

№ 4⁺⁰
2016

[42]

ИЗВЕСТИЯ

научно-технический журнал

ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ



2006 2016

ВЗГЛЯД В БУДУЩЕЕ
ЖУРНАЛ



10 ЛЕТ



В НОМЕРЕ

**ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И
ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ**

2 А.В. Лучин, Г.С. Бут, Е.А. Строганов, С.В. Степанов. Распределение активных нагрузок в системе автономного электроснабжения с перестраиваемой структурой первичных источников электрической энергии

6 В.М. Дунилин, А.Г. Попов, А.А. Масликов. Математическая модель доказательства эффекта монотонного накопления заряда на дифференциальном конденсаторе при прохождении через него переменного тока

10 С.А. Лычагов, С.В. Антонов, А.С. Лычагов. Наведение летательного аппарата на основе метода линии аналитического визирования с требованием по углу пикированиям

РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

14 В.П. Пашинцев, В.А. Шевченко, А.О. Наумов, А.Д. Скорик. Модифицированная граница Рао-Крамера для дисперсии оценки задержки навигационных сигналов с ВОС-модуляцией

20 В.А. Коломбет, В.Н. Лесных, Е.В. Коломбет. Особенность проявления фрактальной системы утраивающихся периодов в телевидении и мобильной телефонии

25 К.Ю. Цветков, Е.С. Абазина, А.А. Ерунов. Алгоритм кодового уплотнения скрытых каналов с учетом приоритетов абонентов

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

32 А.К. Никитин, Н.С. Кукин. Извлечение уникальной информации из различных изображений объекта в одних и тех же условиях

36 А.Р. Мурадова, Н.С. Кукин. Детектирование перемещения объекта на расстояния меньше одного пикселя по серии его изображений

40 А.И. Бочаров, В.А. Гапоненко. Разработка критерия выбора рационального набора типов инженерно-технических средств обнаружения для базовой структуры технических средств охраны

45 С.В. Суханов, А.М. Рязанцев, П.А. Сусакин, И.О. Глотова. Алгоритм генерации случайных последовательностей с прореживающей физически неклонируемой функции на базе СОЗУ

50 Е.В. Умников. Виртуальный робототехнический полигон: от систем моделирования кинематики роботов к виртуальной среде управляемого симулирования изменчивого окружения роботов и природных процессов

54 Д.Б. Николаев, А.П. Мартынов, И.А. Мартынова. Криптографические системы и метод факториального сжатия информации

58 А.А. Кобзев, Ю.Е. Мишулин, В.А. Немонтов, А.В. Лекарева. Постановка задачи прогнозирующего управления мобильным гусеничным роботом

65 Т.Х. Ахмедов, А.С. Пономарёва. Особенности пограничного слоя быстромашущего крыла

ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОЕКТЫ

71 В.В. Редькин, А.А. Коробков, М.В. Кулик. Эмпирические уравнения состояния для определения термодинамических параметров и фазового равновесия смесей метана с его гомологами при расчетах систем регазификации сжиженного природного газа

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ И РОБОТОТЕХНИКА

76 Е.В. Поезжаева, А.А. Новикова, К.Н. Поликарпова, В.А. Сайкинова. Робот для диагностики вредных примесей в воздухе

СОВРЕМЕННАЯ МЕДИЦИНА И ФАРМАЦЕВТИКА

79 В.К. Курочка, А.Н. Царьков. От медицины сегодняшнего дня до персонализированной медицины будущего

83 Г.Р. Иваницкий, Е.И. Маевский, С.В. Смуров, Е.П. Хижняк, Л.Н. Хижняк. Повышение диагностической информативности инфракрасных изображений с использованием методов нелинейного контрастирования

ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

90 Д.В. Шугалей, Н.В. Паков. Формирование культуры здоровьесбережения курсантов военных вузов, факторы влияющие на сохранение их культуры здоровьесбережения

95 И.А. Бугаков, П.И. Медведев, А.Н. Царьков. Дополнительное профессиональное образование в условиях глобализации образовательного пространства

Научно-технический журнал

**ИЗВЕСТИЯ
Института инженерной физики
№4(42)2016**

Издается с апреля 2006 г. Выходит ежеквартально

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

Главный редактор, председатель
редакционного совета
и редакционной коллегии

Алексей Николаевич Царьков

Президент – Председатель Правления МОУ «ИИФ»,
заслуженный деятель науки РФ,
доктор технических наук, профессор

Редакционный совет

Геннадий Иванович Азаров

заместитель генерального директора – директор
Департамента телекоммуникационных систем
ФГУП «ЦНИИ ЭИСУ»,

заслуженный деятель науки РФ, заслуженный
изобретатель РФ, лауреат Государственной
премии РФ, лауреат премии Правительства РФ,
доктор технических наук, профессор

Сергей Владимирович Дворянkin

начальник департамента Государственной
корпорации «РОСТЕХ» ОАО КРЭТ,
доктор технических наук, профессор

Анатолий Анатольевич Донченко

заместитель начальника Главного научно-
исследовательского испытательного центра
робототехники по научно-исследовательской и
испытательной работе Министерства обороны РФ,
доктор технических наук, профессор

Николай Михайлович Емелин

заместитель директора ФГБНУ «Госметодцентр»
по научной работе,
заслуженный деятель науки и техники РСФСР,
доктор технических наук, профессор

Валерий Иванович Николаев

научный референт ОАО «Концерн “Созвездие”»,
доктор технических наук, профессор

Владимир Георгиевич Редько

заместитель руководителя Центра
оптико-нейронных технологий НИИ
системных исследований РАН,
доктор физико-математических наук

Юрий Александрович Романенко

заместитель главы администрации города
Протвино, заслуженный деятель науки РФ,
доктор технических наук, профессор

Анатолий Васильевич Тодосийчук

заместитель руководителя аппарата Комитета
Государственной Думы по науке
и наукоемким технологиям,
почетный работник науки и техники РФ,
доктор экономических наук, профессор

Игорь Анатольевич Шеремет

заместитель директора Российского фонда
фундаментальных исследований по науке,
доктор технических наук, профессор

Редакционная коллегия

Олег Николаевич Андрух

кандидат технических наук, доцент

Борис Фёдорович Безродный

доктор технических наук, профессор

Сергей Борисович Беркович

почетный геодезист РФ

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

почетный работник науки и техники РФ,

доктор технических наук, профессор

Вадим Геннадьевич Грибунин

доктор технических наук

Сергей Григорьевич Данилюк

доктор технических наук, профессор

Владимир Владимирович Зеленецкий

доктор технических наук, профессор

Николай Николаевич Казаков

член Союза писателей России

Олег Павлович Кузнецов

кандидат технических наук, доцент

Александр Ильич Куприянов

доктор технических наук, профессор

Дмитрий Геннадьевич Митрофанов

заслуженный изобретатель РФ,

доктор технических наук, профессор

Роман Леонидович Мусатов

кандидат технических наук

заместитель главного редактора

Игорь Павлович Новожилов

выпускающий редактор

Игорь Николаевич Оков

доктор технических наук, профессор

Владимир Петрович Пашинцев

заслуженный работник высшей школы РФ,

доктор технических наук, профессор

Валерий Николаевич Умников

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

Сергей Николаевич Шиманов

почетный радист РФ,

доктор технических наук, профессор

ISSN 2073-8110

Учредитель и издатель – МОУ «ИИФ». Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а

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: info@iifrf.ru

Издание зарегистрировано в Федеральной службе по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия. Свидетельство о регистрации СМИ ПИ №ФС77-26650 от 20 декабря 2006 г.

Отпечатано на полиграфической базе МОУ «ИИФ».

Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов,

Большой Ударный пер., д. 1а.

Подписано в печать 6.12.2016. Дата выхода

в свет 22.12.2016. Тираж 2000 экз. Цена свободная.

© Межрегиональное общественное учреждение

«Институт инженерной физики» (ИИФ), 2016



Алексей Николаевич Царьков

заслуженный деятель науки РФ

доктор технических наук, профессор

Президент Института –

Председатель Правления Института

главный редактор журнала

«Известия Института

инженерной физики»

Почетный гражданин города Серпухова

Дорогие друзья! Уважаемые коллеги!

Не мной замечено, что случайных событий не бывает. На все есть Божий Промысл. У Максима Горького есть замечательная фраза: «Мы живем в эпоху, когда расстояние от самых безумных фантазий до совершенно реальной действительности сокращается с невероятной быстротой». Меня поразило, что эти слова, написанные почти 90 лет назад, не только актуальны и сегодня, но и удивительным образом характеризуют ситуацию с нашим Институтом в целом, и с нашим журналом, в частности.

В начале 1990-х годов мы с небольшой группой единомышленников замыслили создать научную, образовательную и производственную организацию. Через несколько лет, когда наше детище – Институт инженерной физики окреп и занял достойное место в современном российском научном сообществе, мы задумались о своем научно-техническом журнале. Как говорится, сказано – сделано! И вот мы уже готовимся отмечать 10-летие журнала «Известия Института инженерной физики». А это серьезный повод подвести определенные итоги.

10 лет – это 42 выпуска журнала. Это более 800 статей по кибернетике, вычислительной технике, приборостроению, связи, электронике, радиотехнике, математике, информатике, образованию и педагогике, военному делу и другим отраслям науки и техники. Это без малого 650 авторов, представляющих более 90 российских научных и учебных организаций, среди которых МГУ им. М.В. Ломоносова, ИФВЭ, Институт проблем химической физики РАН, Институт радиотехники и электроники РАН, МИФИ, МГТУ им. Н.Э. Баумана, Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН, РФЯЦ, Академия ФСО РФ, МИРЭА, ВА РВСН им. Петра Великого, ВЛГУ им. А.Г. и Н.Г. Столетовых, МАИ, 4 ЦНИИ МО РФ, ВКА им. А.Ф. Можайского и многие другие.

О признании нашего журнала в научном мире красноречивее всего говорит тот факт, что ссылки на статьи, опубликованные в «Известиях ИИФ», можно найти более чем в 130 авторитетных изданиях, таких как «Кибернетика», «Автоматика. Вычислительная техника», «Труды Научно-исследовательского института радио», «Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения», «Связь», «Электроника. Радиотехника», «Машиностроение», «Биомедицинская радиоэлектроника», «Математика», «Вопросы радиоэлектроники», «Теория и техника радиосвязи», «Функциональная диагностика» и других.

И еще один важный – если не главный! – момент из жизни нашего журнала. За 10 лет мы три раза «сдавали экзамены» на право находиться в «Перечне ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук». И все три раза Президиум ВАК предоставлял нам это право, что для научного издания является высшей формой профессионального признания!

От всей души поздравляю членов редакционного совета, редакционной коллегии, творческий коллектив и авторов с 10-летием нашего журнала! Здоровья, мира, добра, благополучия и профессиональных успехов! Давайте и дальше сокращать расстояние от наших фантазий до реальной действительности!

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

УДК 514.7

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ АКТИВНЫХ НАГРУЗОК В СИСТЕМЕ АВТОНОМНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С ПЕРЕСТРАИВАЕМОЙ СТРУКТУРОЙ ПЕРВИЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ THE DISTRIBUTION OF ACTIVE LOAD IN THE SYSTEM OF AUTONOMOUS POWER TUNABLE STRUCTURE OF PRIMARY SOURCES OF ELECTRICAL ENERGY

Андрей Владимирович Лучин

кандидат технических наук

заместитель начальника кафедры
филиал ВА РВСН им. Петра Великого
(г. Серпухов)
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17
Тел.: +7(916)422-26-96

Евгений Анатольевич Строганов

кандидат технических наук

заместитель начальника кафедры
филиал ВА РВСН им. Петра Великого
(г. Серпухов)
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17
Тел.: +7(903)514-43-90

Геннадий Семенович Бут

кандидат технических наук

доцент кафедры
филиал ВА РВСН им. Петра Великого
(г. Серпухов)
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов,
ул. Бригадная, д. 17
Тел.: +7(919)994-60-98

Сергей Викторович Степанов

кандидат технических наук, доцент

заместитель начальника кафедры
филиал ВА РВСН им. Петра Великого
(г. Серпухов)
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17
Тел.: +7(916)234-74-73

Аннотация

В статье рассмотрены возможность создания многоагрегатных систем автономного электроснабжения объектов с перестраиваемой структурой первичных источников электрической энергии и система равномерного распределения активных нагрузок на параллельно работающие дизель-генераторы.

Ключевые слова: системы автономного электроснабжения, параллельная работа.

Summary

In the article it was taken up the possibility of creating multi-unit systems for autonomous power supplies of objects with reconstructtable structure of primary power sources and the system for equal distributing of active loads on parallely operating diesel-generators.

Keywords: systems for autonomous power, parallel operation.

В системах автономного электроснабжения (САЭ) различных объектов целесообразным является параллельная работа дизель-генераторов (ДГ). Как правило, при параллельной работе, в основном, используются два ДГ. Проведенный анализ электроснабжения различных объектов показывает необходимость использования многоагрегатных систем, в которых количество работающих ДГ будет изменяться в зависимости от суммарной мощности нагрузки, т.е. структура

первичных источников электрической энергии является перестраиваемой.

В САЭ оборудованных несколькими источниками напряжения, как правило, в параллельную работу включаются однотипные генераторы. Для того чтобы обеспечить лучшее использование располагаемой электрической мощности, необходимо распределить нагрузку между генераторами равномерно. Если нагрузка распределяется между генераторами неравномер-

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

но, то мощность нагрузки будет лимитирована наиболее нагруженным генератором. Это возникает потому, что, несмотря на то, что некоторые из работающих параллельно генераторов могут быть недогружены, дальнейшее уменьшение сопротивления нагрузки может привести к выходу из строя наиболее нагруженного генератора.

Кроме того, при равномерной нагрузке генераторов для всей системы в целом получается большой КПД и коэффициент мощности (при параллельной работе синхронных генераторов). Поэтому при параллельной работе генераторов необходимо предусмотреть специальные меры для равномерного распределения нагрузок между ними.

При параллельной работе синхронных генераторов воздействием на регуляторы напряжения можно управлять лишь распределением реактивных мощностей. Для управления распределением активных мощностей необходимо воздействовать на регуляторы скорости приводов синхронных генераторов.

Если на общую сеть работает параллельно несколько одинаковых генераторов, то мощность между ними распределяется приблизительно пропорционально их углам опережения. Общая мощность всех генераторов (в случае одинаковых генераторов) приблизительно пропорциональна сумме углов опережения всех генераторов. Для перевода нагрузки с одной группы машин на другую необходимо, воздействуя на регуляторы механических двигателей этих агрегатов, создать соответствующее опережение их роторов. Чтобы сохранить неизменной частоту сети, необходимо одновременно уменьшить углы для остальных машин и притом так, чтобы сумма уменьшения углов их опережения равнялась сумме увеличений углов первой группы машин [2].

Для увеличения активной мощности генератора P необходимо увеличить подводимую к генератору мощность со стороны его первичного двигателя. Изменение мощности первичного двигателя осуществляется регулятором частоты вращения дизеля. При увеличении мощности генератора его частота вращения стремится упасть, регулятор частоты вращения, реагируя на ее уменьшение, увеличивает подачу рабочего тела в первичный двигатель (топливо), увеличивает его момент и восстанавливает частоту вращения. Поэтому для изменения активной мощности необходимо воздействовать на регулятор частоты вращения. При изменении мощности генератора его частота (или частота вращения дизеля) в общем случае не остается постоянной, т.е. механическая характеристика привода

$f=f(P)$ имеет статизм: частота генератора f зависит от отдаваемой им мощности P . При параллельной работе частота всех генераторов одна и та же, а сумма отдаваемых каждым генератором мощностей равна мощности нагрузки сети P_c . Распределение нагрузок P_1 и P_2 между генераторами и уровень частоты системы f_c зависят от параметров механических характеристик дизеля, определяемых регуляторами частоты.

С другой стороны, мощность синхронного генератора, отдаваемая им в сеть, при данных параметрах генератора и сети определяется так называемой угловой характеристикой (*рисунком 1*) [4].

На ее рабочем, устойчивом, участке $\theta < \theta_{max}$ увеличение угла θ между ЭДС генератора E_{01} и напряжением сети U_c с увеличением угла выбега ротора, приводит к увеличению отдаваемой мощности. Но увеличение угла θ может происходить лишь за счет увеличения момента со стороны первичного двигателя.

Существует несколько методов управления параллельной работой, методов распределения мощности между параллельно работающими генераторами.

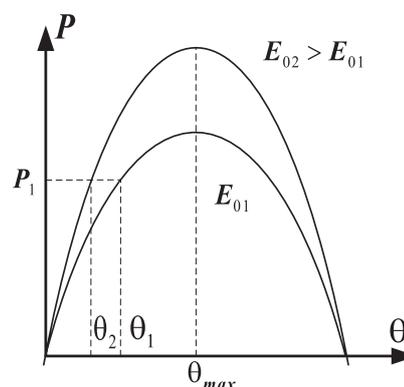


Рис. 1.

К таким методам относятся: метод ведущей машины, метод поочередной загрузки генераторов, метод статических характеристик, метод мнимостатических характеристик.

Известная система распределения активных нагрузок обеспечивает распределение активной мощности между ДГ за счет настройки механизмов изменения частоты вращения, исходя из регуляторной характеристики, имеющей статизм (наклон) (*рисунком 2*). Основным недостатком указанной системы – недостаточная точность равномерного распределения мощности нагрузки между ДГ, что приводит к снижению фактической суммарной мощности, которую могут отдавать ДГ при параллельной работе, по сравне-

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

нию с их суммарной установленной мощностью. Кроме того, в данной системе происходит отклонение частоты напряжения от заданного значения при изменении нагрузки в широком диапазоне. Применение метода мнимостатических характеристик, как наиболее подходящего, при распределении активных нагрузок в многоагрегатных системах не представляется возможным из-за отсутствия уравнительных связей. «Обрыв» уравнительных связей ведет к тому, что регуляторы скорости вращения дизелей начинают реагировать только на отклонение управляемой величины – скорости вращения [1].

В связи с этим, предлагается система распределения активных нагрузок, основной отличительной чертой которой является отсутствие уравнительных связей между синхронными генераторами [2]. При этом распределение мощности между параллельно работающими ДГ, осуществляется по следующему алгоритму:

1. Производится пуск всех ДГ.
2. Измеряется суммарная мощность нагрузки.
3. Определяется минимально необходимое количество ДГ для параллельной работы.
4. Производится определение (по определенному алгоритму) состава работающих ДГ, остальные останавливаются.
5. Определяется средняя мощность нагрузки, которую должен обрабатывать каждый из работающих ДГ.
6. Выдается команда на исполнительный элемент регулятора скорости вращения каждого ДГ, который обрабатывает отклонение мощности от требуемого значения.

Данный алгоритм возможно реализовать при наличии информационных датчиков активной мощности, а также при применении иных регуляторов скорости вращения дизеля.

Как было сказано выше, органом управления ДГ при распределении активных нагрузок является регулятор скорости вращения дизеля. На ДГ малой и средней мощности, как правило, применяются регуляторы скорости прямого действия. Данный регулятор является регулятором по отклонению [4].

Регулятор определяет отклонение скорости вращения от заданного значения и в зависимости от величины и знака отклонения воздействует на орган управления работой дизеля – на рейку топливного насоса.

Входной величиной регулятора является изменение скорости вращения $\Delta\omega$. Усилие, развиваемое центробежными силами грузов, передается на главную пружину, степень затяжки которой меняется. В установившихся режимах работы усилие, развиваемое центробежными силами грузов, уравнивается силой упругости пружин при этом подача топлива в цилиндры дизеля постоянна. Наклон статической характеристики регулятора определяется величиной степени неравномерности. Изменять наклон статической характеристики, а тем самым и статизм системы регулирования в целом можно, изменяя степень затяжки пружины L (рисунк 2). Данная процедура выполняется персоналом после пуска дизеля, и в процессе функционирования до останова не повторяется

Возможным также является доработка регуляторов скорости вращения, путем установки двигателя постоянного тока, регулирующего степень затяжки пружины данного регулятора. Таким образом, осуществляется постоянное регулирование момента дизеля. При этом регулирование и поддержание в постоянстве скорости вращения дизеля возможно не только по принципу отклонения, но и по задающему воздействию (требуемая мощность) – см. рисунок 3 [1, 3].

