группе неэффективных являлось не достижение пороговых значений для пяти или любых четырех показателей из пяти, представленных в *таблице 1*), что позволило их разбить на отдельные типы. Все это привело к постановке следующей задачи: на единой методологической основе получить рекомендуемый к улучшению перечень управляющих показателей (вуз имеет возможность целенаправленного изменения этих показателей) для каждого типа неэффективной организации.

Полученные перечни управляющих показателей целесообразно в первую очередь рекомендовать к улучшению для каждого типа неэффективной организации. Они могут быть положены в основу выработки эффективных стратегий коррекции соответствующих направлений деятельности в рамках Программ оптимизации, смогут послужить основой для их разработки, а также позволят провести сравнительную оценку эффективности предложенных Программ оптимизации деятельности вузов.

В качестве методической основы в разработке такого подхода может быть выбран аппарат канонического корреляционного анализа. Основная идея подхода состоит в следующем:

- для соответствующего типа неэффективной организации вводится каноническая переменная U как линейная комбинация показателей

Таблица 1

Принятый перечень показателей для оценки эффективности

Направление деятельности	Наименование показателя	Пороговое значение показателя*
Образовательная деятельность (u1)	Средний балл ЕГЭ студентов, принятых по результатам ЕГЭ на обучение по очной форме по программам подготовки бакалавров и специалистов за счет средств соответствующих бюджетов бюджетной системы Российской Федерации с оплатой стоимости затрат на обучение физическими и юридическими лицами	60 баллов
Научно-исследовательская деятельность (u2)	Объем НИОКР в расчете на одного научно-педагогического работника	50 тыс. руб.
Международная деятельность (u3)	Удельный вес численности иностранных студентов дальнего и ближнего (стран СНГ) зарубежья	0.7%
Финансово-экономическая деятельность (u4)	Доходы вуза из всех источников в расчете на одного НПР	1100 тыс. руб.
Инфраструктура (u5)	Общая площадь учебно-научных помещений в расчете на одного студента (приведенного контингента), имеющихся у вуза на праве собственности и закрепленных за вузом на праве оперативного управления	11 кв. м

* Для вузов, филиалов Москвы и Санкт-Петербурга пороговые значения отличаются от приведенных в таблице.

эффективности из *таблицы 1*, по которым недостигнуты пороговые значения;

- выбираются косвенные показатели (из группы заявленных вузом в Программе оптимизации в качестве управляющих показателей), которые следует рекомендовать к улучшению в программе оптимизации, исходя из критерия максимально возможной корреляции с введенной канонической переменной *U*. Для этого из выбранных косвенных показателей составляется вторая каноническая переменная *V* в виде их линейной комбинации;
- используя аппарат канонического корреляционного анализа, выбирается подмножество таких косвенных переменных, которые обеспечивают максимально возможное линейное управление всем множеством показателей эффективности, по которым не достигнуты пороговые значения для соответствующего типа неэффективной организации.

Однако прямое использование данного метода затруднено в связи с двумя обстоятельствами.

На *рисунке 1* показан график квантиль-квантилей нормального и выборочного распределения (по данным мониторинга 2012 года) для показателя u1 «образовательная деятельность». Нетрудно видеть, что имеющееся выборочное распределение существенно отклоняется от теоретического нормального распределения. Более того, обследования на нормальность с использованием критерия Шапиро-Уилка остальных показателей по данным мониторинга 2012 года на уровне значимости 0.05 отвергают гипотезу о

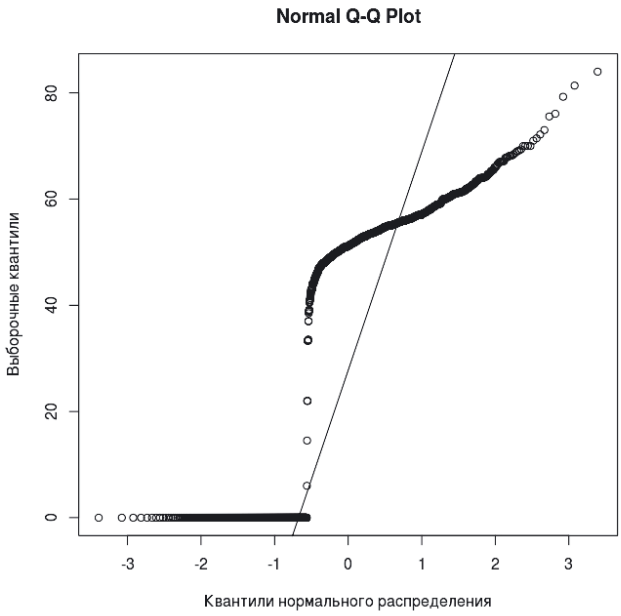


Рис. 1. График квантиль-квантилей для показателя u1

нормальности всех этих показателей, что не соответствует исходным предпосылкам использования метода канонической корреляции – нормальности компонент вектора показателей.

Классическое использование метода канонических корреляций позволяет получить коэффициенты в линейной комбинации двух канонических переменных разных знаков. Это означает, что рост канонической переменной *U* возможен как за счет увеличения показателей эффективности (если соответствующий линейный коэффи-

циент положителен), так и за счет уменьшения показателей эффективности (если соответствующий линейный коэффициент отрицателен).

Указанные обстоятельства требуют выработать специальные процедуры адаптации метода канонической корреляции, которые и составили содержание методического подхода к формированию стратегий управления деятельностью неэффективных образовательных учреждений высшего профессионального образования.

Для разрешения затруднения с нормальностью компонент вектора показателей предлагается использовать процедуры размножения выборок [2]. В этом случае в качестве компонент вектора можно брать не значения показателей для каждого вуза, а оценку математического ожидания на сгенерированной с помощью бутстреп-процедуры выборке (в качестве оценки математического ожидания можно использовать среднее арифметическое).

Для более точной формулировки данной процедуры предложим следующую формализацию.

Пусть выделено две группы показателей, заданных матрицами P и W:

$$P = \begin{pmatrix} p_{1,1} & p_{1,2} & \cdots & p_{1,n} \\ p_{2,1} & p_{2,2} & \cdots & p_{2,n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ p_{k,1} & p_{k,2} & \cdots & p_{k,n} \end{pmatrix}, \quad (1)$$

$$W = \begin{pmatrix} w_{1,1} & w_{1,2} & \cdots & w_{1,m} \\ w_{2,1} & w_{2,2} & \cdots & w_{2,m} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ w_{k,1} & w_{k,2} & \cdots & w_{k,m} \end{pmatrix}, \quad (2)$$

где k – размер выборки (на основе данных мониторинга размер выборки составил 1435 ВУЗов и филиалов, т.е. k=1435);

n – количество наблюдаемых показателей (в нашем случае наблюдаемые показатели соответствуют показателям эффективности *таблицы 1* для заданного типа неэффективной организации, т.е. n=5 или n=4);

m – количество управляющих показателей (m<50);

P – матрица наблюдаемых показателей эффективности, заданных для каждой организации;

W– матрица управляющих показателей.

Пусть L – объем бутстреп выборки, обозначим также h=1 – шаг процедуры бутстрепа. Процедура бутстрепа будет состоять в следующем:

1. Сгенерируем k раз случайное целое число из диапазона (используя равномерное распределение). Пусть $A = (j_1, j_2, \cdots, j_k)$ – кортеж полученных чисел, поскольку бутстреп обычно проводят как выборку с возвращением, то в кортеже A возможны повторения.

2. На полученном кортеже $A = (j_1, j_2, \cdots, j_k)$ получим вектор оценок математического ожидания наблюдаемых и управляющих показателей, используя матрицы фактических данных (1), (2):

$$\mu_h = \left(\frac{\Sigma_{i=j_1,j_2,\cdots,j_k} p_{i,1}}{k}, \cdots, \right.$$

$$\left. \frac{\Sigma_{i=j_1,j_2,\cdots,j_k} p_{i,n}}{k}, \frac{\Sigma_{i=j_1,j_2,\cdots,j_k} w_{i,1}}{k}, \cdots \frac{\Sigma_{i=j_1,j_2,\cdots,j_k} w_{i,m}}{k} \right) \quad (3)$$

3. Присвоим h=h+1.