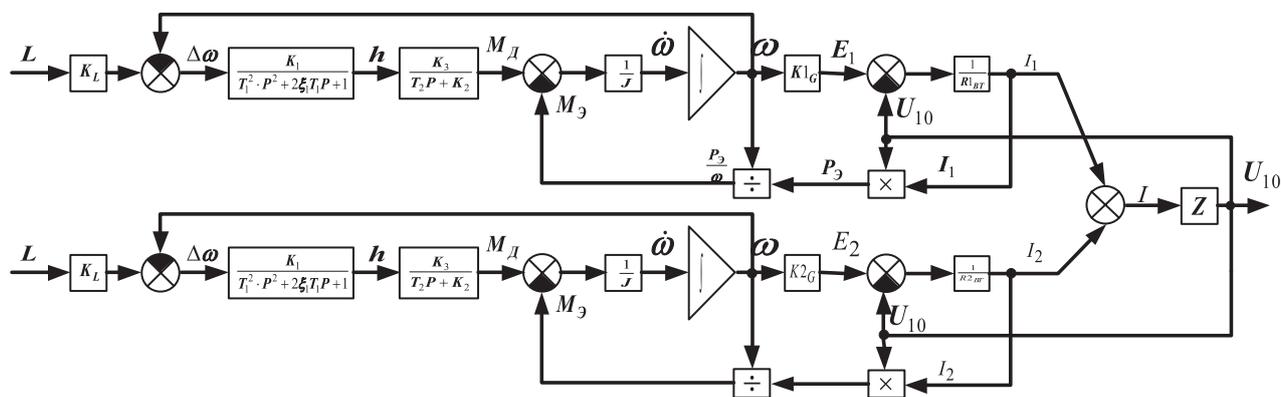


Рис. 2. Структурная схема системы распределения активных нагрузок между двумя ДГ

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

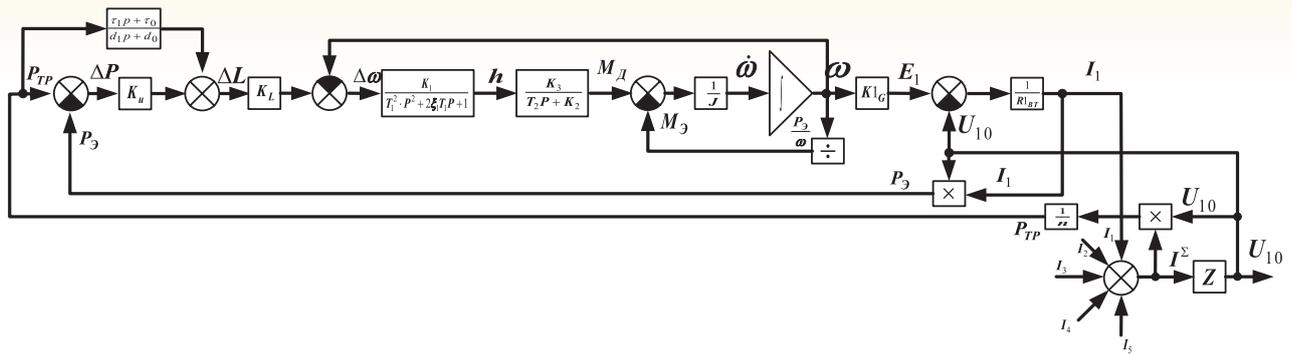


Рис. 3. Структурная схема системы распределения активных нагрузок с регулированием по отклонению и задающему воздействию

Таким образом, система будет одновременно обеспечивать равномерное распределение активных мощностей между параллельно работающими ДГ и заданное значение частоты на шине нагрузки при отсутствии уравнивающих связей. Применение такой системы распределения активных нагрузок позволит создавать многоагрегатные системы автономного электроснабжения.

Литература

1. Ванюрихин Г.И., Захаров В.Н. и др. Синтез систем автоматического управления. СВКИУ РВ, 1968.
2. Лучин А.В., Мартяшин Ю.В. Система распределения активных нагрузок. Патент РФ № 2319131 от 10.03.2008 г.
3. Пушкарев Ю.А. Основы теории автоматического управления. Министерство обороны, 1999.
4. Терещенков и др. Источники и первичные преобразователи энергии. Учебник. МО СССР, 1979. 554.

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

УДК 621.382.8

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ
ДОКАЗАТЕЛЬСТВА ЭФФЕКТА
МОНОТОННОГО НАКОПЛЕНИЯ ЗАРЯДА
НА ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОМ КОНДЕНСАТОРЕ
ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ ЧЕРЕЗ НЕГО
ПЕРЕМЕННОГО ТОКА**

**THE MATHEMATICAL MODEL IS EVIDENCE
OF THE EFFECT OF THE MONOTONOUS
ACCUMULATION OF CHARGE
ON THE DIFFERENTIAL CAPACITOR
DURING THE PASSAGE THROUGH
IT OF ALTERNATING CURRENT**

Виктор Михайлович Дунилин

старший научный сотрудник
Управление прочностных исследований
и технической диагностики
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)12-80-04
E-mail: upitd@iifmail.ru

Алексей Геннадьевич Попов

кандидат технических наук
начальник Управления прочностных
исследований и технической диагностики
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)12-80-04
E-mail: upitd@iifmail.ru

Александр Альбертович Масликов

доцент
филиал «Протвино» Университета «Дубна»
старший научный сотрудник
Управление прочностных исследований
и технической диагностики
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов,
Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)12-80-04
E-mail: upitd@iifmail.ru

Аннотация

В статье приводится математическая модель эффекта накопления заряда переменным напряжением на емкости дифференциального конденсатора.

Ключевые слова: дифференциальный конденсатор, емкость, накопление заряда, нелинейная зависимость.

Summary

The article presents a mathematical model of the effect of the accumulation of the charge AC voltage on the capacitance of the differential capacitor.

Keywords: the differential capacitor, capacitance, charge accumulation, nonlinear dependence.

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

Интерес к исследованию данного эффекта был вызван публикациями [1] с предложением использования его как выпрямителя тепловых шумов в проводниках и перевода кинетической энергии тепловых шумов зарядов проводников в потенциальную энергию разности потенциалов на конденсаторе.

В статье представляется математическая модель для подтверждения наличия физического эффекта накопления заряда на емкости дифференциального конденсатора путем сравнения времени заряда и разряда емкости на заданную величину напряжения через постоянный резистор R .

Дифференциальный конденсатор представляет собой емкость, величина которой меняется от приложенного напряжения. Такой эффект наблюдается, например, при использовании полимерной или полупроводниковой изоляции между обкладками конденсатора. Изменение величины емкости происходит нелинейно относительно приложенного напряжения (рисунк 1).

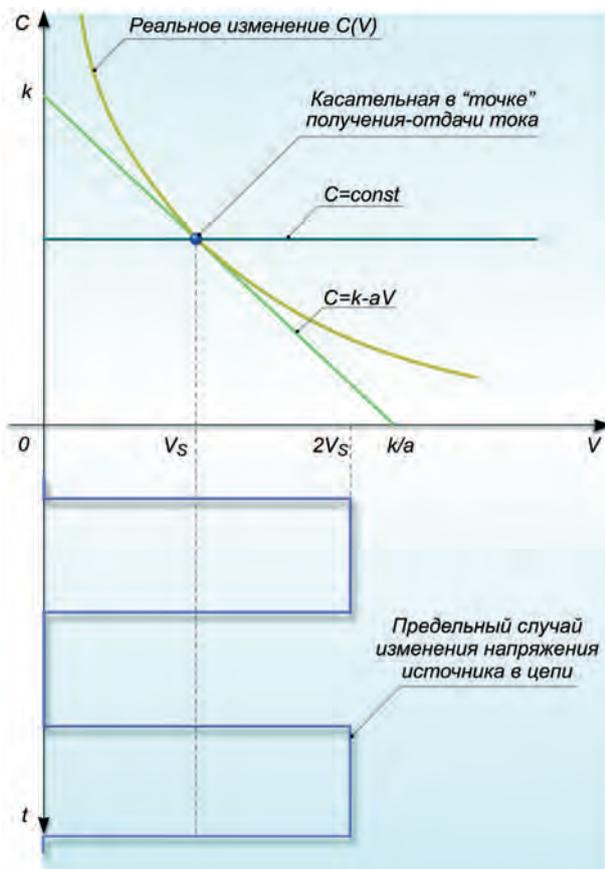


Рис. 1. Зависимости емкости дифференциального конденсатора от напряжения и эпюры напряжения источника в цепи

Схема подключения конденсатора к переменному напряжению амплитудой V_s представлена на рисунке 2.

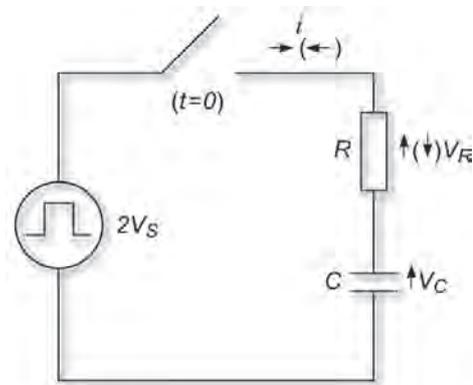


Рис. 2. Схема подключения конденсатора к источнику переменного напряжения

Уравнение Кирхгофа для этой цепи имеет вид:

$$2V_s = V_R + V_C$$

или

$$2V_s = iR + V_C \quad (1)$$

где V_s – амплитуда переменного напряжения; V_R – напряжение на балластном резисторе; V_C – напряжение на дифференциальной емкости; i – ток заряда дифференциальной емкости; R – величина балластного резистора.

Считаем, что от момента появления напряжения $2V_s$ в цепи с разряженной емкостью ($V_C=0$) проходит достаточно время для ее полного заряда. Напряжение на заряженном конденсаторе достигает величины $V_C=2V_s$.

Считаем, что от момента снятия напряжения $2V_s$ в цепи с заряженной емкостью ($V_C = 2V_s$) проходит достаточно время для ее полного разряда до величины напряжения $V_C=0$. Рассмотрим последовательно процессы заряда и разряда дифференциального конденсатора.

Заряд емкости дифференциального конденсатора

Определим время заряда конденсатора согласно уравнению (1).

Аппроксимируем нелинейность емкости линейной зависимостью ее от приложенного напряжения (рисунк 1). Линейная зависимость выражается уравнением касательной к нелинейной зависимости в некой точке с величиной емкости C и напряжением на ней V_s . Уравнение для емкости конденсатора имеет вид:

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

$$C = k - aV, \quad (2)$$

где k, a – коэффициенты уравнения аппроксимирующей касательной в зависимости емкости от приложенного напряжения;
 V – напряжение на конденсаторе.

Зависимость тока в цепи с конденсатором имеет вид:

$$i = \frac{dQ}{dt}, \quad (3)$$

где Q – заряд на емкости C .

Учитывая, что $Q = CV$ имеем:

$$i = \frac{d(CV)}{dt}. \quad (4)$$

Определяя производную (4) с учетом (3) получаем:

$$i = (k - 2aV) \frac{dV}{dt}. \quad (5)$$

Подставляя значение тока (5) в (1) получаем дифференциальное уравнение:

$$\frac{dV}{dt} R(k - 2aV) + V - 2V_s = 0. \quad (6)$$

Решая, полученное дифференциальное уравнение с учетом начальных условий, получаем уравнение зависимости времени заряда емкости от напряжения:

$$t = 2aR \left[V + (2V_s - \frac{k}{2a}) \ln(1 - \frac{V}{2V_s}) \right]. \quad (7)$$

Разряд емкости дифференциального конденсатора

Рассмотрим процесс разряда конденсатора для оценки величины времени разряда. Уравнение Кирхгофа для процесса разряда примет вид:

$$0 = V_R + V_C$$

или

$$0 = iR + V_C. \quad (8)$$

Подставляя (2) и (5) в (8) получаем дифференциальное уравнение:

$$\frac{dV}{dt} R(k - 2aV) + V = 0. \quad (9)$$

Решая дифференциальное уравнение с учетом начальных условий, получаем зависимость времени разряда конденсатора от напряжения:

$$t = 2aR \left[V - 2V_s + \frac{k}{2a} \ln(\frac{2}{V} V_s) \right]. \quad (10)$$

Для наглядности полученных результатов подставим в формулы для времен следующие значения параметров: $k = 9, a = 1, R = 1, V_s = 2$.

Графики процессов заряда-разряда в одном цикле приложения-снятия напряжения представлены на рисунке 3.

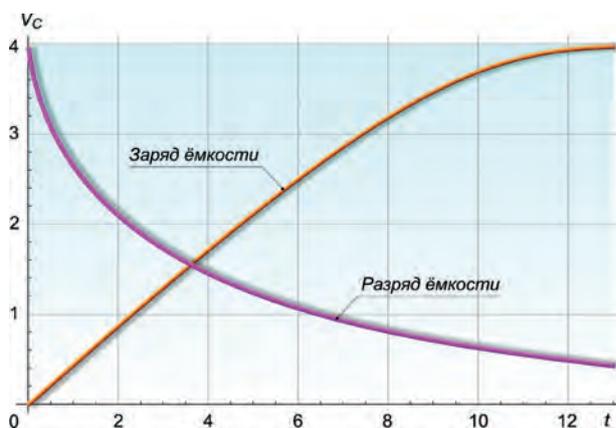


Рис. 3. Графики заряда и разряда дифференциального конденсатора

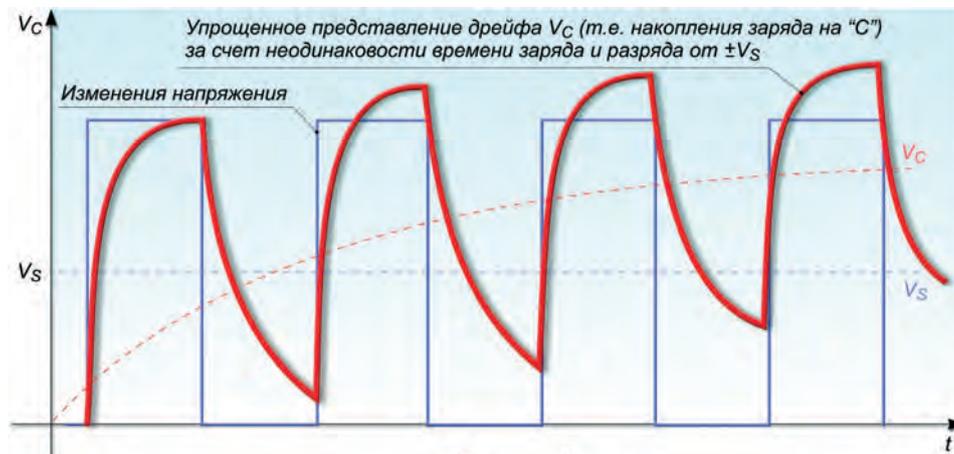


Рис. 4. Представление накопления разности потенциала на емкости дифференциального конденсатора

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

Иллюстрация изменения разности потенциала на емкости дифференциального конденсатора при приложении периодического сигнала со «скважностью» 2 представлена на *рисунке 4*.

Подобная упрощенная модель необходима для подтверждения существования эффекта накопления заряда на емкости дифференциального конденсатора в электрических цепях подобных представленной на *рисунке 2*.

Выводы

Приведенное математическое моделирование доказывает наличие эффекта накопления заряда на дифференциальном конденсаторе при

заряде его переменным напряжением через балластный резистор.

Данный эффект не проявляется при заряде-разряде обычного конденсатора, емкость которого не зависит от приложенного напряжения.

Для практического применения эффекта необходимо построение более точной математической модели дифференциального конденсатора для дальнейшего исследования и оптимизации параметров электрической цепи для конкретных практических применений.

Литература

1. Виноградов Ю.Е. Другая энергетика // ЭКО, 2006. №3. С. 21-42.

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ



УДК 692.7.016

НАВЕДЕНИЕ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА НА ОСНОВЕ МЕТОДА ЛИНИИ АНАЛИТИЧЕСКОГО ВИЗИРОВАНИЯ С ТРЕБОВАНИЕМ ПО УГЛУ ПИКИРОВАНИЯ GUIDANCE OF THE AIRCRAFT ON THE BASIS OF THE ANALYTICAL LINE OF SIGHT WITH THE REQUIREMENT FOR CORNER DIVE

Сергей Александрович Лычагов

кандидат технических наук

начальник кафедры
филиал ВА РВСН им. Петра Великого
(г. Серпухов)
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17
Тел.: +7(917)516-22-52

Сергей Владимирович Антонов

кандидат технических наук, доцент

начальник отдела
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)12-80-04
E-mail: upitd@iifmail.ru

Алексей Сергеевич Лычагов

курсант
филиал ВА РВСН им. Петра Великого
(г. Серпухов)
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17
Тел. +7(4967)35-78-20

Аннотация

Рассматривается один из вариантов решения задачи наведения летательного аппарата по методу линии аналитического визирования с учетом требований по углу пикирования.

Ключевые слова: метод наведения по линии аналитического визирования, целевая система координат, алгоритм наведения.

Summary

Describes one of the variants of solving the problem of guidance of an aircraft by the method of analytical line-of-sight with the requirements of the angle of dive.

Keywords: the method of guidance on the analytical line of sight, the target coordinate system, the algorithm guidance.

В [1, 2, 3] раскрывается сущность метода наведения летательного аппарата по линии аналитического визирования. Напомним некоторые положения этого метода. Под линией аналитического визирования понимают линию, связывающую центр масс летательного аппарата и точку цели. Линия аналитического визирования в целевой системе координат может быть определена двумя углами – θ_0 углом наклона к плоскости XOZ ψ_0 углом между проекцией линии аналитического визирования на плоскость XOZ и осью OX , рисунок 1.

Под целевой системой координат понимают систему координат с началом, совпадающим с точкой цели, плоскость XOZ в точке цели совпадает с плоскостью местного горизонта [4]. Положение плоскости XOY по большому счету безразлично. Для определенности ориентируем эту плоскость по плоскости меридиана точки цели.

По известным координатам центра масс летательного аппарата $x(t)$, $y(t)$, $z(t)$ и координатам точки цели $x_y(t)$, $y_y(t)$, $z_y(t)$ углы θ_0 и ψ_0 , определяющие положение линии аналитического визи-

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

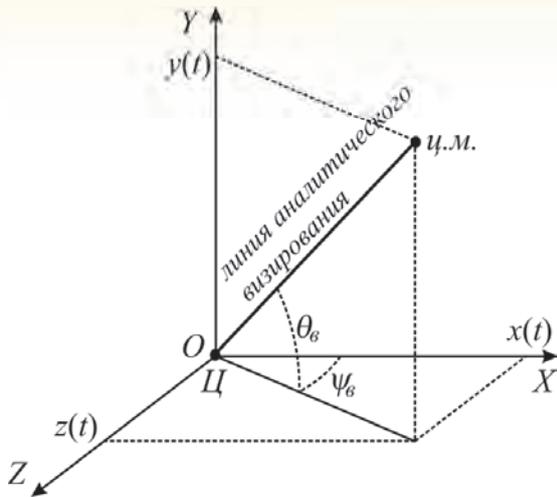


Рис. 1. К определению положения линии аналитического визирования

рования, находятся с помощью известных соотношений

$$\theta_0 = \arctg \frac{y(t) - y_u(t)}{\sqrt{(x(t) - x_u(t))^2 + (z(t) - z_u(t))^2}},$$

$$\psi_0 = \arctg \frac{z(t) - z_u(t)}{x(t) - x_u(t)}. \quad (1)$$

Сущность метода линии аналитического визирования заключается в совмещении вектора скорости центра масс летательного аппарата с линией аналитического визирования. При этом алгоритм формирования программ управления пространственным углом атаки и углом крена имеет вид [2]

$$\Delta\theta = -\theta_0 - \theta(t), \quad (2)$$

$$\Delta\psi = -\psi_0 - \psi(t). \quad (3)$$

$$\gamma = \arctg \left[\frac{\Delta\psi}{\Delta\theta} \cos\theta \right], \quad (4)$$

$$\alpha^{np} = \frac{2m}{C_y \rho V S_m} \frac{\Delta\theta}{\cos\gamma}, \text{ или } \alpha^{np} = \frac{2m}{C_y \rho V S_m} \frac{\Delta\psi}{\sin\gamma} \cos\theta. \quad (5)$$

Здесь приняты обозначения:
 $q(t), y(t)$ – углы, определяющие ориентацию вектора скорости центра масс летательного аппарата в целевой системе координат;
 α^{np} – пространственный угол атаки;
 γ – угол крена;
 m – масса летательного аппарата;
 V – текущая скорость центра масс летательного аппарата;
 C_y^a – коэффициент подъемной силы;
 S_m – сечение Миделя летательного аппарата;
 ρ – текущая плотность атмосферы.

При рассмотрении метода наведения по линии аналитического визирования в [1, 2, 3] не предъявлялись требования по углу пикирования. Под углом пикирования понимают линию, совпадающую с вектором скорости центра масс летательного аппарата в момент встречи с целью [4]. В некоторых случаях к углу пикирования могут предъявляться требования в виде ограничений

$$\theta_{\min} < \theta_{mp} < \theta_{\max}. \quad (6)$$

Необходимость к такого рода ограничениям может быть вызвана, например, стремлением повысить вероятность преодоления рубежа объектовой ПРО. В этом случае алгоритм формирования программ управления, представленный совокупностью математических зависимостей (1)-(5), неизбежно должен учитывать ограничения (6). Решению данной задачи и посвящена настоящая работа.

Сформулируем задачу наведения с учетом ограничений (6). Начальными условиями наведения летательного аппарата являются координаты центра масс, скорость центра масс и углы ориентации вектора скорости в целевой системе координат

$$x_0, y_0, z_0, V_0, \theta_0, \psi_0. \quad (7)$$

Терминальные (конечные) условия наведения представим в виде

$$x(t_\phi) = 0, y(t_\phi) = 0, z(t_\phi) = 0, \theta_{\min} < \theta(t_\phi) < \theta_{\max}, \quad (8)$$

где t_ϕ – время встречи летательного аппарата с целью (финитное условие). Время встречи летательного аппарата не задается и может быть произвольным.

Параметрами управления зависят от схемы управления летательного аппарата [2]. В этой работе рассматривается схема управления летательного аппарата с аэродинамической формой самолетного типа. Управляющие моменты создаются рулем направления и элеронами. Такие органы управления позволяют реализовать управление полной аэродинамической силой путем координированного разворота корпуса летательного аппарата вокруг продольной оси на угол крена γ и отклонение продольной оси от вектора скорости на пространственный угол атаки α^{np} . На пространственный угол атаки наложено ограничение

$$\alpha^{np} \leq \alpha_{\max}^{np}. \quad (9)$$

Необходимо заметить, что пространственный угол атаки может принимать только положительные значения. Изменение знака подъемной силы осуществляется за счет угла крена. Угол крена – неограничен.

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

Для полноты исходных данных при решении задачи наведения к перечисленным условиям и ограничениям необходимо добавить математическую модель объекта управления. Такой математической моделью являются уравнения движения летательного аппарата, приведенные в [1, 2, 4]. Эти уравнения запишем в виде

$$\frac{dV}{dt} = -C_x \frac{\rho V^2}{2m} S_m + \frac{\xi_x}{m}, \quad (10)$$

$$\frac{d\theta}{dt} = C_y^a \frac{\rho V}{2m} S_m \alpha^{np} \cos \gamma + \frac{\xi_y}{mV}, \quad (11)$$

$$\frac{d\psi}{dt} = -C_y^a \frac{\rho V}{2m \cos \theta} S_m \alpha^{np} \sin \gamma + \frac{\xi_z}{mV}, \quad (12)$$

$$\frac{dy(t)}{dt} = V \sin \theta(t), \quad (13)$$

$$\frac{dx(t)}{dt} = V \cos \psi(t) \cos \theta(t), \quad (14)$$

$$\frac{dz(t)}{dt} = V \sin \psi(t) \cos \theta(t). \quad (15)$$

Здесь через ξ_x , ξ_y , ξ_z – обозначены составляющие внешней суммарной силы (сила тяжести, центробежная сила, кориолисова сила). Внешнюю суммарную силу целесообразно рассматривать как возмущения, действующие на летательный аппарат, включая аномалии поля земного тяготения, отклонения модели давления атмосферы от стандартной, погодные условия и т.п.

В классической постановке задачи наведения выбор программ управления осуществляется на основе решения задачи оптимального управления, т.е. нахождения таких программ, которые являются наилучшими среди множества других допустимых программ [4]. В данной работе оптимизационная задача не ставится.

Постановка задачи наведения. При заданных математической модели объекта управления (10)-(15), начальных условиях наведения (7), конечных условия наведения (8), ограничениях на параметры управления (9), требуется найти программы управления, обеспечивающие перевод летательного аппарата из начального состояния (7) в конечное (8), с точностью не менее заданной, не требующих расчета полетного задания при подготовке на пуск и реализуемых без каких-либо дополнительных условий и ограничений.

Проведем упрощение модели движения летательного аппарата. Будем считать, что текущий угол $\psi(t)$ определяющий положение векто-

ра скорости в целевой системе координат, равен углу ψ_0 , $\psi(t) = \psi_0$. В этом случае наведение летательного аппарата будет осуществляться только в вертикальной плоскости. Для простоты примем $\psi(t) = \psi_0 = 0$. Тогда уравнения движения упрощаются и принимают вид

$$\frac{dV}{dt} = -C_x \frac{\rho V^2}{2m} S_m + \frac{\xi_x}{m}, \quad (16)$$

$$\frac{d\theta}{dt} = C_y^a \frac{\rho V}{2m} S_m \alpha^{np} \cos \gamma + \frac{\xi_y}{mV}, \quad (17)$$

$$\frac{dy(t)}{dt} = V \sin \theta(t), \quad (18)$$

$$\frac{dx(t)}{dt} = V \cos \theta(t). \quad (19)$$

Рассмотрим желаемую траекторию движения летательного аппарата, удовлетворяющую терминальным условиям наведения, *рисунок 2*. Желаемая траектория содержит горизонтальный участок (маршевый) *AB*, участок разворота вектора скорости на требуемый угол *BC* и участок пикирования *CC*. Участок *BC* начинается при достижении центром масс летательного аппарата координаты x_B .

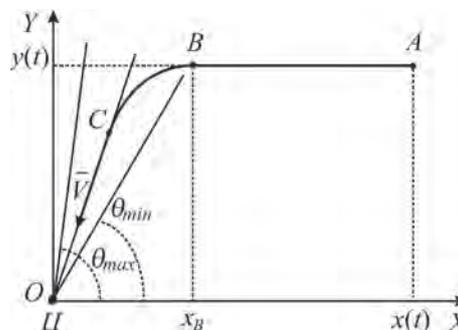


Рис. 2. Желаемая траектория летательного аппарата

Следовательно, задача наведения с заданным углом пикирования может быть сведена к определению координаты x_B при заданных характеристиках летательного аппарата C_x , C_y^a , S_m , скорости V и высоты полета – координате $y(t)$.

Решить эту задачу аналитически путем прямого интегрирования уравнений движения (16)-(19) даже для упрощенной модели не представляется возможным. Другой путь решения может быть основан на применении теории редуцированного пространства [5]. Однако и в этом случае получить аналитическую зависимость $x_B = f(\theta_{mp})$ при заданных C_x , C_y^a , S_m , m , V и $y(t)$ не удастся. Самым простым способом решения указанной выше задачи, использованным в данной

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

работе, является составление таблиц на основе численного интегрирования уравнений движения с помощью ЭВМ. В таблице 1 представлены результаты интегрирования для:

$C_x = 0,1$, $C_y^a = 0,3$, $S_m = 1 \text{ м}^2$, $m = 500 \text{ кг}$, и $V = 400 \text{ м/с}$
 $y(t) = 30 \text{ км}$.

Таблица 1
Результаты интегрирования уравнений движения

$x_B, \text{ км}$	90	85	80	75
$\theta_{mp}, \text{ град}$	37	44	60	78

Результаты интегрирования показали, что существует предельный случай для летательного аппарата с заданными характеристиками. Этот предельный случай характеризует возможности разворота вектора скорости с начального угла $q(0) = 0$ до максимально возможного при дальности до цели $x(0) = 75 \text{ км}$ и начальной высоты полета $y(0) = 30 \text{ км}$. Этот предельный угол пикирования равен $\theta_{max} = 78 \text{ град}$.

На основе данных, приведенных в таблице 1, была получена эмпирическая приближенная зависимость координаты x_B от угла θ_{mp}

для $x_B = 98 - 0,3125 \cdot \theta_{mp}$

$$40^\circ < \theta_{mp} < 75^\circ. \quad (20)$$

Таким образом, алгоритм наведения летательного аппарата, представленный математическими зависимостями (1)-(5), при заданном угле пикирования должен быть дополнен зависимостью (20).

Литература

1. Лычагов С.А. Системы управления головных частей и боевых блоков. Серпухов: ФВА РВСН, 2016. 186 с.
2. Лычагов С.А., Лычагов А.С. Наведение летательного аппарата на замыкающем участке траектории по методу линии аналитического визирования / Сборник рефератов депонированных рукописей. Серия Б. Выпуск №114. М.: ЦВНИ МО РФ, 2016. Инв. №Б8756.
3. Кузнецов О.П., Лычагов С.А., Фуров А.Н. Метод наведения летательного аппарата по линии аналитического визирования / Известия Института инженерной физики, 2016. №2(40). С. 27-29.
4. Системы управления летательными аппаратами (баллистическими ракетами и их головными частями): Учебник для вузов / Г.Н. Разоренов, Э.А. Бахрамов, Ю.Ф. Титов; Под ред. Г.Н. Разоренова. М.: Машиностроение, 2003. 584 с.
5. Кузнецов О.П., Лычагов С.А., Нестеров Е.П. Ракетное оружие на основе аэробаллистической концепции. Серпухов: СВИ РВ, 2010. 181 с.

РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ



УДК 621.396.946

МОДИФИЦИРОВАННАЯ ГРАНИЦА РАО-КРАМЕРА ДЛЯ ДИСПЕРСИИ ОЦЕНКИ ЗАДЕРЖКИ НАВИГАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ С ВОС-МОДУЛЯЦИЕЙ MODIFIED RAO-CRAMER BOUNDS FOR VARIANCE ESTIMATION DELAY OF NAVIGATION SIGNALS WITH VOC-MODULATION

Владимир Петрович Пашинцев

заслуженный работник высшей школы РФ
доктор технических наук, профессор
ведущий научный сотрудник
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов,
Большой Ударный пер. д. 1а
Тел.: +7(918)741-33-16
E-mail: pashintsevp@mail.ru

Вячеслав Анатольевич Шевченко

кандидат технических наук
военнослужащий ВС РФ

Алексей Олегович Наумов

начальник группы разработки
программного обеспечения
АО «ШЗСА»
Адрес: 429122, Чувашская Республика,
г. Шумерля, ул. Щербакова, д. 60
Тел.: +7(977)472-90-92
E-mail: naumov@pr-t.ru

Александр Дмитриевич Скорик

генеральный директор
АО «НПП Проект-Техника»
Адрес: 125362, г. Москва,
ул. Свободы, д. 35, стр. 22
Тел.: +7(929)638-63-60
E-mail: skorik@pr-t.ru

Аннотация

В статье разработана методика нахождения модифицированной границы Рао-Крамера для определения потенциальной точности оценки задержки сигналов с ВОС-модуляцией в спутниковой радионавигационной системе Galileo.

Ключевые слова: модифицированная граница Рао-Крамера, дисперсия оценки, задержка сигналов, псевдодалность, ВОС-модуляция, аддитивный белый гауссовский шум.

Summary

An approach for calculation of the Modified Rao-Cramer Lower Bound is developed for assessing the potential accuracy of the time delay estimate for Galileo VOC-modulated signals.

Keywords: modified Rao-Cramer lower bound, estimate variance, signal delay, pseudorange, VOC-modulation, additive white gaussian noise.

Известно [1-4], что для снижения межсистемной интерференции в спутниковой радионавигационной системе (СРНС) Galileo используются методы модуляции с поднесущим меандровым колебанием ВОС (Binary Offset Carrier – двоичный сдвиг несущей). Параметры ВОС-модулированного сигнала (n , m) определяют скорость следования символов дальномерного кода и символов поднесущего меандрового колебания. Они могут существенно влиять на точность измерения (оценки) задержки (запаздыва-

ния) принимаемого навигационного сигнала и определения псевдодалности до навигационного ИСЗ. Однако до настоящего времени методика вычисления погрешности (дисперсии) оценки задержки сигналов с ВОС-модуляцией в СРНС Galileo не разработана.

Известно [5, 7], что решение задачи определения потенциальной точности оценки задержки принимаемых сигналов на фоне аддитивного белого гауссова шума (АБГШ) в виде точной границы Рао-Крамера связано со значительны-

ми математическими трудностями. Для преодоления этих трудностей представляется целесообразным использовать разработанную в [8-10] модифицированную границу Рао-Крамера, которая при определенных допущениях совпадает с точной границей.

Целью статьи является разработка методики нахождения модифицированной границы Рао-Крамера для дисперсии оценки задержки навигационных сигналов с ВОС-модуляцией и различной фазировкой поднесущего колебания и установление их аналитических зависимостей от параметров модуляции (n и m).

Прежде чем приступить к решению этой задачи, на первом этапе методики определим модифицированную границу Рао-Крамера для дисперсии оценки задержки передаваемого в СРНС сигнала, комплексная огибающая которого может быть описана достаточно общим выражением в виде суммы ряда

$$\dot{s}(t) = \sum_i \dot{c}_i g(t - iT), \quad (1)$$

где \dot{c}_i – амплитуды (в общем случае комплексные) символов дальномерного кода;
 T – период их следования;
 $g(t)$ – элементарный символ дальномерного кода, для которого выполняется условие ортонормированности

$$\frac{1}{T} \int_0^T g(t - mT) g(t - nT) dt = \begin{cases} 0, & m \neq n; \\ 1, & m = n. \end{cases} \quad (2)$$

Тогда комплексную огибающую $\dot{r}(t)$ аддитивной смеси принимаемого в СРНС сигнала $\dot{s}(t, \tau, \vec{u})$ и АБГШ $\dot{n}(t)$ можно записать в виде

$$\dot{r}(t) = \dot{s}(t, \tau, \vec{u}) + \dot{n}(t) = \dot{s}(t - \tau) e^{j(2\pi f_d t + \theta)} + \dot{n}(t), \quad (3)$$

где τ – задержка комплексной огибающей принимаемого сигнала (неизвестный и подлежащий оценке параметр);

$\vec{u} = \{\dot{c}_i, f_d, \theta\}$ – вектор, состоящий из неизвестных параметров сигнала, в оценке которых нет необходимости (\dot{c}_i – амплитуды символов дальномерного кода, f_d – доплеровское смещение частоты, θ – начальная фаза).

Известно [8] выражение для модифицированной границы Рао-Крамера для дисперсии оценки задержки принимаемого сигнала на фоне АБГШ

$$\sigma_{\hat{\tau}}^2 \geq N_0 / E_{\vec{u}} \left\{ \int_0^{T_0} \left| \frac{\partial \dot{s}(t, \tau, \vec{u})}{\partial \tau} \right|^2 dt \right\}, \quad (4)$$

где N_0 – односторонняя спектральная плотность мощности некоррелированного АБГШ;

T_0 – длительность интервала наблюдения;

$E\{\cdot\}$ – оператор усреднения по неизвестным параметрам сигнала (компонентам вектора \vec{u}), в оценке которых нет необходимости.

Частную производную комплексной огибающей принимаемого сигнала $\dot{s}(t, \tau, \vec{u})$ в знаменателе (4) при передаче сигнала $\dot{s}(t)$ вида (1) можно вычислить следующим образом:

$$\frac{\partial \dot{s}(t, \tau, \vec{u})}{\partial \tau} = \frac{\partial \dot{s}(t - \tau) e^{j(2\pi f_d t + \theta)}}{\partial \tau} = \dot{s}'(t - \tau) e^{j(2\pi f_d t + \theta)}, \quad (5)$$

где

$$\dot{s}'(t - \tau) = \sum_i \dot{c}_i \frac{\partial g(t - iT - \tau)}{\partial \tau} = \sum_i \dot{c}_i p(t - iT - \tau); \quad (6)$$

$$p(t) = \frac{dg(t)}{dt}. \quad (7)$$

Квадрат модуля частной производной в знаменателе (4) с учетом (5-7) можно записать как

$$\begin{aligned} \left| \frac{\partial \dot{s}(t, \tau, \vec{u})}{\partial \tau} \right|^2 &= \left| \dot{s}'(t - \tau) e^{j(2\pi f_d t + \theta)} \right|^2 = \\ &= \left| \dot{s}'(t - \tau) \right|^2 = \left| \sum_i \dot{c}_i p(t - iT - \tau) \right|^2. \end{aligned} \quad (8)$$

Поскольку символы дальномерного кода $g(t - iT)$ удовлетворяют условию ортонормированности (2), то выражение (8) с учетом (7) сводится к виду

$$\left| \frac{\partial \dot{s}(t, \tau, \vec{u})}{\partial \tau} \right|^2 = \sum_i |\dot{c}_i|^2 p^2(t - iT - \tau). \quad (9)$$

Так как в (9) амплитуды дальномерного кода являются неизвестными и не подлежащими оценке параметрами, то операцию усреднения $E_{\vec{u}}\{\cdot\}$ в знаменателе (4) с учетом (9) можно провести следующим образом:

$$E_{\vec{u}} \left\{ \int_0^{T_0} \left| \frac{\partial \dot{s}(t, \tau, \vec{u})}{\partial \tau} \right|^2 dt \right\} = \int_0^{T_0} \left(E_c \{ |\dot{c}_i|^2 \} \right) p^2(t - iT - \tau) dt. \quad (10)$$

Считая амплитуды \dot{c}_i равновероятными и независимыми случайными величинами, результат операции усреднения амплитуды $E_c\{\cdot\}$ в правой части (10) можно записать в виде

$$E_{\vec{u}} \left\{ \int_0^{T_0} \left| \frac{\partial \dot{s}(t, \tau, \vec{u})}{\partial \tau} \right|^2 dt \right\} = \int_0^{T_0} \left(E_c \{ |\dot{c}_i|^2 \} \right) p^2(t - iT - \tau) dt. \quad (11)$$

т.е. среднего квадрата амплитуд дальномерного кода.

С учетом (11) выражение (10) можно записать в виде

$$E_c \left\{ |\dot{c}_i|^2 \right\} = C_2, \quad (12)$$

где P_2 определяется как

$$E_{\vec{u}} \left\{ \int_0^{T_0} \left| \frac{\partial s(t, \tau, \vec{u})}{\partial \tau} \right|^2 dt \right\} = E_{\vec{u}} \left\{ \int_0^{T_0} \left(\sum_i |\dot{c}_i|^2 p^2(t - iT - \tau) \right) dt \right\} = C_2 P_2. \quad (13)$$

С учетом (12) формулу (4) можно записать в виде, наиболее удобном для расчета дисперсии оценки задержки принимаемого сигнала с комплексной огибающей общего вида (1)

$$P_2 = \int_0^{T_0} p^2(t - iT - \tau) dt. \quad (14)$$

На втором этапе методики конкретизируем полученное выражение (14) модифицированной границы Рао-Крамера для случая дисперсии оценки задержки принимаемых сигналов СРНС с ВОС-модуляцией и различной фазировкой поднесущего колебания.

Для вычисления модифицированной границы Рао-Крамера для дисперсии оценки задержки по формуле (14) необходимо найти значения P_2 и C_2 для сигналов с модуляцией ВОС (m, n).