4. Повторим шаги 1, 2, 3 данной процедуры L раз, тем самым получим множество векторов $\{\mu_1, \mu_2, \cdots \mu_L\}$. На основе данного множества сформируем матрицу:

$$X = \begin{pmatrix} \mu_{1,1} & \cdots & \mu_{1,n+m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \mu_{L,1} & \cdots & \mu_{L,n+m} \end{pmatrix}, \quad (4)$$

где $\mu_{h,i}$– i-й элемент вектора μ_h (3), h=1,2,…,L.

Полученная матрица (4) и будет исходным объектом исследования при использовании метода канонической корреляции. Как указано в [2] полученное бутстреп-распределение среднего даже в относительно «экстремальных» случаях (распределение исходного показателя существенно отклоняется от нормального) визуально в достаточной мере близко к ожидаемому нормальному закону. В качестве примера, на рисунке 2 дан график квантиль-квантилей выборочного распределения среднего, полученного бутстреп процедурой при L=5000, для показателя u1, представленного на *рисунке 1*. Как видно из *рисунка 2*, распределение среднего можно считать вполне совпадающим с теоретическим нормальным распределением.

Заметим, что в данном подходе фактически предлагается оценивать корреляционные связи не между показателями, а между оценками математического ожидания на бутстреп выборках. Подобный подход иногда снижает существующую корреляционную связь – статистическая связь между показателями иногда выше, чем между оценками математического ожидания на бутстреп выборках. Для подтверждения этого утверждения в *таблице 2* представлены результаты расчета ранговой корреляции Спирмена (Кендалла) между некоторыми показателями, а также соответствующими им оценками математического ожидания на бутстреп выборках с использованием коэффициента линейной корре-

ляции Пирсона (расчеты выполнены с использованием среды R, жирным выделены статистические связи с коэффициентом более 0.5).

Таким образом, можно утверждать, что дальнейшее применение канонического корреляционного анализа на матрице (4) позволит использовать только наиболее существенные связи между показателями и обеспечит в некотором смысле устойчивое управление [3] из наихудших условий.

Литература

1. Протокол заседания МВК по проведению мониторинга деятельности государственных образовательных учреждений в целях оценки эффективности их работы и реорганизации неэффективных государственных образовательных учреждений от 22 ноября 2012 г.

2. Шитиков В.К., Розенберг Г.С. Рандомизация и бутстреп: статистический анализ в биологии и экологии с использованием R. Тольятти, 2013.

3. Емелин Н.М., Карулин В.П., Пьянков В.В., Артамонов Ю.Н. Комплексный анализ и оценка устойчивости системы научно-образовательных центров национальной нанотехнологической сети России. М: Российские нанотехнологии, 2011. Т. 6. №9-10.

4. Емелин Н.М., Рябов П.А. Развитие и оценка уровня профессиональной мотивации студентов // Известия Института инженерной физики, 2013. №3 (29). С. 95-98.

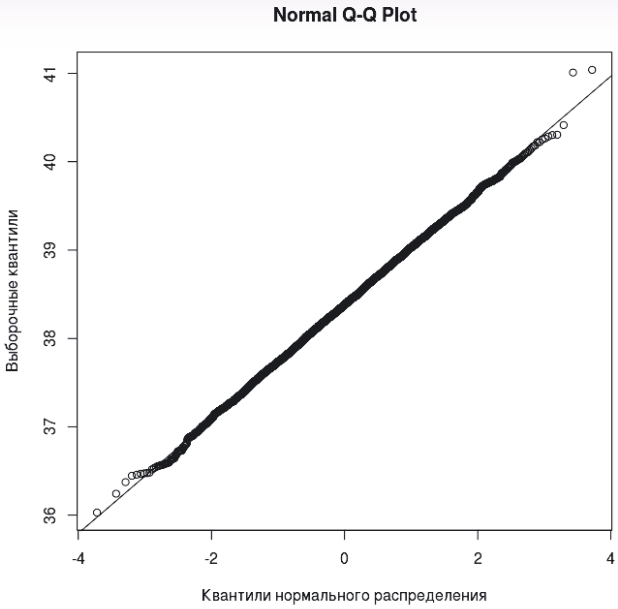


Рис. 2. График квантиль-квантилей выборочного распределения среднего, полученного бутстреп процедурой для показателя u1