Вычислим сначала P_2 . Для этого представим элемент дальномерного кода $g(t)$ для сигнала с модуляцией ВОС(m,n) и синусной фазировкой поднесущего колебания на интервале длительности $0 \leq t \leq T_r/n$ в виде

$$\sigma_{\vec{z}}^2 \geq N_0 / E_{\vec{u}} \left\{ \int_0^{T_0} \left| \frac{\partial s(t, \tau, \vec{u})}{\partial \tau} \right|^2 dt \right\} = N_0 / C_2 P_2, \quad (15)$$

где

$$g_{\sin}(t) = \begin{cases} \sum_{k=0}^{2^m/n-1} (-1)^k \Pi\left(t - k \frac{T_r}{2m}\right), & t \in \left[0, \frac{T_r}{n}\right]; \\ 0, & t \notin \left[0, \frac{T_r}{n}\right], \end{cases} \quad (16)$$

значение T_r/n соответствует длительности элемента дальномерного кода СРНС Galileo, причем T_r принимается равным $1/1,023 \cdot 10^6$ Гц $\approx 0,9775$ мкс [4], а функция $\Pi(t)$ определяется как

$$\Pi(t) = h(t) - h\left(t - \frac{T_r}{2m}\right). \quad (17)$$

Здесь $h(t)$ – единичная ступенчатая функция Хевисайда, описываемая выражением

$$h(t) = \begin{cases} 1, & t \geq 0; \\ 0, & t < 0. \end{cases} \quad (18)$$

Выражение (15) с учетом (16-18) на интервале времени $0 \leq t \leq T_r/n$ можно записать следующим образом:

$$g_{\sin}(t) = \sum_{k=0}^{2^m/n-1} (-1)^k \left\{ h\left(t - k \frac{T_r}{2m}\right) - h\left(t - k \frac{T_r}{2m} - \frac{T_r}{2m}\right) \right\} = h(t) + \sum_{k=1}^{2^m/n-1} (-1)^k 2h\left(t - k \frac{T_r}{2m}\right) + h\left(t - \frac{T_r}{n}\right). \quad (19)$$

Производная по времени выражения (19) определяет в соответствии с (7)

$$p(t) = dg(t)/dt$$

и описывается согласно (18) как

$$p_{\sin}(t) = \frac{dg_{\sin}(t)}{dt} = \delta(t) + \sum_{k=1}^{2^m/n-1} (-1)^k 2\delta\left(t - k \frac{T_r}{2m}\right) + \delta\left(t - \frac{T_r}{n}\right). \quad (20)$$

Здесь $\delta(t)$ – дельта функция Дирака

$$\delta(t) = \begin{cases} \infty, & t = 0; \\ 0, & t \neq 0, \end{cases} \quad (21)$$

причем выполняются соотношения

$$\frac{dh(t)}{dt} = \delta(t), \quad h(t) = \int_{-\infty}^t \delta(\lambda) d\lambda. \quad (22), (23)$$

Квадрат (20) определяется как

$$p_{\sin}^2(t) = \left(\frac{dg_{\sin}(t)}{dt} \right)^2 = \delta(t) + \sum_{k=1}^{2^m/n-1} 4\delta\left(t - k \frac{T_r}{2m}\right) + \delta\left(t - \frac{T_r}{n}\right). \quad (24)$$

Применяя к (24) операцию интегрирования на интервале наблюдения $0 \leq t \leq T_r/n$ и учитывая периодичность $g_{\sin}(t)$ вместе с (18) и (23), значение P_2 для функции вида (19) определяется как

$$P_{2 \sin} = \int_0^{T_0} p_{\sin}^2(t) dt = \int_0^{T_0} \left(\frac{dg_{\sin}(t)}{dt} \right)^2 dt = 4 \left(2 \frac{Lm}{n} - 1 \right) + 2 = 8L \frac{m}{n} - 2. \quad (25)$$

где $L=T_0/T$ – число элементов дальномерного кода длительностью T на интервале наблюдения T_0 .

Теперь определим согласно (11) значение C_2 . Значения \dot{c}_i для ВОС-модулированных сигналов не имеют мнимой части, т.е. $\text{Im}(\dot{c}_i)=0$, а действительная часть $\text{Re}(\dot{c}_i)$ символов \dot{c}_i принимает значения из множества $\{\pm A\}$, где A – амплитуда символов дальномерного кода. Считая символы c_i равновероятными и независимыми, значение C_2 вычисляется как $C_2=A^2$.

С учетом (25) выражение (14) можно записать как

$$\sigma_{\dot{c},\sin}^2 \geq N_0/C_2 P_{2,\sin} = N_0 / \left[A^2 \left(8L \frac{m}{n} - 2 \right) \right]. \quad (26)$$

Так как передаваемый сигнал (1) имеет постоянную огибающую, то (26) можно преобразовать к виду

$$\sigma_{\dot{c},\sin}^2 \geq T_r / \left[\frac{2E_s}{N_0} n \left(8 \frac{T_0}{T_r} m - 2 \right) \right]. \quad (27)$$

где $E_s=A^2 T_r/2n$ – энергия символа дальномерного кода.

Таким образом, модифицированная граница Рао-Крамера для дисперсии оценки задержки навигационных сигналов с модуляцией ВОС(m,n) и синусной фазировкой поднесущего колебания определяется выражением (27).

Для ВОС-модулированных сигналов с косинусной фазировкой поднесущего колебания $g(t)$ по аналогии с (15) можно записать в виде

$$g_{\cos}(t) = \begin{cases} \sum_{k=0}^{2^m/n-1} (-1)^k \Gamma \left(t - k \frac{T_r}{2m} \right), & t \in \left[0, \frac{T_r}{n} \right]; \\ 0, & t \notin \left[0, \frac{T_r}{n} \right], \end{cases} \quad (28)$$

где

$$\Gamma(t) = \begin{cases} 1, & t \in \left[0, \frac{T_r}{4m} \right]; \\ -1, & t \in \left[\frac{T_r}{4m}, \frac{T_r}{2m} \right]; \\ 0, & t \notin \left[0, \frac{T_r}{2m} \right]. \end{cases} \quad (29)$$

Воспользовавшись (18), функцию $\Gamma(t)$ на интервале времени $0 \leq t \leq T_r/n$ можно представить в виде, аналогичном (17)

$$\Gamma(t) = h(t) - 2h \left(t - \frac{T_r}{4m} \right) + h \left(t - \frac{T_r}{2m} \right). \quad (30)$$

Подставив (30) в (28), получим выражение, аналогичное по виду (19)

$$g_{\cos}(t) = \sum_{k=0}^{2^m/n-1} (-1)^k \left\{ h \left(t - k \frac{T_r}{2m} \right) - 2h \left(t - k \frac{T_r}{2m} - \frac{T_r}{4m} \right) + h \left(t - k \frac{T_r}{2m} - \frac{T_r}{2m} \right) \right\} = h(t) + \sum_{k=0}^{2^m/n-1} (-1)^{k+1} 2h \left(t - \frac{(2k+1)T_r}{4m} \right) - h \left(t - \frac{T_r}{n} \right) \quad (31)$$

В соответствии с (22) производную (31) по времени можно записать аналогично (20)

$$p_{\cos}^2(t) = \left(\frac{dg_{\cos}(t)}{dt} \right)^2 = \delta(t) + \sum_{k=1}^{2^m/n} (-1)^{2(k+1)} 4\delta \left(t - \frac{(2k+1)T_r}{4m} \right) + \delta \left(t - \frac{T_r}{n} \right), \quad (32)$$

а квадрат выражения (32) – аналогично (24)

$$p_{\cos}^2(t) = \left(\frac{dg_{\cos}(t)}{dt} \right)^2 = \delta(t) + \sum_{k=1}^{2^m/n} (-1)^{2(k+1)} 4\delta \left(t - \frac{(2k+1)T_r}{4m} \right) + \delta \left(t - \frac{T_r}{n} \right). \quad (33)$$

Применяя к (33) операцию интегрирования на интервале наблюдения $0 \leq t \leq T_r/n$ и учитывая периодичность $g_{\cos}(t)$ вместе с (18) и (23), значение P_2 для функции вида (31) определяется как

$$P_{2,\cos} = \int_0^{T_0} p_{\cos}^2(t) dt = \int_0^{T_0} \left(\frac{dg_{\cos}(t)}{dt} \right)^2 dt = 4 \cdot 2 \frac{Lm}{n} + 2 = 8L \frac{m}{n} + 2. \quad (34)$$

В результате подстановки (34) в (14) получим выражение для дисперсии оценки задержки навигационных сигналов с модуляцией ВОС(m,n) и косинусной фазировкой поднесущего колебания

$$\sigma_{\dot{c},\cos}^2 \geq T_r / \left[\frac{2E_s}{N_0} n \left(8 \frac{T_0}{T_r} m + 2 \right) \right]. \quad (35)$$

Для сравнения полученных выражений (27) и (35) для потенциальной точности измерения времени задержки навигационных сигналов с ВОС модуляцией и традиционно используемых в СРНС GPS/ГЛОНАСС сигналов с модуляци-

ей BPSK-R (бинарной фазовой манипуляцией) представим их функцию $g_B(t)$ в следующем виде:

$$g_B(t) = \Pi(t) = \begin{cases} 1, & t \in [0, T_r); \\ 0, & t \notin [0, T_r). \end{cases} \quad (36)$$

Воспользовавшись (18), выражение (36) можно записать как

$$g_B(t) = h(t) - h(t - T_r). \quad (37)$$

Производная по времени (37) описывается выражением

$$dg_B(t)/dt = \delta(t) - \delta(t - T_r). \quad (38)$$

Интегрируя квадрат (38) на интервале $0 \leq t \leq T/n$ и принимая $T - Tr$, а так же учитывая периодичность $g_B(t)$ вместе с (18) и (23) получим значение P_{2B}

$$P_{2B} = \int_0^{T_0} p_B^2(t) dt = \int_0^{T_0} \left(\frac{dg_B(t)}{dt} \right)^2 dt = 2 \frac{T_0}{T_r}. \quad (39)$$

Подставляя (39) в (14), получим

$$\sigma_{\xi, B}^2 \geq N_0 / C_2 P_2 = N_0 / \left[A^2 \cdot 2 \frac{T_0}{T_r} \right] = T_r^2 / \left[\frac{4E_s}{N_0} T_0 \right]. \quad (40)$$

Из сравнения (27) и (35) видно, что при достаточно больших значениях величины mT_0/t_r при прочих равных условиях

$$\sigma_{\xi, \sin}^2 \approx \sigma_{\xi, \cos}^2 \approx \sigma_{\xi, BOC}^2 = T_r^2 / \left[\frac{16E_s}{N_0} T_0 mn \right]. \quad (41)$$

Подставляя (40) в (42) получим

$$\sigma_{\xi, BOC}^2 = \sigma_{\xi, B}^2 / 4mn. \quad (42)$$

На *рисунке 1* в соответствии с полученными выражениями (40), (35) и (27) построены зависимости среднеквадратического отклонения (СКО) оценки псевдодальности

$$\sigma_{\hat{R}} = c\sigma_{\xi}$$

(где c – скорость света в вакууме) в СРНС от отношения сигнал/шум (E_s/N_0) для сигналов с модуляцией BOC(10,1), BOC(1,1) и традиционной модуляцией BPSK-R при типовых значениях длительностей $T_0 = 10^{-3}$ с и $T_r = 0,9775$ мкс.

Анализ графиков на *рисунке 1* показывает, что применение сигналов с BOC(1,1)-модуляцией по сравнению с BPSK-R позволяет на 6 дБ снизить требуемое отношение сигнал/шум E_s/N_0 на входе приемника СРНС с сохранением точности оценки псевдодальности ($c \cdot \sigma_{\xi} = const$) или же при $E_s/N_0 = const$ повысить точность определения псевдодальности в 2 раза. Применение сигналов с BOC(10,1)-модуляцией по сравнению с BPSK-R за счет увеличения в 10 раз скорости следования символов поднесущего меандрового колебания (m) позволяет на 16 дБ снизить требуемое отношение сигнал/шум (E_s/N_0) с сохранением точности оценки псевдодальности ($c \cdot \sigma_{\xi} = const$) или же при фиксированном отношении E_s/N_0 в 6,5 раз повысить точность оценки псевдодальности. Точность оценки для синусной и косинусной фазировок поднесущего колебания на достаточно большом интервале наблюдения (когда значение mT_0/t_r достаточно велико) практически одинакова.

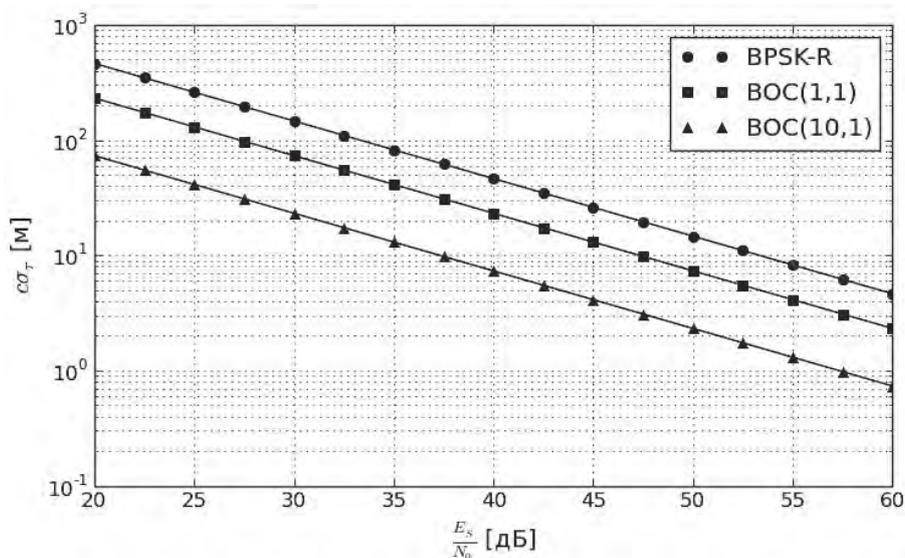


Рис. 1. Зависимость СКО оценки псевдодальности ($\sigma_{\hat{R}} = c\sigma_{\xi}$) в СРНС от отношения сигнал/шум для сигналов с модуляцией BOC(10,1), BOC(1,1) и BPSK-R

Выводы

Разработана методика, позволяющая для навигационных сигналов, представленных в виде суммы ряда (1), получить простое аналитическое выражение (14) для модифицированной границы Рао-Крамера для дисперсии оценки времени задержки навигационных сигналов.

На основе представления элементарного символа дальномерного кода (15) и (28) в виде суммы функций Хевисайда (18) полученное выражение (14) конкретизировано для ВОС-модулированных сигналов с параметрами m и n при синусной и косинусной фазировках поднесущего колебания в виде выражений (27) и (35) соответственно.

Установлено, что наличие в структуре сигнала поднесущего меандрового колебания даже для самого простого рассмотренного случая модуляции ВОС(1,1), когда $m=1$ и $n=1$, позволяет повысить точность местоопределения в 2 раза. В свою очередь, десятикратное увеличение скорости следования символов поднесущего меандрового колебания для сигналов с модуляцией ВОС(10,1), когда $m=10$ и $n=1$, обеспечивает повышение точности оценки псевдодальности в 6,5 раз. При этом, точность оценки для синусной и косинусной фазировок поднесущего колебания ВОС-модуляции практически одинакова.

Литература

1. Betz J.W. Binary Offset Carrier Modulations for Radionavigation // NAVIGATION, Journal of The Institute of Navigation, Vol. 48, No. 4, Winter 2001-2002, P. 227-246.
2. Betz J.W. Goldstein D.B. Candidate Designs for an Additional Civil Signal in GPS Spectral Bands. Proceedings of the Institute of Navigation // National Technical Meeting, 2002, ION-NTM-2002, Institute of Navigation, January 2002, 10 p.
3. Avila-Rodriguez H.-A. The MBOC Modulation. A final Touch for the Galileo Frequency and Signal Plan // Inside GNSS. September/October 2007. P. 43-58.
4. Betz J.W. Global Navigation Satellite Systems, Signals and Receivers. New Jersey: Wiley. 2016. 671 p.
5. Ван-Трис Г. Теория обнаружения, оценок и модуляции. Том 1. М: Советское радио. 1972. 744 с.
6. Пашинцев В.П. Влияние частотно-селективных замираний на измерение времени запаздывания сигналов систем космической связи // Радиотехника и электроника. Том 43. №4. 1998. С. 410-414.
7. Пашинцев В.П., Жук А.П., Сазонов В.В. Влияние боковых пиков корреляционных функций широкополосных сигналов на помехоустойчивость их приема в двухлучевых каналах связи // Известия института инженерной физики, 2008. №3(9). С. 49-52.
8. Mengali U. Synchronization Techniques for Digital Receivers. New York, Plenum Press, 1997. 529 p.
9. D'Andrea A. The Modified Cramer-Rao Bound and Its Application to Synchronization Problems // IEEE Transactions on Communications Vol. 42(1): 52-60 February 1994, P. 1391-1399.
10. Gini F. The Modified Cramer-Rao Bound in Vector Parameter Estimation // IEEE Transactions on Communications, Vol. 46, No.1, January, 1998, P. 52-60.

РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

УДК 530.1: 621.395: 621.397.13

ОСОБЕННОСТЬ ПРОЯВЛЕНИЯ ФРАКТАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УТРАИВАЮЩИХСЯ ПЕРИОДОВ В ТЕЛЕВЕЩАНИИ И МОБИЛЬНОЙ ТЕЛЕФОНИИ

FEATURE OF PRESENTATION OF FRACTAL SYSTEM OF TRIPLED PERIODS IN TELEVISION AND MOBILE TELEPHONY

Валерий Александрович Коломбет

кандидат физико-математических наук
заведующий лабораторией
Институт теоретической и экспериментальной
биофизики РАН
Адрес: 142290, Московская обл., г. Пущино,
ул. Институтская, д. 3
Тел.: +7(4967)73-94-64 E-mail: kolombet@iteb.ru

Вадим Николаевич Лесных

младший научный сотрудник
Институт теоретической и экспериментальной
биофизики РАН
Адрес: 142290, Московская обл., г. Пущино,
ул. Институтская, д. 3
Тел.: +7(4967)73-94-64

Евгений Валерьевич Коломбет

младший научный сотрудник
Институт теоретической и экспериментальной
биофизики РАН
Адрес: 142290, Московская обл., г. Пущино,
ул. Институтская, д. 3
Тел. +7(4967)73-94-64

Аннотация

Статья посвящена актуальным проблемам телевидения и мобильной телефонии. В ней описываются наблюдаемые как в распределениях частот программ телевидения, так и в распределении частот, используемых в мобильной телефонии, специфические «отталкивания» от частот, соответствующих фрактальной системе утраивающихся периодов. Для множества других явлений, в том числе работы компьютерных процессоров, характерно, наоборот, «притяжение» к периодам этого фрактала.

Ключевые слова: дискретный спектр частот, утроение частоты, фрактальная система утраивающихся периодов, частоты телевидения, частоты мобильных телефонов, тактовая частота компьютерного процессора.

Summary

The article is devoted to actual problems of television and mobile telephony. It describes the specific «repulsion» from the frequencies corresponding to the fractal system of tripled periods for the observed frequency distributions both of TV programs and mobile telephony. To the contrary, it is «attraction» to periods of this fractal is found for a variety of other events, including the work of computer processors.

Keywords: discrete frequency spectrum, frequency tripling, fractal system of tripled periods, the frequency of broadcasting, frequency of mobile phones, the clock speed of the computer processor.

В последние годы появилась серия работ, посвященная обнаружению ([1], ср. с [2]) и подтверждениям (см. [3–6]) существования в природе т.н. фрактальной системы утраивающихся периодов (ФСУП). Спектр периодов ФСУП описывается формулой

$$T_{n,k} = 114.6 \cdot 3^k / n \text{ лет}, \quad (1)$$

где $n = 1$ и 2 , а целочисленный параметр k рас-

полагается в диапазоне, по крайней мере, от минус 40 до плюс 15 (рисунки 1). Отношение максимального найденного периода ФСУП к минимальному составляет 3^{55} , что близко к 10^{25} .

Иллюстрируя важность ФСУП для технических приложений, можно привести, например, распределение (в данном случае сглаженную гистограмму) частот современных – уже довольно

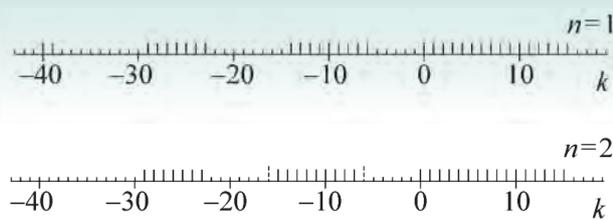


Рис. 1. Спектр обнаруженных периодов ФСУП. Масштаб логарифмический.

далеко проэволюционировавших, испытавших своеобразный естественный отбор – компьютерных процессоров Intel [7]. На *рисунке 2* видна близость средних тактовых частот двух пиков к частотам $1/T_{1,39}$ и $1/T_{1,40}$; в каждом из пиков средняя частота попадает в 99%-ный доверительный интервал [6]. Ту же картину дают распределения тактовых частот процессоров видеокарт [8] и процессоров AMD [9] (*рисунке 3*).