Таблица 2

Результаты сравнения корреляционных связей между показателями и оценками на бутстреп выборках

Метод исследования корреляций	Результаты расчета в среде R
Корреляционная матрица на показателях с использованием ранговой корреляции Спирмена	cor(R[,c(1,6,7,8)], method = “spearman”) [,1] [,2] [,3] [,4] [1,] 1.0000000 **0.6822714** **0.7023062** 0.2214713 [2,] **0.6822714** 1.0000000 **0.7734425** 0.2972937 [3,] **0.7023062** **0.7734425** 1.0000000 0.2382551 [4,] 0.2214713 0.2972937 0.2382551 1.0000000
Корреляционная матрица на показателях с использованием ранговой корреляции Кендалла	cor(R[,c(1,6,7,8)], method = “kendall”) [,1] [,2] [,3] [,4] [1,] 1.0000000 **0.5474077** **0.5365279** 0.1843544 [2,] **0.5474077** 1.0000000 **0.6104499** 0.2490130 [3,] **0.5365279** **0.6104499** 1.0000000 0.1968078 [4,] 0.1843544 0.2490130 0.1968078 1.0000000
Корреляционная матрица на бутстреп выборках с использованием линейной корреляции Пирсона	cor(Rb[,c(1,6,7,8)],method= “pearson”) [,1] [,2] [,3] [,4] [1,] 1.00000000 **0.7499710** **0.86553165** -0.05721129 [2,] **0.74997095** 1.0000000 **0.85189178** -0.07632190 [3,] **0.86553165** **0.8518918** 1.00000000 -0.09371983 [4,] -0.05721129 -0.0763219 -0.09371983 1.00000000

AUTHORS

Temir H. Ahmedov. Cand.Tech.Sci., senior scientist. IPO "IEP".Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyu l., 1a.

Alexander A. Alekseev. Ministry of Defence of the Russian Federation.

Alexey A. Alexsandrov. Postgraduate student. Moscow Avation Institute. Moscow, Volokolamskoye h., 4.

Fizuli K. Aliev. Ph.D., senior scientist. Ministry of Defence of the Russian Federation.

Mahran Mohammad Ali Algaradat. Postgraduate student. Vladimir State University. Vladimir, Gorky st., 87.

Mohammad Mahmud Amro. Postgraduate student. Vladimir State University. Vladimir, Gorky st., 87.

Oleg N. Andruh. Cand.Tech.Sci., associate professor. Vice-president IPO "IEP". Director of the branch of Moscow state university of mechanical engineering (MAMI). Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyu l., 1a.

Yuriy N. Artamonov. Cand.Tech.Sci., lead scientist. Federal state scientific institution «Gosmetodcentr». Moscow, Lusinovskaya st., 51.

Ahmed Badvan. Postgraduate student. Vladimir State University. Vladimir, Gorky st., 87.

Kirill A. Batenkov. Cand.Tech.Sci., Academy of Federal Protective Service of the Russian Federation. Orel, Priborostroitel'naya st., 35.

Maya K. Chaduneli. Chair of Department. The branch of Moscow state university of mechanical engineering (MAMI). Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyu l., 1a.

Islam Darahma. Postgraduate student. Vladimir State University. Vladimir, Gorky st., 87.

Nikolay M. Emelin. Honoured scientist of RSFSR, Dr.Sci. Tech., professor. State Research and Consulting Centre. Moscow, Lusinovskaya st., 51.

Elena V. Eropova. Cand.Tech.Sci., associate professor. Vladimir State University. Vladimir, Gorky st., 87

Alexander P. Galkin. Dr.Sci.Tech., professor, head of Department. Vladimir State University. Vladimir, Gorky st., 87.

Olga V. Golodkova. Deputy chief of department. State Research and Consulting Centre. Moscow, Lusinovskaya st., 51.