Важно отметить, что эмпирическая формула (1), полученная при описании периодических процессов с $k=0 \div 15$, оказалась точной даже для $k=-40$. Это видно из сравнения правых пиков на *рисунках 2* и *3*: расчётные значения центров пиков, помеченные вертикальными сплошными линиями, всё ещё находятся между штриховыми – экспериментальными значениями; изменение масштабов ФСУП на 20 десятичных порядков несколько не повлияло на точность предсказания положений пиков. Таким образом, не происходит «смещений фазы» периодического в логарифмическом масштабе явления; т.е. периодичность на *рисунке 1* соблюдается очень стро-

го. Это, по сути, 55 математически точных последовательных утроений периодов всевозможных астрономических, геофизических, биофизических, биологических и технических периодических процессов.

Экстраполируя в область более высоких частот (см. *рисунке 1*, резюмирующий достигнутое на сегодняшний день) естественно предположить, что новые технологические находки приведут к созданию процессора с тактовой частотой близкой к 10 ГГц. Иными словами, можно ожидать резкого скачка из уже освоенной области 3-4 ГГц сразу в окрестность тактовой частоты $1/T_{1,41} = 10$ ГГц. Промежуточные тактовые частоты процессоров бесперспективны [5].

Пример с процессорами подсказывает, насколько неожиданными могут оказаться проявления частот $1/T_{n,k}$. Поскольку в последние десятилетия резко усилилось применение электромагнитных волн УВЧ диапазона в бытовых приборах (появились микроволновые печи и мобильные телефоны), то среди прочего, это ставит вопрос защиты здоровья человека от потенциально вредного микроволнового излучения. Хотя известно, что наблюдаемое биологическое действие не очень больших доз микроволнового излучения самых разных длин волн в основном тепловое, тем не менее, обнаруженные особенные частоты $1/T_{n,k}$ можно пытаться рассматривать как возможный источник острой альтернативы этой спокойной картине. После скрупулёзного изучения биологического действия частот $1/T_{n,k}$ вполне может оказаться, что они представляют собой ка-

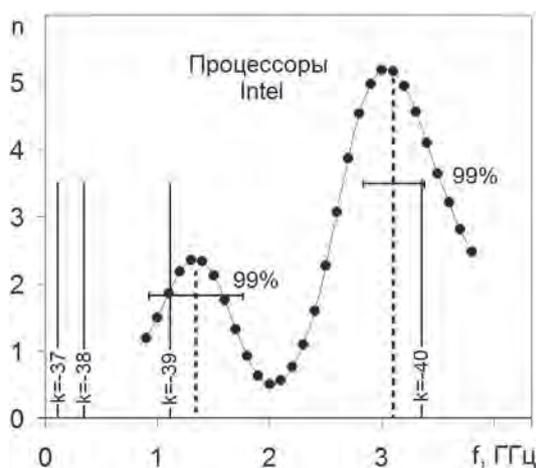


Рис. 2. Сглаженная гистограмма тактовых частот компьютерных процессоров фирмы Intel (исходные данные для построения этого рисунка взяты из Википедии [7]). Центры пиков гистограммы (штриховые линии) фактически совпадают с $1/T_{1,39}$ и $1/T_{1,40}$ (сплошные вертикальные линии).

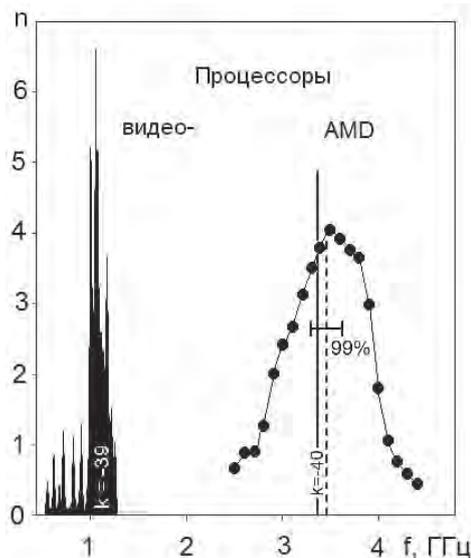


Рис. 3. Сглаженные гистограммы тактовых частот процессоров видеокарт и процессоров фирмы AMD в совокупности повторяют сглаженную гистограмму, изображенную на *рисунке 2*

РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

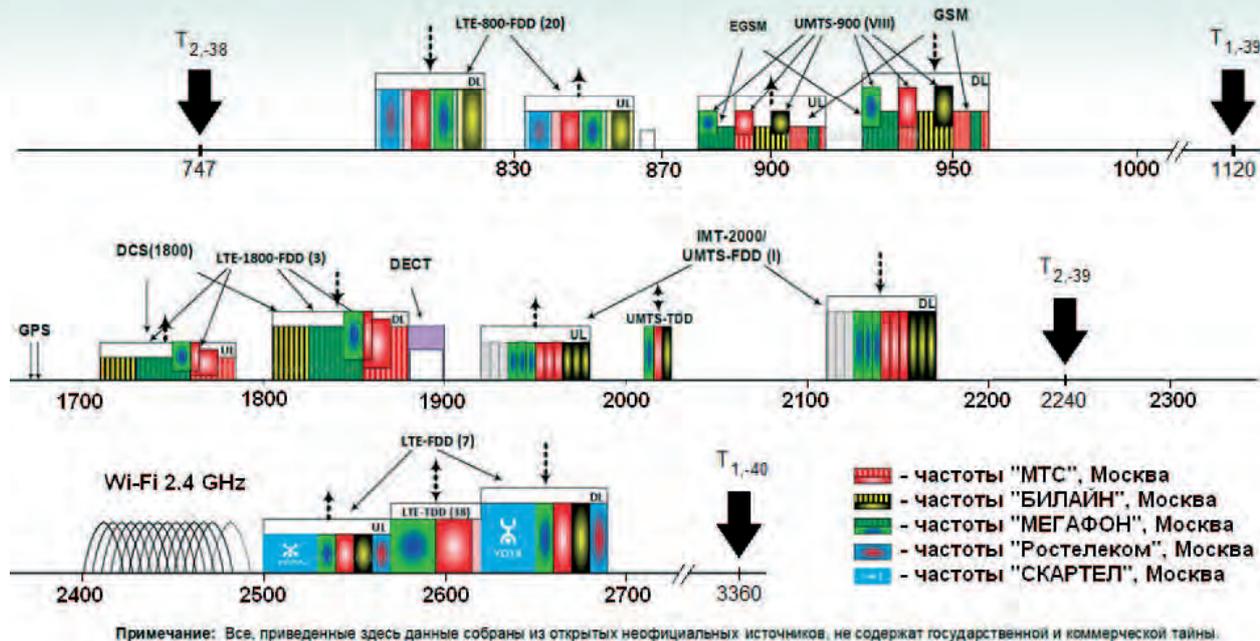


Рис. 4. Области рабочих частот мобильных телефонов [10] лежат вдали от частот, соответствующих периодам ФСУП

налы для эффективных «резонансных» физиотерапевтических и прочих воздействий.

Таких «резонансных» воздействий от микроволновых печей ожидать, по-видимому, не приходится, т.к. стандартные частоты микроволновой печи 2450 МГц (а также 2495 МГц), выбранные для обеспечения быстрого нагрева воды, достаточно далеки от ближайших частот фрактала утраивающихся периодов $1/T_{2,-39} = 2240$ МГц и $1/T_{1,-40} = 3360$ МГц.

Микроволновое излучение мобильного телефона занимает серию полос частот в диапазоне от 800 до 2700 МГц; но при этом оказались незаня-

тыми как окрестности 960–1700 МГц «резонансной» частоты $1/T_{1,-39} = 1120$ МГц, так и окрестности 2170 – 2400 МГц «резонансной» частоты $1/T_{2,-39} = 2240$ МГц (рисунком 4). «Резонансных» воздействий здесь ожидать тоже не приходится. Области частот, занятых мобильной телефонией, словно отталкиваются от частот $1/T_{n,k}$, избегают их.

Замечательно, что тот же «эффект отталкивания» наблюдается в распределении частот, занятых телевизионными каналами (рисунки 5, 6).

Как видно из рисунков 5 и 6, частоты телевизионных каналов группируются, причем так, что

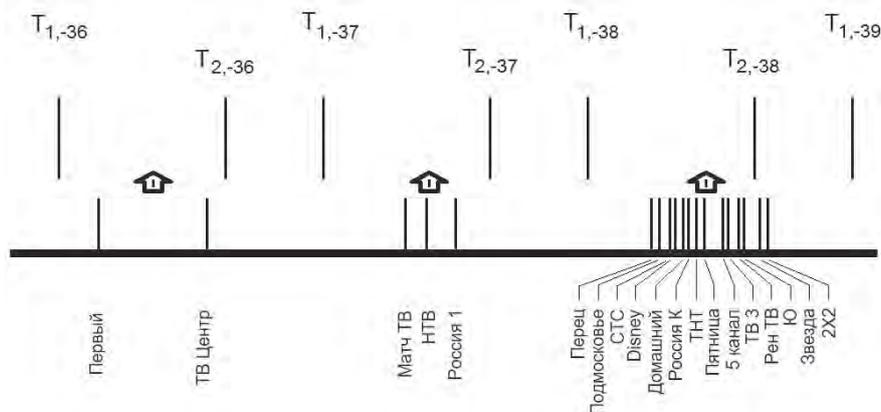


Рис. 5. Частоты 19 бесплатных каналов эфирного телевидения, транслируемых из Останкино (по [11]), образуют три группы, в среднем тяготеющие к большим промежуткам между частотами $1/T_{n,k}$

РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

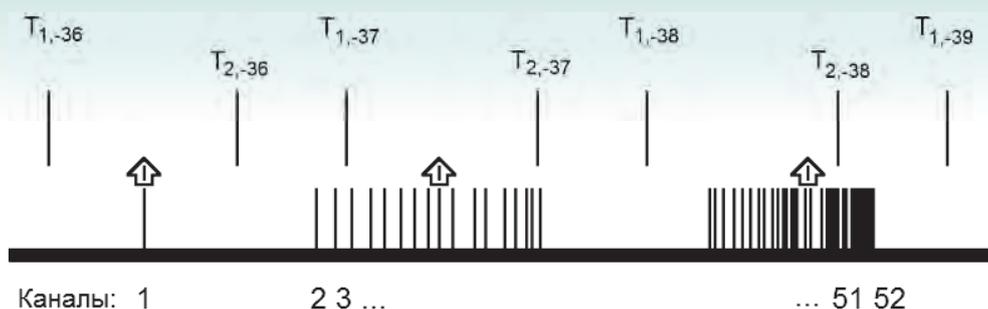


Рис. 6. Частоты каналов ТВ Москвы Ростелеком с 25 августа 2015 года [12]. (Каналы теперь упорядочены по их значимости: по охвату населения, по стоимости минуты рекламы и пр.). См. также *таблицу 1*.

средние частоты, т.е. центры групп частот телевизионных каналов (см. вертикальные стрелки на *рисунках 5 и 6*) утраиваются в соответствии с периодичностью ФСУП, и при этом, как и в мобильной телефонии, тяготеют к центрам больших интервалов между периодами ФСУП., т.е. стремятся максимально удалиться от всей системы частот $1/T_{n,k}$.

Смещение (см. *рисунки 5 и 6*) третьей (правой) группы частот телевизионных каналов вправо от центра интервала между частотами $1/T_{1,-38}$ и $1/T_{2,-38}$ может быть связано с относительно малой ролью каналов, имеющих большие номера, т.е. дешевых, малозначимых каналов. Действительно, при любом вычислении среднего значения используется представление о весе (значимости) слагаемых. Обнаруженное в третьей группе смещение средней частоты возникло при предположении о равном весе слагаемых. Учет уменьшения веса канала с ростом его номера при больших номерах каналов (см. *таблицу 1*) может легко ликвидировать это смещение.

Таким образом, частоты телевидения и мобильной телефонии отчетливо избегают частот ФСУП. Это может быть обусловлено, например, проигранной конкуренцией с настроенными на частоты ФСУП важными техногенными процессами или процессами природного происхождения.

Литература

1. Puetz Stephen J., Prokoph Andreas, Glenn Borchardt, Mason Edward W. Evidence of synchronous, decadal to billion year cycles in geological, genetic, and astronomical events // *Chaos, Solitons & Fractals*. 2014. Vol. 62-63. P. 55-75.
2. Muller H. Fractal scaling models of resonant oscillations in chain systems of harmonic oscillators // *Progress in physics*. 2009. Vol. 2. P. 72-76.
3. Бондарь А.Т., Федоров М.В., Коломбет В.А. Утраивающиеся периоды в мультимасштабных физических и биологических явлениях // *Биофизика*, 2015. №60(6). С. 1208-1215.
4. Коломбет В.А., Лесных В.Н., Коломбет Е.В. О перспективе применения фундаментальной системы утраивающихся периодов в мультимасштабных

Таблица 1

Дополнение к *рисунку 6*: расшифровка номеров каналов ТВ Москвы Ростелеком [12]

Номер	Канал	Номер	Канал	Номер	Канал	Номер	Канал
1	Первый	14	Домашний	27	СТС Love	40	Феникс +
2	Россия 1	15	ТВ 3	28	24 Shop	41	TLC
3	Матч ТВ	16	Пятница	29	Дисней	42	Рус. кино
4	НТВ	17	Звезда	30	Ю	43	24_Doc
5	5 канал	18	Мир	31	Доверие	44	TV 1000
6	Россия К	19	ТНТ	32	RU TV	45	Comedy
7	Россия 24	20	Муз ТВ	33	Москва 24	46	Спорт +
8	Карусель	21	Тор Шор	34	EuroNews	47	*
9	ОТР	22	Че	35	360	48	Парк
10	ТВ Центр	23	Шопинг	36	Discovery	49	Мир Животн.
11	Рен ТВ	24	2x2	37	Animal	50	24 Техно
12	Спас	25	РБК	38	Моя планета	51	Sony
13	СТС	26	LifeNews	39	EuroSport	52	Мама

РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

технических устройствах // Известия Института инженерной физики, 2016. №1(39). С. 8-11.

5. Коломбет В.А., Коломбет Е.В., Лесных В.Н. Предсказание тактовой частоты процессора будущего поколения компьютеров как пример эффективности использования в технике свойств фрактальной системы утраивающихся периодов // Известия Института инженерной физики, 2016. №2(40). С. 55-58.

6. Коломбет В.А., Лесных В.Н., Коломбет Е.В., Федоров М.В. Обнаружение в технических устройствах фрактальной системы утраивающихся периодов, известной по своим физическим, геофизическим,

биофизическим и биологическим манифестациям // Биофизика, 2016. 61(3). С. 615-624.

7. https://ru.wikipedia.org/wiki/Маркировка_процессоров_фирмы_Intel

8. <https://market.yandex.ru/catalog/55314/list?hid=91031&exc=1&how=dpop&page=1>

9. http://monitor.ykt.ru/index.php?show_aux_page=6

10. <http://www.exclusive-comfort.ru/udata/image/mobile-frequency/new/>

11. <http://dr-krupnik.ru/Antenna/jefirnie-kanaly.html>

12. <http://dr-krupnik.ru/Antenna/spisok-televisionnyh-kanalov.html>

УДК 621.396

АЛГОРИТМ КОДОВОГО УПЛОТНЕНИЯ СКРЫТЫХ КАНАЛОВ С УЧЕТОМ ПРИОРИТЕТОВ АБОНЕНТОВ

ALGORITHM OF CODE CONSOLIDATION OF THE HIDDEN CHANNELS WITH THE ACCOUNT PRIORITIES OF SUBSCRIBERS

Кирилл Юрьевич Цветков

доктор технических наук, профессор
начальник кафедры Сетей и систем связи
космических комплексов
Военно-космическая академия
имени А.Ф. Можайского
Адрес: 197198, Санкт-Петербург,
Ждановская наб., д. 13
Тел.: +7(911)947-19-58
E-mail: wavelet3@yandex.ru

Анатолий Александрович Ерунов

адъюнкт кафедры Сетей и систем связи
космических комплексов
Военно-космическая академия
имени А.Ф. Можайского
Адрес: 197198, Санкт-Петербург,
Ждановская наб., д. 13
Тел.: +7(911)289-22-05

Евгения Сергеевна Абазина

кандидат технических наук
преподаватель кафедры Сетей и систем связи
космических комплексов
Военно-космическая академия
имени А.Ф. Можайского
Адрес: 197198, Санкт-Петербург,
Ждановская наб., д. 13
Тел.: +7(911)794-44-92
E-mail: e.s.abazina@yandex.ru

Аннотация

Представлены основные понятия цифровой стеганографии, определение приоритетов абонентов и рассматриваемые категории срочности. Описан алгоритм кодирования скрытых каналов с учетом приоритетов абонентов при использовании двумерных шумоподобных сигнальных конструкций Франка-Крестенсона, который определяет порядок выполнения операций при выборе и подготовке контейнера, организации уплотненного скрытого канала и выделения сформированных каналов в соответствии с приоритетом абонентов. Изложены и формализованы основные действия, выполняемые на каждом из этапов.

Ключевые слова: скрытые каналы, видеоданные, стандарты сжатия JPEG, MPEG-2, стеганография, категории срочности, приоритет абонентов.

Summary

There are basic concepts of digital steganography and definition of priorities of subscribers and promptness categories in the article. The algorithm of code consolidation of the hidden channels with the account priorities of subscribers is described. It uses two-dimensional noise-type signal constructions of Frank-Krestenson. The order of performance of operations at a choice and preparation of the container, the organisation of the condensed hidden channel and allocation of the generated channels according to a priority of subscribers is defined here. The basic actions which are carried out on each of stages are performed and formalized.

Keywords: hidden channels, video data, standards of compression JPEG, MPEG-2, steganography, promptness categories, a priority of subscribers.

В современный век развития и глобального распространения мультимедийных технологий, появления и использования новых способов передачи данных, как никогда остро стоит вопрос о безопасности данных, хранящихся в цифровом виде и передаваемых по инфокоммуникационным сетям. Данная задача послужила новым импульсом к модернизации стеганографических методов.

Одним из наиболее перспективных и востребованных направлений в условиях развития компьютерных технологий современности, является внедрение и передача скрываемой информации в некоторый непривлекающий внимания объект, который принято называть контейнером [1, 2]. При этом основным требованием для осуществления скрытой передачи является сохранения хорошего качества того объекта, в который осуществляется вложение. Присутствие же дополнительной информации не должно быть обнаружено. Такие файлы принято называть стегоконтейнерами, то есть заполненными контейнерами. В дальнейшем стегоконтейнер может открыто храниться либо передаваться по незащищенным каналам связи. Для вложения и извлечения скрытой информации в различные файлы используются стegosистемы.

Большинство современных стegosистем, информация о которых находится в открытом доступе [1, 2], ориентированы на организацию не более одного скрытого канала в одном контейнере. При этом под скрытым каналом понимают процесс обмена информацией, вкладываемой в контейнер без демаскирующих признаков, между парой абонентов. Очевидна перспективность исследований в направлении увеличения числа таких каналов в структуре контейнера.

Естественным развитием метода кодового уплотнения скрытых каналов видеопотоке являются исследования, направленные на возможность управления скрытой пропускной способностью стегоканала, а также распределения ее между абонентами с учетом их приоритета в обслуживании. Введение приоритетов при распределении скрытой пропускной способности уплотненного канала между абонентами позволит улучшить показатели своевременности доставки скрываемых сообщений.

Основным противоречием, с которым сталкиваются разработчики методов скрытой передачи в интересах нескольких пар абонентов, является противоречие между скрытностью, пропускной способностью и помехоустойчивостью скрываемых данных [3, 4].

Разрешить выявленное противоречие возможно за счет применения кодового уплотнения

скрываемых данных. С этой целью, а также для обеспечения скрытности встраивания предлагается использовать такие сигнальные конструкции, которые бы отвечали ряду требований, а именно:

- возможность формирования большого набора ортогональных сигнальных конструкций путем операций сдвига или обобщенного способа редесимации;

- относительная простота формирования конструкции,

- отсутствие нулевых спектральных коэффициентов ни в одном из известных мультипликативных базисов;

- наличие ярко выраженных блочно-структурных свойств внутри периода шумоподобной сигнальной конструкции;

- хорошие авто- и взаимокорреляционные свойства внутри набора сигнальных конструкций.

Исследования, проведенные в работах [3-6], позволили в качестве исходных сигнальных конструкций для формирования уплотненного скрытого канала выбрать следующие: М-последовательность, сигнальные конструкции Уолша, упорядоченные по Адамару (У-А); сигнальные конструкции Франка-Уолша (Ф-У), сигнальные конструкции Франка-Крестенсона (Ф-К). Их выбор обоснован наиболее равномерными спектральными характеристиками в соответствующих базисах и определяется показателем дельта-корреляции, который принимает значение, равное единице для спектров без нулевых составляющих, с амплитудой, равной по модулю единице. Сформированные на основе выбранных сигнальных конструкций матрицы ортогональных сигналов в работе называют двумерными шумоподобными сигнальными конструкциями (ДШСК).

В качестве контейнера, в который осуществляется встраивание формируемого уплотненного скрытого канала выбраны видеоданные форматов MPEG-2, JPEG, что определяется их значительной психовизуальной избыточностью. Алгоритм кодового уплотнения скрытых каналов в видеоданных с учетом приоритетов абонентов определяет порядок выполнения операций при выборе и подготовке контейнера, организации уплотненного скрытого канала и выделении сформированных каналов в соответствии с приоритетом абонентов. Кроме того в алгоритме конкретизированы выполняемые операции.

В работе под приоритетом понимают классификационную группировку абонентов (должностных лиц) или содержания сообщений в цепях определения очередности предоставле-

РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

ния абонентам каналов связи или передачи сообщений.

Для учета существующей системы приоритетов необходимо выполнение операций, состоящих в определении вида передаваемой по скрытым каналам информации и установлении ее приоритета.

На первом этапе поступающие от абонентов сообщения, требующие сокрытия, классифицируются на телеграфные (или передача данных) и на телефонные (речевые). При этом сообщениям присваивается двухбитовый маркер: 00 – для речевых сообщений, 10 – телеграфных и передачи данных. Эта операция выполняется, во-первых, с целью обеспечения необходимого качества обслуживания для каждого вида информации, во-вторых, для обеспечения возможности дальнейшей классификации сообщений по приоритетам.

На втором этапе скрываемым сообщениям присваивается маркер в соответствии с возможным приоритетом для данного вида данных. Длина маркера в этом случае неравномерна и тем больше, чем ниже приоритет в обслуживании. Кроме того, для каждого из видов передаваемых скрытно сообщений заблаговременно формируется матрица маркеров приоритета. Для телеграфных сообщений и передачи данных такая матрица включает 5 групп и представлена в *таблице 1*.

Для речевых сообщений значение маркера приоритета предполагает учет приоритета по сигналу «Монолит», паролям «Воздух», «Самолет», категориям «Вне всякой очереди», «В первую очередь», «Во вторую очередь», «В общую очередь», что отражено в таблице 2.

В отличие от привычного порядка обслуживания абонентов по приоритетам, в стегосистеме не рассматривается предоставление скрытого канала по паролю «Связь-авария». Кроме того продолжительность переговоров любой категории срочности предлагается ограничивать временным интервалом в 10 минут, для минимизации демаскирующих признаков скрытого канала. Необходимо также отметить, что при

необходимости одновременной передачи телеграфного сообщения (или данных) по сигналу «Монолит» и речевого сообщения с этой же категорией срочности предпочтение в очередности обслуживания будет отдано речевому сообщению, как наиболее чувствительному ко времени задержки. В зависимости от установленного приоритета передаваемой информации выполняется расчет коэффициента уплотнения скрытого канала, который определяет распределение скрываемых данных по матрице уплотненного скрытого канала: чем выше категория срочности, тем большее число ортогональных строк выделяется для передачи данного сообщения.

Формирование уплотненного скрытого канала с учетом приоритетов абонентов реализуется по алгоритму, представленному на *рисунке 1*.

Для кодового уплотнения скрываемых сообщений используется матрица ДШСК, определенная на этапе выбора в соответствии со значением показателя дельта-корреляции γ : М-последовательность, Уолша, упорядоченные по Адамару, Ф-У, Ф-К.

В качестве входных данных для работы алгоритма вводят:

– матрицу ДШСК $\Phi_{ij}(g)$:

$$\Phi_{ij}(g) = \begin{bmatrix} \varphi_{11}(g) & \varphi_{12}(g) & \dots & \varphi_{1f}(g) \\ \varphi_{21}(g) & \varphi_{22}(g) & \dots & \varphi_{2f}(g) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \varphi_{i1}(g) & \varphi_{i2}(g) & \dots & \varphi_{if}(g) \end{bmatrix}, i, f = 0, 1, \dots, N-1, N = n', n \geq 2, s \geq 1,$$

где $\varphi_{ij}(g)$ – тип сигнальной конструкции,

$$\varphi_{ij}(g) = \begin{cases} m, \\ wal_n, \\ fwal, \\ fkrest. \end{cases}$$

– счетчик строк матрицы:

$\varphi_{\chi} = \{ \varphi_N \}$, $\chi = 1, 2, \dots, N$, $N = 4^{2\xi}$, $\xi = \{2, 3, 4, 5\}$, где N – значение периода ДШСК зависит от качества видеоданных, используемых для встраивания и принимает максимальной значение, рассматриваемое в работе, равное 1024 (при ис-

Таблица 1

Соответствие маркера приоритета категории срочности телеграммы

	Категория срочности				
	Монолит	Воздух	Ракета	Самолет	Обыкновенная
Значение маркера приоритета	1	11	111	1111	11111

РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

Таблица 2

Порядок предоставления переговоров по телефонным каналам оперативной связи

Классификация переговоров		Монолит	«Вне всякой очереди»	«Воздух»	«Самолет»	«В первую очередь»	«Во вторую очередь»	«Связь-авария»	«В общую очередь»	Допустимая продолжительность переговоров, мин.
Ведущиеся переговоры	Поступившие переговоры									
Сигнал	Монолит	1	11	1	1	1	1	1	1	2
Пароль	«Воздух»	111	111	1	1	11	1	1	1	5
Пароль	«Самолет»	1111	1111	1111	1111	1111	111	111	111	10
Категория	«Вне всякой очереди»	111	1	1	1	1	1	1	1	10
Категория	«В первую очередь»	111	111	111	111	1	1	1	1	10
Категория	«Во вторую очередь»	111	111	111	111	111	1	1	1	10
Категория	«В общую очередь»	1111								5
1	Немедленно с разъединением ведущихся переговоров									
11	С разрешения старшего из разговаривающих									
111	Немедленно, по окончании ведущихся переговоров									
1111	По окончании ведущихся переговоров, но не позднее 10 мин									

пользовании в качестве контейнера видеоданных с размером кадра 1550x1140);

– сообщения от абонентов:

$$S_k = \{S_z\}, z = 1, \dots, \lambda; k = 1 \dots K,$$

где k – число абонентов от 1 до K – натуральные числа, z – число бит данных от каждого абонента, принимается одинаковым и равным z от 1 до λ ,

– матрица маркеров вида сообщения:

$$M = |00 10|,$$

где 00 – речевое сообщение, 10 – телеграфное сообщение (передача данных);

– матрицы маркеров приоритетов сообщения:

$$P = |1 11 111 1111 11111|.$$

Для обеспечения распределения скрытой пропускной способности формируемого скрытого уплотненного канала в сообщения от абонентов

введены биты маркеров, определяющие категорию срочности сообщения и приоритет его обслуживания. В соответствии со значениями этих маркеров в матрице P распределения скрытой пропускной способности устанавливается значение коэффициента уплотнения b .

В случае категории сообщения «в общей очереди» коэффициент уплотнения b рассчитывается следующим образом:

$$b = \left\lceil \frac{N}{K} \right\rceil - 1.$$

После определения приоритета и категории сообщения осуществляется проверка выполнения условия: максимальное число активных абонентов больше периода матрицы ДШСК Ф-К:

$$K < N. \quad (1)$$

В случае не выполнения условия (1), счечи-

РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

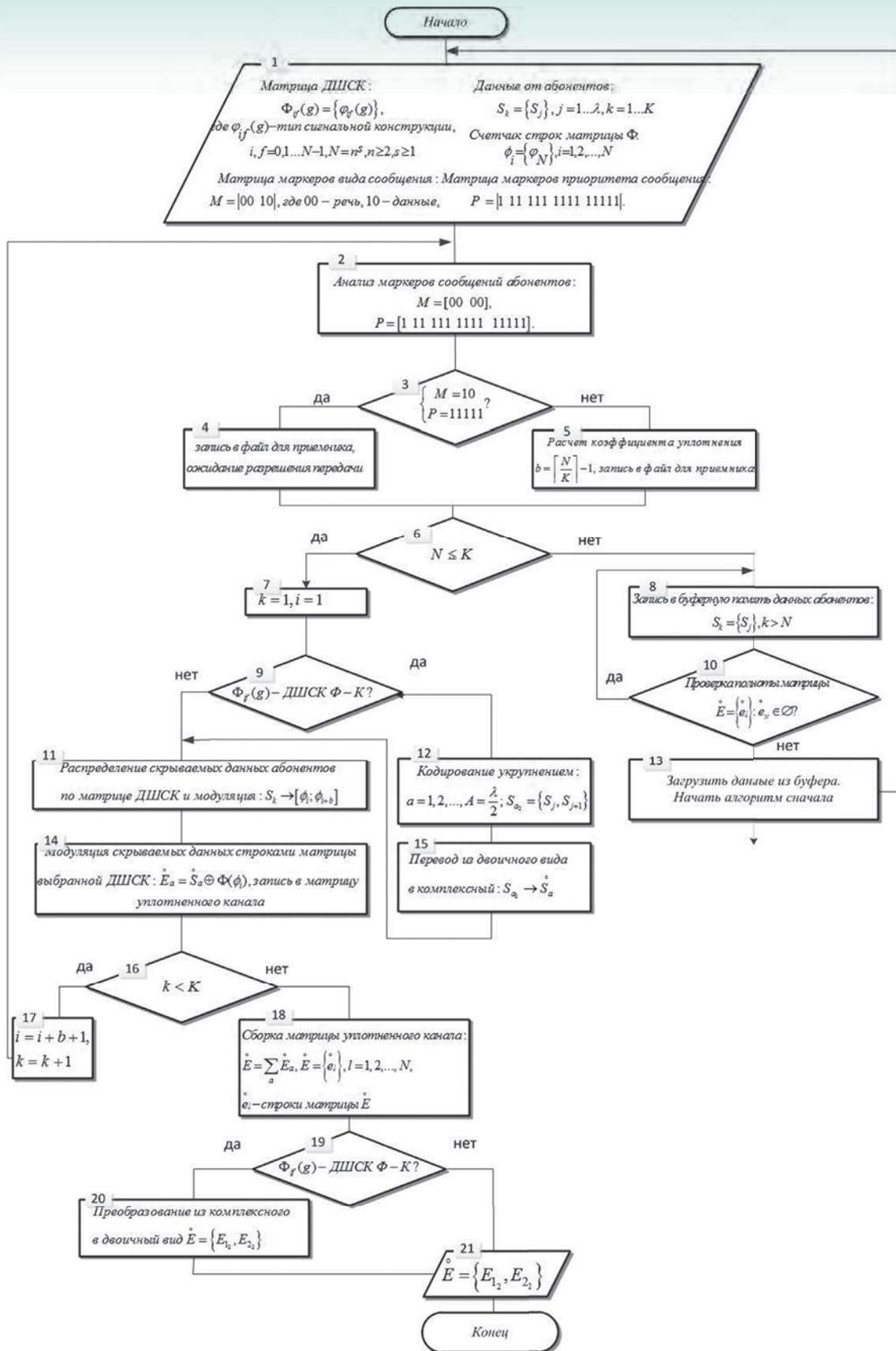


Рис. 1. Алгоритм кодового уплотнения скрытых каналов с учетом приоритетов абонентов

ку порядковых номеров сигналов от абонентов присваивается значение единицы $k = 1$, $\chi = 1$. Затем алгоритм проверяет, является ли матрица ДШСК матрицей Ф-К.

Если используемая матрица ДШСК не является матрицей Ф-К, это означает, что все ее элементы являются вещественными числами, поэтому для выполнения операции уплотнения скрываемых данных не требуется проведения преобразования в комплексный вид.

На следующем шаге выполняется распределение сигналов абонентов по матрице ДШСК в соответствии с правилом:

$$S_k \rightarrow [\varphi_\chi; \varphi_{\chi+b}]. \quad (2)$$

Правило (2) определяет, сколько ДШСК, занимающих строки φ_χ матрицы ДШСК Φ с номерами $\chi = 1, 2, \dots, N$ предназначено для модуляции значений сигнала текущего абонента. Чем больше абонентов, тем меньшее количество информации от каждого из них возможно разместить в матрице ДШСК, в пределе это соотношение составляет 1:1. Максимальное количество комплексных значений, вмещаемых матрицей ДШСК, составляет величину используемого периода N и соответствует неуплотненному каналу с одним абонентом.

Модуляция матрицы ДШСК скрываемыми данными абонентов осуществляется путем перемножения матриц:

$$\dot{E}_a = \dot{S}_a \oplus \Phi(\varphi_\chi).$$

В результате исследований определено, что применение ДШСК Ф-К позволяет достичь наилучших характеристик по скрытности встраивания [3-7]. Кроме того, применение ДШСК Ф-К позволяет организовать скрытый канал с большей пропускной способностью, так как, модифицируя одновременно пару бит оцифрованного спектра видеоконтейнера осуществляется встраивание четырех бит скрываемых данных. Это возможно благодаря проведению операции кодирования укрупнением:

$$a = 1, 2, \dots, A = \lambda/2; \\ S_{a2} = \{S_z, S_{z+1}\},$$

с последующим перевод скрываемых данных из двоичного представления в комплексный вид:

$$S_{a2} \rightarrow \dot{S}_a.$$

Затем производится проверка условия: превосходит ли номер текущего канала абонента максимально возможное значение $k < K$? При выполнении условия, счетчику порядковых номеров сигналов от абонентов присваивается следующее значение $k = k + 1$, а номеру строки матрицы ДШСК номер $\chi = \chi + b + 1$.

После выполняется распределения по матрице ДШСК сигналов абонентов в соответствии с правилом (2).

В случае, если условие $k < K$ не выполняется, это означает, что все сигналы абонентов, не превышающие максимального значения, обработаны. Поэтому формируется матрица уплотненных скрытых каналов:

$$\dot{E} = \sum_a \dot{E}_a, \dot{E} = \{\dot{e}_l\}, l = 1, 2, \dots, N.$$

где \dot{e}_l – строки матрицы \dot{E} .

В случае использования в качестве ДШСК Ф-К алгоритм выполняет преобразование комплекснозначной матрицы в двоичный вид, в противном случае – этих преобразований не требуется, а алгоритм сразу переходит к выводу сформированных двоичных матриц уплотненных скрытых каналов и на этом заканчивает свою работу.

В ситуации, когда число активных абонентов превышает период матрицы ДШСК $k < K$, данные от всех абонентов, порядковые номера которых превышают максимальный, определенный периодом ДШСК и размерами кадра видеоданных, записываются в буферную память стегакодера:

$$S_k = \{S_z\}, k > N.$$

Условие полноты матрицы уплотненных скрытых каналов \dot{E} предполагает проверку принадлежности строки формируемой матрицы с максимальным порядковым номером пустому множеству:

$$\dot{E} = \{\dot{e}_l\}, \dot{e}_N \in \emptyset. \quad (3)$$

Когда условие (3) не выполняется, это означает, что еще не все абоненты с порядковыми номерами, не превышающими максимальный, обслужены, продолжается запись сообщений в буферную память. В противном же случае, все абоненты обслужены, алгоритм переходит к загрузке данных из буфера в качестве входных и начинает свою работу в соответствии с логикой действий до завершения.

Таким образом, разработан новый оригинальный алгоритм кодового уплотнения скрытых каналов с учетом приоритетов абонентов, отличающийся от известных способом разделения групп каналов для последующего кодового уплотнения в соответствии с категорией срочности скрываемого сообщения и его приоритетом обслуживания при использовании двумерных шумоподобных сигнальных конструкций Ф-К. Данный алгоритм позволяет повысить своевременность доставки сообщений, определяемую категориями срочности абонентов и приоритетами обслуживания.

Литература

1. Грибунин В.Г., Оков И.Н., Туринцев И.В. Цифровая стеганография. М.: Солон-Пресс, 2002. 272 с.
2. Конахович Г.Ф., Пузыренко А.Ю. Компьютерная стеганография. Теория и практика. Киев: МК-Пресс, 2006. 283 с.
3. Абазина Е.С. Метод скрытой передачи информации с кодовым уплотнением в видеоданных. Информация и космос. СПб: ЗАО «Институт телекоммуникаций», 2014. №4 С. 33-38.
4. Абазина Е.С. Формирование стеганографического канала с кодовым уплотнением на основе двумерных нелинейных сигналов. Вопросы радиоэлектроники. Серия Техники телевидения. СПб: ФГУП НИИТ, 2015. №2. С. 108-118.
5. Цветков К.Ю., Коровин В.М., Абазина Е.С. Применение систем ортогональных сигналов для организации скрытого канала при передаче информации с кодовым уплотнением. Техника средств связи. М: ПАО «Интелтех», 2014. №3. С. 221-224.
6. Цветков К.Ю., Федосеев В.Е., Коровин В.М., Абазина Е.С. Модель кодера скрытого канала с кодовым уплотнением с использованием сигнальных последовательностей Франка-Уолша, Франка-Крестенсона. Труды НИИР. М.: ФГУП НИИР, 2014. №4. С. 2-11.
7. Абазина Е.С., Ерунов А.А. Результаты моделирования метода скрытой передачи информации с кодовым уплотнением в видеоданных. Системы управления, связи и безопасности. СПб, 2015. №2. С. 1-25.

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 004.932.2

ИЗВЛЕЧЕНИЕ УНИКАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ ИЗ РАЗЛИЧНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ОБЪЕКТА В ОДНИХ И ТЕХ ЖЕ УСЛОВИЯХ

ALGORITHM FOR OBJECT IDENTITY BY IMAGES MADE UNDER CONSTANT CONDITIONS

Андрей Константинович Никитин

инженер-программист
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)35-31-93
E-mail: ex_nik@mail.ru

Николай Сергеевич Кукин

кандидат технических наук
начальник лаборатории
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)35-31-93
E-mail: n.s.kukin@mail.ru

Аннотация

В статье рассматривается алгоритм идентификации объекта с помощью изображений, сделанных в одних и тех же условиях. Представлены результаты применения алгоритма.

Ключевые слова: обработка изображений, идентичность изображений.

Summary

The article discusses the algorithm for object identity by images made under constant conditions. Results of algorithm application are presented.

Keywords: image processing, image identity.

Введение

Потребность в идентификации объектов на изображениях является основой для множества направлений научной деятельности. Сложно представить идентификацию без изображения, когда речь идет об определении формы предмета или ее изменении в последовательности изображений. Сегодня идентификация объектов на изображении является одним из сложных направлений современной идентификации. Существующие методы идентификации не всегда являются достаточно эффективными с точки зрения использования и хранения идентификационных эталонов, а так же их применимости к различным областям исследований. Это обусловлено необходимостью обработки большого множества характеристик идентифицируемых объектов. В большинстве случаев полученные характеристики объекта идентификации требуют сравнения с соответствующим идентификационным эталоном. В свою очередь, идентифи-

кационный эталон принято хранить в числовых последовательностях, что увеличивает вероятную уязвимость системы идентификации.

Применение методов, позволяющих уйти от хранения идентификационного эталона, является новым направлением исследований в этой области.

В настоящей работе рассмотрен способ идентификации, позволяющий отказаться от хранения идентификационного эталона в пользу промежуточной информации, обладание которой не позволит подделать результат идентификации.

Описание метода извлечения уникальной информации из различных изображений объекта в одних и тех же условиях целесообразно начать с рассмотрения широко распространенных на сегодняшний день методов идентификации объектов по изображению, которые можно объединить в следующие группы:

- морфологические методы идентификации объектов, позволяющие определять объекты по их геометрическим формам [1];

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

● биометрические методы, применяемые для идентификации личности по индивидуальным характеристикам человека [2];

● методы, основанные на различных комбинациях решений, применяемых для изображений, на которых идентификация объектов по одной характеристике невозможна.

Приведенные подходы к идентификации обладают рядом достоинств и недостатков.