Sergey G. Goncharov. Cand.Tech.Sci., associate professor. Russian Federal Nuclear Center – The All-Russian Research Institute of Experimental Physics (RFNC – VNIIEF). Nizhniy Novgorod reg., Sarov, Mira av., 37.

Vadim G. Gribunin. Dr.Sci.Tech. IPO "IEP". Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyu l., 1a.

Anatoliy V. Guliaev. IPO "IEP". Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyu l., 1a.

Igor A. Ignatenko. Postgraduate student. IPO "IEP". Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyu l., 1a.

Sergey V. Ivanushkin. Doctor of Military Science. IPO "IEP". Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyu l., 1a.

Alexander A. Kobzev. Dr.Sci.Tech., professor. The head of departnent. Vladimir State University. Vladimir, Gorky st., 87

Sergey N. Koltakov. Ministry of Defence of the Russian Federation.

Igor V. Kosteniuk. Leading authority. Russian Railways.

Valentina V. Kotova. Junior scientist. Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

Maxim S. Kovaliov. Scientist. IPO "EPI". Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyu l., 1a.

Sergey E. Kuzeev. Junior scientist. Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

Abu Ahmad Mahfuz. Postgraduate student. Vladimir State University. Vladimir, Gorky st., 87.

Dmitriy G. Mitrofanov. Dr.Sci.Tech., professor. Military Aca-demy of Air Defence Force in the name of A.M. Vasilevskiy. Smolensk, Kotovskogo st., 2.

Viacheslav A. Nikitin. Engineer. Russian Federal Nuclear Center – The All-Russian Research Institute of Experimental Physics. Nizhniy Novgorod reg., Sarov, Mira av., 37.

Sergey E. Orekhov. Cand.Tech.Sci. The Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

Alexey V. Osin. Cand.Tech.Sci. Vladimir State University. Vla-dimir, Gorky st., 87.

Valentin A. Perekhozhev. Military Academy of Air Defence Force in the name of A.M. Vasilevskiy. Smolensk, Kotovskogo st., 2.

Vadim V. Pisetskiy. Senior lecturer. Sarov Physico-Technical Institute. Nizhny Novgorod reg., Sarov, Duhova st., 6.

Sergey V. Pogreban. Ministry of Defence of the Russian Federation.

Anton V. Podzorov. Cand.Tech.Sci., junior scientist. Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

Vladimir I. Polianskiy. Dr.Sci.Tech., professor. General director JSC «Corporation SCC-CDOHE». Moscow, Podyomnaya st., 12a.

Mikhail Y. Popov. Cand.Tech.Sci. Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

Andrey V. Romanov. Postgraduate student.. Vladimir State University. Vladimir. Gorky st., 87.

Anatoliy G. Sentsov. Scientist. Nanotechnology Institute Microelectronics. Moscow, Leninskiy av., 32a.

Igor A. Sheremet. Dr.Sci.Tech., professor. The Military-Industrial Commission of the Russian Federation.

Vladimir S. Shmakov. Cand.Tech.Sci. Vladimir State University. Vladimir, Gorky st., 87

Evgeniy V. Shmyrin. Senior scientist. IPO "IEP". Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyu l., 1a.

Igor V. Syusoev. Office of orders special means. Moscow, Khoroshevskoe h., 76Б-426.

Evgeniy N. Talitskiy. Dr.Sci.Tech., professor. Vladimir State University. Vladimir. Gorky st., 87.

Evgeniy V. Trostin. Ministry of Defence of the Russian Federation.

Vladimir A. Tsimbal. Honoured scientist of Russia, Dr.Sci.Tech., professor. Head scientist at IPO "IEP". Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyu l., 1a.

Dmitriy A. Tokarev. Ministry of Defence of the Russian Federation.

Alexander M. Val'vakov. Cand.Tech.Sci., senior scientist.

Elena D. Volodina. Chief of department. State Research and Consulting Centre. Moscow, Lusinovskaya st., 51.
IPO "IEP". Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyu l., 1a.

Anastasia V. Zaitseva. Bauman Moscow State Technical University. Moscow, 2 Baumanskaya st., 5.