Для морфологических методов, характерно получение информации об объекте на основании их геометрической формы или геометрических особенностей (изгибов, пересечений и т.д.) [3]. Поэтому увеличение информативности морфологических методов достигается повышением качества входных данных, обладающих минимальными искажениями по сравнению с изображением оригинала.

Биометрические методы, использующие в качестве исходных данных изображения биологических и физиологических особенностей (отпечатки пальцев, сосудистые рисунки и т.д.), по своей сути базируются на морфологических методах. Аналогично морфологическим методам точность идентификации так же будет зависеть от качества входных данных.

Методы, основанные на комбинации решений, используют эффективные подходы из множества других методов идентификации для получения более точных результатов.

Постановка задачи

Независимо от метода, задача идентификации решается в условиях, когда возможно извлечение идентификационных последовательностей, которые можно привести к виду числовых констант. Проблема заключается в отсутствии универсального метода для извлечения констант подобного рода. В каждом конкретном случае, выбирается техника, позволяющая получать оптимальный результат в зависимости от области использования.

Алгоритм извлечения уникальной информации из различных изображений объекта в одних и тех же условиях использует извлечение уникальных констант с помощью многоэтапной обработки изображения с оцифровкой в многодиапазонных кодировочных шкалах. Такое решение позволяет использовать изображения из любой сферы исследований в качестве исходного. Это обусловлено отсутствием зависимости от сложных характеристик идентифицируемого объекта. Однако, для стабильной работы метода требуется соблюдать условия получения изображений объекта в неизменном состоянии (ус-

ловия освещения, вибрационные характеристики, устройство захвата изображений).

Алгоритм решения задачи

В качестве входных данных для алгоритма используется массив 8 битных пикселей цветного изображения. Исходное изображение обозначается как

$$\{p_{rgb}(i, j)\}_{i=1:w, j=1:h}, \quad (1)$$

где w – ширина;

h – высота исходного изображения.

Далее производится преобразование $\{p_{rgb}(i, j)\}_{i=1:w, j=1:h}$ в одноканальное изображение:

$$p(i, j) = \frac{1}{3}(p_r(i, j) + p_g(i, j) + p_b(i, j)), \quad (2)$$

где $i = 1:w, j = 1:h$, $p_r(i, j)$ – красный, $p_g(i, j)$ – зеленый, $p_b(i, j)$ – синий компоненты пикселя.

В одноканальном изображении производится выравнивание динамического диапазона в соответствии с общими подходами [4].

Полученное изображение $\{p(i, j)\}_{i=1:w, j=1:h}$ преобразуется в набор областей $W \times H$ пикселей, объединенных по формуле:

$$P(I, J) = \frac{1}{nw \cdot nh} \sum_{i=I-nw+1}^{(I+1)nw} \sum_{j=J-nh+1}^{(J+1)nh} p(i, j), \quad I=1:W, J=1:H, \quad (3)$$

где nw – ширина области; nh – высота области;

$$nw = \frac{w}{W};$$

$$nh = \frac{h}{H}.$$

Для получения идентификационных данных об объекте вводятся шкалы кодирования для набора $\{P(I, J)\}_{I=1:W, J=1:H}$ и с помощью масштабирования ограничиваются

$$\{P(I, J)\}_{I=1:W, J=1:H} \in [0; R_{\max}],$$

$$\text{где } R_{\max} = N \cdot \left(d + \frac{1}{k} \right).$$

Здесь N – ширина деления шкалы кодирования, d – количество уровней шкалы кодирования, k – количество шкал кодирования (в настоящей статье рассмотрен случай $k = 2$). Выбор номера шкалы кодирования, в которой производится определение элемента набора $\{P(I, J)\}_{I=1:W, J=1:H}$ осуществляется в два этапа.

На первом этапе проводится определение центра первой и второй шкал кодирования:

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

$$\begin{aligned} C_1 &= N \cdot (i - 0.5), \quad i = \overline{1:d}, \\ C_2 &= N \cdot i, \quad i = \overline{1:d}, \end{aligned} \quad (4)$$

где c_1 – координата центра шкалы 1;
 c_2 – координата центра шкалы 2.

На втором этапе находятся минимальные отклонения значений $\{P(I, J)\}$, $I=1:W, J=1:H$ от центров шкал (4):

$$\begin{aligned} \Delta_1(I, J) &= \min_{i=1:d} \left\{ \left| P(I, J) - N \cdot \left(i - \frac{1}{2} \right) \right| \right\}, \\ \Delta_2(I, J) &= \min_{i=1:d} \left\{ \left| P(I, J) - N \cdot i \right| \right\}. \end{aligned} \quad (5)$$

После определения отклонений для каждого элемента $\{P(I, J)\}$, $I=1:W, J=1:H$ определяется значение $\{M(I, J)\}$, $I=1:W, J=1:H$ – шкалы кодирования элемента $\{P(I, J)\}$, $I=1:W, J=1:H$:

$$M(I, J) = \begin{cases} 1, & \Delta_{1_{I=1:W, J=1:H}} \leq \Delta_{2_{I=1:W, J=1:H}} \\ 2, & \Delta_{2_{I=1:W, J=1:H}} < \Delta_{1_{I=1:W, J=1:H}} \end{cases}. \quad (6)$$

Массив (6) представляет собой промежуточные данные, не несущие никакой практической информации об объекте идентификации. Каждый из элементов $\{M(I, J)\}$, $I=1:W, J=1:H$ хранит индекс шкалы для кодирования элемента $\{P(I, J)\}$, $I=1:W, J=1:H$.

Для извлечения информации из изображения, полученного в стабильных условиях, в качестве входных данных используется массив 8 битных пикселей цветного изображения:

$$\{p'_{rgb}(i, j)\}_{i=1:w, j=1:h}. \quad (7)$$

В соответствии с выражением (2) получается одноканальное изображение для массива пикселей (7):

$$\{p'_{rgb}(i, j)\}_{i=1:w, j=1:h} \rightarrow \{p'(i, j)\}_{i=1:w, j=1:h}.$$

Далее во входном массиве выполняется выравнивание динамического диапазона в соответствии с общими подходами [4]. С учетом выражения (3) имеет место отображение:

$$\{p'(i, j)\}_{i=1:w, j=1:h} \rightarrow \{P'(I, J)\}_{I=1:W, J=1:H}.$$

На основании $\{M(I, J)\}$, $I=1:W, J=1:H$ для каждого $\{P'(I, J)\}$, $I=1:W, J=1:H$ находится соответствующее ему кодовое значение:

$$O(I, J) = \arg \min_i \left\{ \left| P'(I, J) - N \cdot \left(i + \frac{1}{2} \cdot (M(I, J) - 2) \right) \right| \right\}_{i=1:W, J=1:H}. \quad (8)$$

Числовая последовательность, составленная из элементов $\{O(I, J)\}$, $I=1:W, J=1:H$, явля-

ется уникальной для идентифицируемого объекта.

Результаты моделирования

Ниже рассматривается применение метода извлечения уникальной информации из разных изображений объекта в одних и тех же условиях на конкретном примере.

Входными данными является последовательность из нескольких кадров объекта со случайным добавлением в нее кадра с изображением другого объекта. Такая последовательность представлена на рисунке 1.

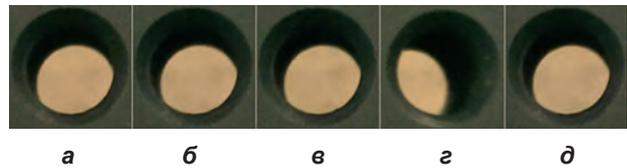


Рис. 1. Последовательность кадров со случайным добавлением другого объекта (г)

В рассматриваемом примере размер кадра: $w=400, h=400$. Каждый кадр входной последовательности преобразуется в одноканальные изображения. Затем, производится выравнивание динамического диапазона в соответствии с общими подходами [4] и, в соответствии с (3), получается набор $P(I, J)$, в котором $nw=15, nh=10$. Этот набор представлен на рисунке 2.



Рис. 2. Набор областей пикселей

Для получения идентификационных последовательностей выбран следующий набор значений: $N = 25, d = 10, k = 2, R_{max} = 255$. Из равенства (4), находятся значения для каждого элемента множества $P(I, J)$. В рассмотренном примере идентификационные последовательности имеют длину в 622 бита. При этом размер хранимой для идентификации информации будет составлять 187 бит. Для наглядности сравнения результатов, последовательности преобразованы в хэш суммы, используя алгоритм MD5 [4]. В результате этого получены следующие результаты для приведенной последовательности:

- 1 кадр: daf08e00ha631ee0c6497bbabe0a1381;
- 2 кадр: daf08e00ha631ee0c6497bbabe0a1381;
- 3 кадр: daf08e00ha631ee0c6497bbabe0a1381;
- 4 кадр: ff01a6333d0e7f0a6b3e911e0f12791d;
- 5 кадр: daf08e00ha631ee0c6497bbabe0a1381.

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Выводы

Рассмотренный алгоритм позволяет решить задачу извлечения уникальной информации из разных изображений объекта в одних и тех же условиях. Результаты работы алгоритма показывают, что на основе предложенного метода анализа изображения объекта стабильно извлекается идентификационная последовательность размером 622 бита. При этом информация о кодировочных шкалах, хранимая в памяти алгоритма, составляет всего 187 бит.

К недостаткам рассмотренного метода можно отнести высокие требования к стабильности положения устройства захвата изображения объекта, условиям освещения и вибрационным условиям.

Литература

1. Гостев И.М. Методы идентификации графических объектов на основе геометрической корреляции // Физика элементарных частиц и атомного ядра, 2010. №1(41). С. 48-96.
2. Харитонов А.В. Обзор биометрических методов идентификации личности // Кибернетика и программирование, 2013. №2. С. 12-19.
3. Фисенко В.Т., Фисенко Т.Ю. Компьютерная обработка и распознавание изображений: учеб. пособие. СПб: СПбГУ ИТМО, 2008. 195 с.
4. Никитин А.К., Кукин Н.С. Алгоритм блочного выделения морфологических признаков на монохромных изображениях // Известия Института инженерной физики, 2016. №3(41). С. 38-41.
5. RFC 1321. The MD5 Message-Digest Algorithm.

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ



УДК 519.6:00.493

ДЕТЕКТИРОВАНИЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ОБЪЕКТА НА РАССТОЯНИЯ МЕНЬШЕ ОДНОГО ПИКСЕЛЯ ПО СЕРИИ ЕГО ИЗОБРАЖЕНИЙ

MOTION DETECTION LESS THAN A PIXEL SIZE BY SERIES OF OBJECT IMAGES

Анна Руслановна Мурадова

студентка магистратуры
Московский авиационный институт
научный сотрудник
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)35-31-93

Николай Сергеевич Кукин

кандидат технических наук
начальник лаборатории
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)35-31-93
E-mail: n.s.kukin@mail.ru

Аннотация

Обработка изображений является важным направлением применения современной вычислительной техники. В статье приведен алгоритм детектирования перемещения объекта по ряду его изображений на расстояния меньше разрешающей способности аппаратуры. Приведены результаты применения алгоритма для серий изображений, имеющих различное разрешение.

Ключевые слова: обработка изображений, интерполяция, детектирование перемещения, пиксель, распознавание, алгоритм.

Summary

Image processing is an important field of modern computer science. The article presents an algorithm for a small motion detection. The algorithm allows to detect movements less than a pixel size by series of object images. At the end of the article the results of applying the algorithm on a series of images with different resolution are presented.

Key words: image processing, interpolation, motion detection, pixel, recognition, algorithm.

Введение

Обработка изображений – это многоплановое направление, занимающееся решением множества задач в самых разных сферах деятельности. Исследования в этой области направлены на разработку новых методов и алгоритмов обработки и анализа изображений. Особенное внимание в настоящее время уделяется проблемам распознавания самого объекта и его поведения по серии изображений [1].

Представленный в данной статье алгоритм дает возможность сформировать траекторию движения объекта по ряду кадров, что применимо в различных системах безопасности для анализа обстановки. Известные алгоритмы обработки изображений [2] регистрируют перемещения объектов на расстояния большие раз-

мера пикселя, в то время как перемещения на расстояния меньше, чем разрешающая способность аппаратуры не освещено в научных публикациях.

Постановка задачи

Исходными данными является серия изображений одного и того же объекта в формате bmp, каждое из которых сдвинуто по горизонтальной оси относительно предыдущего на одну десятую размера пикселя. Все изображения имеют одинаковое разрешение. Для детектирования перемещения изображения преобразованы в двумерное (черно-белое) представление на «равномерной сетке» (расстояние между пикселями одинаковое). Таким образом, изображение представляет собой функцию двух переменных

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

$f(x,y)$, значениями которой являются интенсивности цвета в градации серого:

$$I = \{f(x,y)\}_{x=1:h; y=1:w}, \quad (1)$$

где h – высота изображения;
 w – ширина изображения.

Необходимо определить величину относительного перемещения объекта на паре его изображений.

Алгоритм нахождения перемещения

Для того чтобы оценить перемещение объекта, необходимо провести сравнение двух изображений из серии, при условии, что расстоянием между ними не превышает один пиксель.

Для решения задачи увеличено число пикселей одного из изображений методом бикубической интерполяции [3]. Этот неадаптивный метод работает в двух измерениях и заключается в нахождении значения интерполируемого пикселя на основе массива 4×4 окружающих пикселей. Непосредственно используются в вычислениях значения интенсивностей четырех окружающих пикселей (массив 2×2) и значения частных производных в этих точках вдоль обеих координатных осей:

$$f'_x(x,y) = (f(x+1,y) - f(x-1,y))/2;$$

$$f'_y(x,y) = (f(x,y+1) - f(x,y-1))/2;$$

а также перекрестные частные производные:

$$f''_{xy}(x,y) = (f(x-1,y-1) + f(x+1,y+1) - f(x+1,y-1) - f(x-1,y+1))/4.$$

Таким образом, получены шестнадцать величин для решения бикубической интерполяции в каждой дополнительной точке. Такой подход позволяет получить гладкое выходное изображение [4].

Поиск значений интенсивности интерполируемых пикселей $p(x,y)$ производится по формуле

$$P(x,y,\Delta h,\Delta w) = \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 a_{ij} \Delta h^i \Delta w^j, \quad (2)$$

где $\Delta h, \Delta w$ – шаг интерполирования по вертикальной и горизонтальной оси соответственно; a_{ij} – весовые коэффициенты полинома, рассчитанные на основе значений функции $f(x,y)$ в окружающих точках и ее производных, полученных ранее.

Применяя формулу (2) для фиксированных Δh и Δw , можно получить интерполированное изображение на новой сетке пикселей $\{p(x+\Delta h, y+\Delta w)\}_{x=1:h; y=1:w}$, имеющее то же разрешение, что и исходное изображение (1)

$$p(x+\Delta h, y+\Delta w) = P(x, y, \Delta h, \Delta w). \quad (3)$$

Существует множество других, более точных методов интерполяции, позволяющих получать более качественные результаты. В основном такие алгоритмы имеют большой объем вычислений, построены на использовании заранее известных свойств изображения или на анализе всего изображения в целом и неприменимы в общих случаях. Представленный же метод интерполяции является оптимальным по соотношению времени обработки и качества выходного изображения.

Для определения величины перемещения изображения $f_1(x,y)$ относительно исходного изображения $f_0(x,y)$ применяется интерполяция исходного изображения. Перемещение объекта определяется по величине значений Δw и Δh , при которых достигает минимума функция отклонений

$$M(\Delta h, \Delta w) = \sum_{x=1}^w \sum_{y=1}^h |f_1(x,y) - p_0(x+\Delta h, y+\Delta w)|, \quad (4)$$

где $\Delta h, \Delta w$ – сдвиг функции отклонений по вертикальной и горизонтальной оси соответственно.

Результат моделирования

По вышеописанному алгоритму проведено детектирование перемещения объекта на парах изображений, с фактическим перемещением по горизонтальной оси от 0,1 до 0,9 размера пикселя. В данном случае проведена многократная интерполяция исходного изображения с шагом интерполирования Δw от 0 до 0,99 между пикселями. Результат данного моделирования показан на рисунках 1-5.

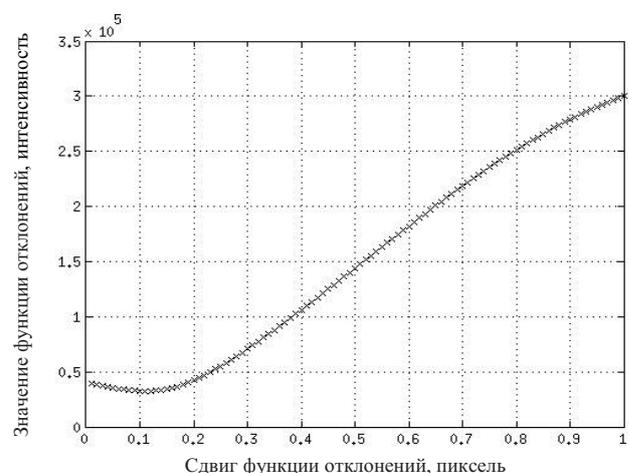


Рис. 1. Кривая регистрируемого перемещения при фактическом перемещении на 0,1 размера пикселя

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

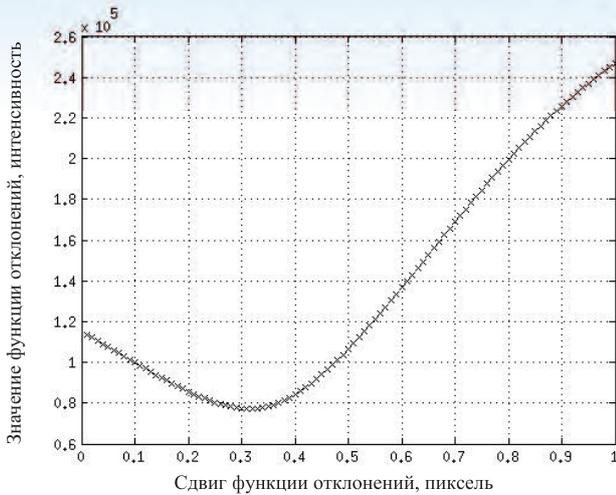


Рис. 2. Кривая регистрируемого перемещения при фактическом перемещении на 0,3 размера пикселя

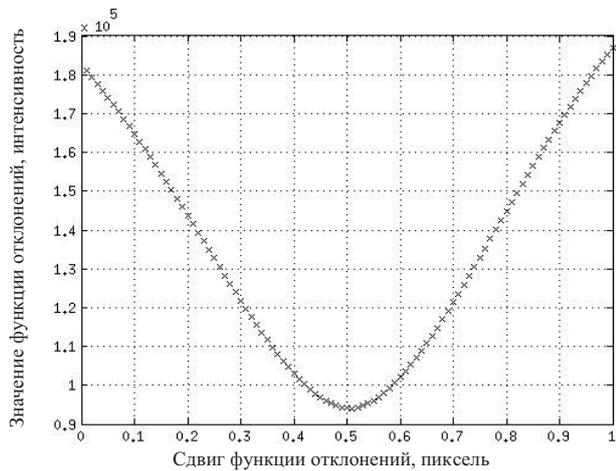


Рис. 3. Кривая регистрируемого перемещения при фактическом перемещении на 0,5 размера пикселя

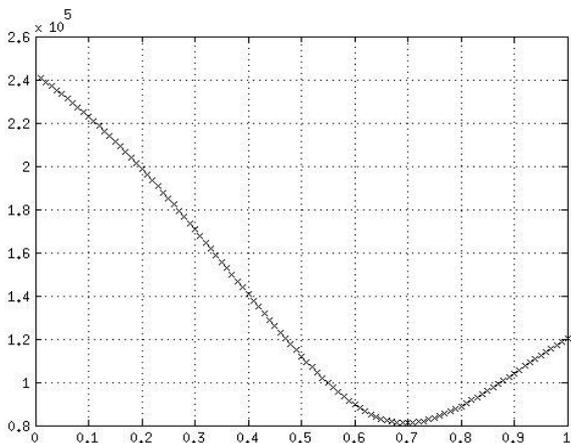


Рис. 4. Кривая регистрируемого перемещения при фактическом перемещении на 0,7 размера пикселя

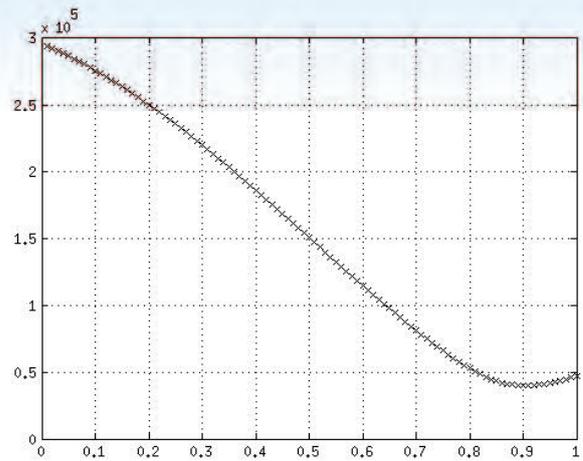


Рис. 5. Кривая регистрируемого перемещения при фактическом перемещении на 0,9 размера пикселя

При сравнении изображений, сдвинутых на расстояние до половины размера пикселя, функция отклонений (4) с высокой точностью определяет перемещение. При сдвиге более чем на 0,5 размера пикселя появляется погрешность, не превышающая одной сотой размера пикселя.