МОУ «ИИФ»: ОСНОВНЫЕ ИТОГИ 2013 года

Для Института инженерной физики юбилейный, 2013-й год, был успешным и плодотворным. Итогом и высокой оценкой профессионализма, творческого подхода и ответственного отношения к делу коллектива Института стал целый ряд высоких наград. В частности, МОУ «ИИФ» стал лауреатом Всероссийской премии «Предприятие года-2013» в номинации «Гарантия качества»; внесен в Федеральный реестр добросовестных поставщиков; включен во Всероссийский Реестр социально ответственных предприятий и организаций. Институту был вручен Знак министра обороны «За заслуги в области развития и внедрения инновационных технологий».

Разработки ученых Института с области вооружения, военной техники, навигации, связи, защиты информации получили высокую оценку заказчиков, руководителей силовых структур, а также награды на таких крупных выставках, как Международный военно-морской салон, Международная выставка средств обеспечения безопасности государства «Интерполитех», технических средств охраны и обеспечения безопасности границы «Граница», «Технологии в машиностроении», «Навитех».

В соответствии с указаниями министра обороны С.К. Шойгу командованием ВДВ были проведены испытания экипировки, обмундирования военнослужащего и комплектов дополнительных деталей стрелкового оружия, разработанных в Институте. Приказом министра обороны автоматическая система определения азимута, разработанная учеными Института и ОАО «Концерн ЦНН «Электроприбор» (Санкт-Петербург), принята на снабжение Вооруженных сил РФ, и первое серийное изделие в ноябре принято в эксплуатацию одной из воинских частей РВСН.

Выдающихся успехов достигли молодые специалисты Института, получившие молодежные премии «Надежда России», стипендии Президента, звания «Инженер года», премии «Наше Подмосковье» и многие другие награды.

Институт получил государственную аккредитацию по образовательным программам послевузовского профессионального образования, реализуемым в аспирантуре, в которой на сегодняшний день обучается 31 человек. В диссертационном совете МОУ «ИИФ» уже защитились 7 аспирантов, 5 готовятся к защите.

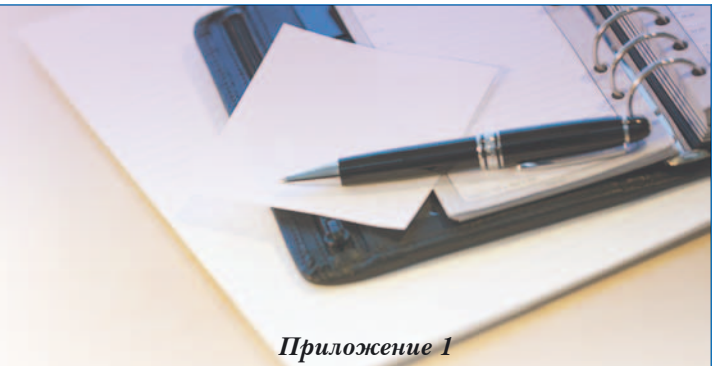
2013 год стал юбилейным и для Учебного центра «Интеграция» МАИ, который вот уже 10 лет плодотворно работает на базе МОУ «ИИФ». Продолжается обучение студентов в серпуховском филиале Университета машиностроения (МАМИ). В Институте информационных технологий и управления, учредителем которого является Институт инженерной физики, осуществлен третий набор студентов. На базе ИИТУ успешно работает Центр дополнительного профессионального образования и повышения квалификации.

Институт инженерной физики повышает качество и расширяет сферу услуг организациям и частным лицам в области телефонии, IP-телевидения, Интернета, систем теле-, видеонаблюдения, ограничения доступа, охранно-пожарных сигнализаций, электроизмерительных исследований.

МОУ «ИИФ» расширяет и совершенствует материально-техническую базу. В 2013 году введен в строй новый научно-производственный корпус, открыт множительный цех, продолжается строительство астропавильона. Завершается реконструкция стадиона для учащихся гимназии №1. Оказывается помощь Владычному женскому монастырю, православной гимназии, коррекционной школе. В день празднования 20-летия Института на его территории открылась часовня в честь преподобного Алексия, человека Божия, во славу Божию в ознаменование науки, образования и воинского братства.

Результаты опытно-конструкторских, производственных работ, образовательные проекты укрепили имидж Института инженерной физики как организации, способной решать задачи как регионального, так и федерального уровней, что позволяет выходить на новые, более высокие, уровни работы.

ТРЕБОВАНИЯ К АВТОРАМ СТАТЕЙ



Для публикации принимаются статьи на русском языке. Рекомендуемый объем статьи – 0,2–0,4 п.л. (8000–16000 знаков).

Тексты должны быть представлены:

❍ в электронном виде (Win Word 6.0 или 7.0). Иллюстративный материал (сложные формулы, рисунки, фотографии и т.д.) кроме размещения в тексте обязательно должны предоставляться отдельными файлами!

❍ на бумажном носителе формата А4.

Текст статьи должен быть набран через 1,5 интервала (гарнитура «Times New Roman»), кегль 14.

Простые символы и формулы не набирать в математическом редакторе!

Напечатанный текст должен иметь поля: верхнее и левое – 2,5 см, правое и нижнее – 2 см.

Вверху первой страницы статьи размещаются:

❍ рубрика журнала (см. *Приложение 1*);

❍ УДК;

❍ название статьи;

❍ имя, отчество, фамилия автора (авторов), ученая степень, ученое звание, должность и место работы.

Список литературы (Литература) размещается в конце статьи.

После литературы помещается:

❍ список ключевых слов;

❍ краткая аннотация (1–2 абзаца, но не более одного листа А4) на русском и английском языках.

Завершает рукопись полная информация об авторе (авторах):

❍ ФИО;

❍ ученая степень, ученое звание, должность и место работы с переводом на английский язык;

❍ адрес места работы, контактные телефоны, электронный адрес (по желанию автора – домашний адрес и телефон).

Обращаем особое внимание на:

❍ точность и правильность библиографического оформления списка литературы (в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5-2008);

❍ выверенность статьи в компьютерном наборе;

❍ полное соответствие файла на электронном носителе (диске, дискете) и бумажного варианта.

Редакционная коллегия оставляет за собой право на редактирование статей, при этом с точки зрения научного содержания авторский вариант сохраняется.

Статьи, не принятые к публикации, не возвращаются.

Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается!

Приложение 1

РУБРИКАЦИЯ ЖУРНАЛА «Известия Института инженерной физики»

■ **Управление, вычислительная техника и информатика**

- Технологии обработки и передачи данных;
- Средства и методы защиты информации;
- Информационно-расчетные системы;
- Вычислительные методы;
- Тестирование и сертификация программно-аппаратного обеспечения;
- Компьютерные сети и системы;
- Новые информационные технологии;
- Электромагнитная безопасность систем и комплексов;
- Искусственный интеллект;
- Базы данных;
- Моделирование процессов управления и оптимизации;
- Информационные технологии проектирования;
- Информационные технологии в образовании;
- Геоинформационные системы;
- Программно-аппаратное обеспечение;
- Автоматизированные системы управления;
- Компьютерная графика.

■ **Электроника, измерительная техника, радиотехника и связь**

- Методы и способы измерения, оценка погрешностей;
- Информационно-измерительные системы;
- Методы обработки сигналов;
- Диагностические системы;
- Радиоэлектронные системы;
- Антенны, распространение радиоволн;
- Элементная база;
- Радиотехническая аппаратура;
- Системы связи.

■ **Навигация.**

■ **Механика твердого тела.**

■ **Техника общего назначения.**

■ **Инновационные проекты.**

■ **Техническое регулирование.**

■ **Совершенствование образования.**

■ **Подготовка кадров.**

В соответствии с Решением Межведомственной комиссии РФ по защите государственной тайны №69 от 26 февраля 2001 г., требованиями законов №5485-1 «О государственной тайне» от 21 июля 1993 г., №149-ФЗ «Об информации, информационных технологиях и защите информации» от 27 июля 2006 г. статьи для публикации принимаются только при наличии экспертного заключения с разрешением на открытое опубликование.