Дополнительно было проведено детектирование перемещения объекта на изображениях меньшего разрешения. На рисунках 6-10 приведены графики зависимости величины погрешности от перемещения.

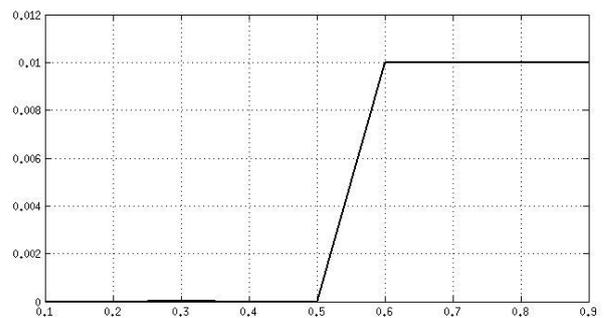


Рис. 6. График изменения величины погрешности при разрешении 200×200 пикселей

Можно заметить, что чем меньше разрешение сравниваемых изображений, тем больше погрешность определения перемещения.

Заключение

В статье приведен метод детектирования перемещения объекта по серии его изображений на расстояния меньше, чем разрешающая способность аппаратуры. Алгоритм реализован по-

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

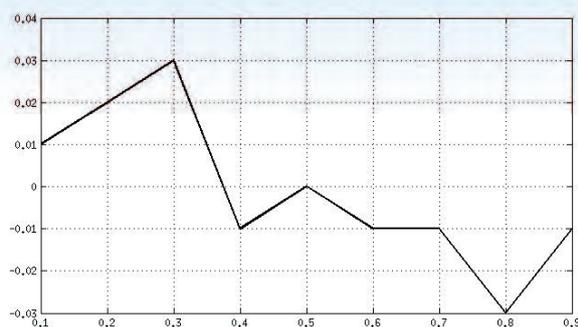


Рис. 7. График изменения величины погрешности при разрешении 100×100 пикселей

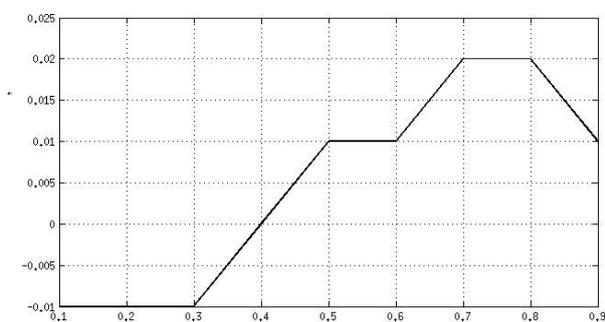


Рис. 8. График изменения величины погрешности при разрешении 40×40 пикселей

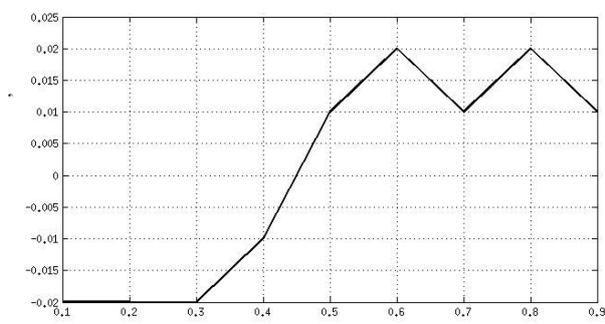


Рис. 9. График изменения величины погрешности при разрешении 20×20 пикселей

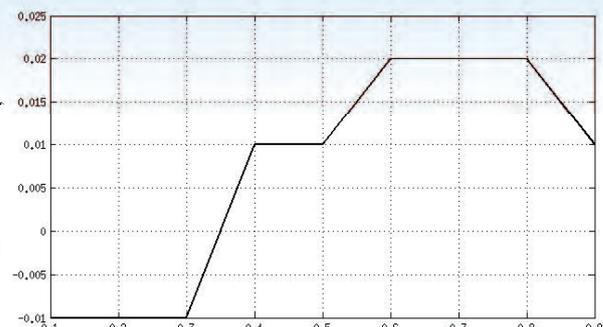


Рис. 10. График изменения величины погрешности при разрешении 10×10 пикселей

средством обработки изображения методом бикубической интерполяции. Он не является самым точным, но в отличие от многих других методов, не требует подстройки под конкретное изображение.

Целесообразнее использовать алгоритм при детектировании перемещения на расстояния меньше 0,5 размера пикселя на серии изображений с максимально возможным разрешением.

Алгоритм применим для построения траектории движения объекта по ряду кадров, что может использоваться в различных системах безопасности.

Литература

1. Никитин А.К., Кукин Н.С. Алгоритм блочно-го выделения морфологических признаков на монохромных изображениях // Известия Института инженерной физики, 2016. №3(41). С. 38-40.
2. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера, 2005. 1072 с.
3. Press W.H., Teukolsky S.A., Vetterling W.T., Flannery B.P. Numerical recipes: The Art Of Scientific Computing. Third Edition. Cambridge, Cambridge University Press, 2007. 1256 p.
4. GIASSA.NET, Engineering, DIY, and Everything Else, "IV – Generalized Bicubic Interpolation", URL: http://www.giassa.net/?page_id=371.

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 623.954.4:358.111.6

РАЗРАБОТКА КРИТЕРИЯ ВЫБОРА РАЦИОНАЛЬНОГО НАБОРА ТИПОВ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ОБНАРУЖЕНИЯ ДЛЯ БАЗОВОЙ СТРУКТУРЫ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ОХРАНЫ THE DEVELOPMENT OF CRITERION OF A CHOICE OF A RATIONAL SET OF THE ITSO TYPES FOR BASIC STRUCTURE TSO

Антон Игоревич Бочаров

младший научный сотрудник
филиал ВА РВСН им. Петра Великого
(г. Серпухов)
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17
Тел.: +7(977)261-76-88

Вадим Александрович Гапоненко

кандидат технических наук
докторант
филиал ВА РВСН им. Петра Великого
(г. Серпухов)
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов,
ул. Бригадная, д. 17
Тел.: +7(916)588-06-58

Аннотация

В статье рассмотрен критерий выбора рационального набора типов инженерно-технических средств охраны для базовой структуры интегрированных комплексов технических средств охраны, основу которого составляет разработанный P(MM)-критерий, позволяющий учитывать уровень опасности действий каждого типа нарушителей охраняемому объекту, а так же наличие возможного риска при выборе набора типов инженерно-технических средств охраны в составе базовой структуры интегрированных комплексов технических средств охраны с последующей его минимизацией до допустимого уровня с целью повышения общего эффекта решения, то есть улучшения в целом тактико-техничко-экономических характеристик автоматизированной система охраны.

Ключевые слова: критерий, автоматизированная система охраны, инженерно-технические средства охраны, интегрированные комплексы технических средств охраны, лицо принимающее решение.

Summary

The article describes the method of selection of rational set of types of engineering and technical means of protection for the basic structure of the integrated complexes of technical means of protection, which is based on the developed by P (MM)-criterion allows to take into account the level of danger of the actions of each type of violators protected object, and also existence of a potential risk in selecting a set of technical means of protection types as part of the basic structure of the integrated complexes of technical means of protection and then minimize it to an acceptable level in order to enhance the overall effect of the decision, that is to improve the overall tactical and technical and economic characteristics of automated security system.

Key words: criterion, automated security system, engineering and technical means, integrated complexes of technical means, decision maker.

Из невозможности быстрого изменения инженерно-технических средств ИК ТСО следует, что лицо принимающее решение при выборе рационального набора типов ИТСО для ба-

зовой структуры ИК ТСО необходимо принять решение, обеспечивающее требуемый результат по эффективности автоматизированных систем охраны при противодействии всему множеству

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

нарушителей. В этом случае ситуация, в которой находится лицо принимающее решение, характеризуется следующими обстоятельствами:

- 1) неизвестно, какие типы нарушителей из множества I_x будут воздействовать на объект;
- 2) необходимо учитывать воздействие на объект любого типа нарушителя из множества I_x , как по отдельности, так и в комплексе;
- 3) необходимо учитывать опасность угроз, исходящих от каждого типа нарушителя из множества I_x ;
- 4) решение реализуется только один раз;
- 5) возможен (допускается) ограниченный риск.

Поэтому поиск решения, осуществляется на матрице решений $\|\Phi_{ij}\|$. При этом результаты противодействия нарушителям $\Phi_{ir} = f(\Phi_{i1}, \Phi_{i2} \dots \Phi_{ij} \dots \Phi_{in_x})$ для каждого из альтернативных вариантов можно охарактеризовать комбинацией из его наибольшего и наименьшего показателей:

$$\Phi_{ir} = \min_j \Phi_{ij} + \max_j \Phi_{ij} \quad (1)$$

Из (1) вытекает способ построения оценочной функции. При этом наилучший результат имеет вид:

$$\max_i \Phi_{ir} = \max_i \left(\min_j \Phi_{ij} + \max_j \Phi_{ij} \right). \quad (2)$$

Следовательно, при поиске рационального варианта находится компромисс между оптимистическим и пессимистическим подходами.

Оптимистическая позиция характеризует точку зрения азартного игрока, то есть матрица решений $\|\Phi_{ij}\|$ преобразуется к матрице-столбцу, которая содержит максимальные значения показателя эффективности для каждого варианта. Поиск рационального варианта осуществляется по критерию

$$\max_i \Phi_{ir} = \max_i \left(\max_j \Phi_{ij} \right). \quad (3)$$

Позиция нейтралитета характеризует то, что встречающиеся отклонения эффективности от «среднего» значения допустимы, то есть матрица решений $\|\Phi_{ij}\|$ преобразуется к матрице-столбцу, которая содержит усредненные показатели эффективности для каждого варианта. Поиск рационального варианта осуществляется по критерию

$$\max_i \Phi_{ir} = \max_i \left(\frac{1}{n_X} \sum_{j=1}^{n_X} \Phi_{ij} \right). \quad (4)$$

Позиция относительного пессимизма характеризует потери в результате выбора по сравнению с наилучшим результатом для каждого ва-

рианта, то есть матрица решений $\|\Phi_{ij}\|$ преобразуется к матрице-столбцу, которая содержит максимальные потери. Поиск рационального варианта осуществляется по критерию

$$\min_j \Phi_{jr} = \min_j \max_j \left(\max_j \Phi_{ij} - \Phi_{ij} \right). \quad (5)$$

При пессимистической позиции ориентируются на наименее благоприятный случай, то есть матрица решений $\|\Phi_{ij}\|$ преобразуется к матрице-столбцу, которая содержит минимальные показатели эффективности для каждого варианта. Поиск рационального варианта осуществляется по критерию

$$\max_j \Phi_{jr} = \max_j \left(\min_j \Phi_{ij} \right). \quad (6)$$

Однако при решении задачи выбора рационального набора типов ИТСО для базовой структуры ИК ТСО предпочтение использования той или иной оценочной функции критерия определяется исключительно позицией лица, принимающего решение [1-4]. При этом ЛПР с учетом имеющейся неопределенности (множество I_x) – сознательно или неосознанно – принимает решение в соответствии с какой-либо оценочной функцией вида (1)–(6). Необходимо отметить, что использование той или иной оценочной функции вида (1)–(6) приводит, как правило, к различным решениям, а именно, к выбору разных наборов типов ИТСО для базовой структуры ИК ТСО из множества IE .

Получение разных вариантов набора типов ИТСО для базовой структуры ИК ТСО обусловлено тем, что каждая из рассмотренных оценочных функций ориентирована на установление на множестве IE своего отношения частичного порядка [2], то есть неравенств вида $i > k, k > l$, где $i, k, l \in I_E$. Вид отношений частичного порядка, устанавливаемых на множестве IE с использованием оценочных функций (1)–(6), определяется, в первую очередь, способностью функций учитывать ту или иную количественную характеристику ситуации, в которой принимается решение. Поэтому, для исключения (снижения) влияния субъективного фактора на выбор ЛПР оценочной функции, необходимо учитывать количественные характеристики ситуации, в которой принимаются решения.

Для определения оценочных функций критериев, наиболее точно учитывающих условия реализации при выборе рационального набора типов ИТСО для базовой структуры ИК ТСО и рационального варианта АСО, проведен анализ [5] оценочных функций и критериев, представленных в [2-4] и используемых в настоящее время при решении технических и управленческих задач.

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

С точки зрения рассматриваемой ситуации, в которой находится ЛПР при выборе рационального набора типов ИТСО для базовой структуры ИК ТСО, обобщенный анализ критериев: минимаксного критерия (ММ), критерия Байеса-Лапласа (ВЛ), критерия Сэвиджа (S), критерия азартного игрока (Н), критерия Гурвица (НВ), критерия Ходжа-Лемана (НЛ), критерия производства (Р), составного критерия (ВЛ(ММ)) и их оценочных функций представлен в *таблице 1*.

По результатам анализа критериев и их оценочных функций, с точки зрения совпадения правил их применения к ситуации при поиске набора типов ИТСО в составе базовой структуры ИК ТСО, можно сделать следующие *выводы*:

1. Наибольшее совпадение показывают критерии ВЛ(ММ), НВ и S, при этом их применение не учитывает ситуацию в части отсутствия:

для ВЛ(ММ) – некоторой априорной информации в пользу какого-либо определенного распределения вероятности появления типов нарушителя $j \in I_x$;

для НВ и S – при поиске решения влияния в комплексе *всех типов нарушителей*.

2. Наименьшее совпадение показали критерии ВЛ и НЛ.

3. Критерий ММ не учитывает ситуацию при поиске решения в части влияния всех типов нарушителей в комплексе, а также не допускает при выборе никакого риска.

4. Критерий Р *не учитывает* воздействие на объект каждого типа нарушителя $j \in I_x$ по отдель-

ности, а также он требует некоторого малого числа реализаций решения.

5. Все рассмотренные критерии *не учитывают* влияние опасности каждого типа нарушителя из множества I_x .

Опираясь на полученные результаты анализа критериев и их оценочных функций, можно сделать *обобщенный вывод* о том, что ни один из рассмотренных критериев не отвечает в полной мере требованиям ситуаций при выборе рационального набора типов ИТСО для базовой структуры ИК ТСО. Следовательно, выбранный ЛПР вариант АСО с использованием рассмотренных критериев увеличивает *риск неверного решения*.

Однако, как отмечается в [2], при необходимости получать критерии и оценочные функции, способные приспосабливаться к обстоятельствам, характеризующим ситуацию, в которых проходит процесс принятия решения, можно прибегнуть к построению *составных критериев*. Кроме того, при построении составных критериев требуется учесть, что ситуации, в которых может находиться ЛПР обусловлены разными обстоятельствами.

С учетом данных выводов и [2], сформируем составной критерий, отвечающий требованиям ситуации, в которой находится ЛПР при выборе рационального набора типов ИТСО для базовой структуры ИК ТСО.

При формировании составного критерия выбора рационального набора типов ИТСО для

Таблица 1

Обобщенный анализ критериев и их оценочных функций с точки зрения ситуации при поиске набора типов ИТСО в составе базовой структуры ИК ТСО

Номер пункта рассматриваемой ситуации	Критерии							
	ММ	ВЛ	S	Н	НВ	НЛ	Р	ВЛ(ММ)
1	+	-	+	Критерий выделяет только доминирующие варианты без учета ситуации	+	+/-*	+	+/-
2	+/-	+/-	+/-		+/-	-	+/-	+
3	-	-	-		-	-	-	-
4	+	-	+		+	-	+/-	+
5	-	+	+		+	+	+	+

* +/- частичное совпадение с требованием ситуации, имеющейся при выборе варианта АСО.

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

базовой структуры ИК ТСО введем следующее ограничение: «Для всех вариантов АСО существует только один вариант подразделения охраны, то есть количество вариантов АСО равно количеству ИК ТСО $nE = nM$ ».

Учитывая проведенный анализ (см. таблицу 1), в качестве исходных оценочных функций для формирования критерия, отвечающего требованиям ситуации, в которой осуществляется при выборе рационального набора типов ИТСО для базовой структуры ИК ТСО, возьмем оценочные функции критериев Р и ММ.

Выбор оценочной функций Р-критерия обусловлен тем, что исходя из строгой монотонности логарифмической функции значение $\Phi_{jr} = \prod_j \Phi_{ij}$, в зависимости от i , максимально тогда, когда максимален $\ln \Phi_{jr}$, при условии, что $\Phi_{ij} > 0$ для всех i и j .

Поэтому

$$\ln \phi_{ir} = \sum_{j=1}^{n_X} \ln \phi_{ij}$$

и

$$\frac{1}{n_X} \ln \phi_{ir} = \frac{1}{n_X} \sum_{j=1}^{n_X} \ln \phi_{ij} \quad (7)$$

достигают максимума одновременно.

Выражение (7) соответствует (4), что показывает тесную связь Р-критерия с позицией нейтралитета, так как его применение связано с некоторым выравниванием между большими и малыми значениями Φ_{ij} , что позволяет получить большую выгоду, чем при использовании ММ-критерия.

Кроме того, Р-критерий ориентирован на величины выигрышей при условии, что информация о распределении вероятностей появления различных типов нарушителей не принимается во внимание.

Следует отметить, что выбор рационального варианта системы охраны по Р-критерию осуществляется с некоторым риском.

В свою очередь, ЛПР, применяя оценочную функцию ММ-критерия, не может столкнуться с худшим результатом, чем тот, на который он ориентируется. Данное свойство ММ-критерия позволяет считать его одним из фундаментальных критериев.

Поэтому для формирования составного критерия (далее Р(ММ)-критерий) в первую очередь зафиксируем задаваемое ММ-критерием опорное значение:

$$Z_{MM} = \max_j \min_i \Phi_{ij} = \Phi_{i_0 j_0}, \quad (8)$$

где i_0 и j_0 – оптимизирующие индексы для рассматриваемых вариантов АСО и типов нарушителей соответственно.

Для некоторого заданного или выбранного уровня допустимого риска $\varepsilon_{доп} > 0$ определим множество согласия, являющееся подмножеством индексов $\{1, \dots, m\}$:

$$I_1 = \{i | i \in \{1, \dots, m\} \wedge \Phi_{i_0 j_0} - \min_j \Phi_{ij} \leq \varepsilon_{доп}\}. \quad (9)$$

Величина $\varepsilon_i = \Phi_{i_0 j_0} - \min_j \Phi_{ij}$ для всех $i \in I_1$ характеризует наибольшие возможные потери в сравнении со значением $\Phi_{i_0 j_0}$, задаваемым ММ-критерием, что открывает возможность для увеличения выигрыша по сравнению с минимаксным критерием. Поэтому рассмотрим некоторое выигрышное подмножество $\{1, \dots, k\}$:

$$I_2 = \{i | i \in \{1, \dots, m\} \wedge \max_j \Phi_{ij} - \max_j \Phi_{i_0 j_0} \geq \Phi_{i_0 j_0} - \min_j \Phi_{ij} \varepsilon_i\}. \quad (10)$$

Следовательно, множеству $I_1 \cap I_2$ принадлежат только те варианты решений, для которых, с одной стороны, могут иметь место потери по сравнению с состоянием, задаваемым ММ-критерием, но в других состояниях имеется такой же прирост выигрыша. Тогда критерий выбора рационального набора типов ИТСО для базовой структуры ИК ТСО с учетом введенного множества $I_1 \cap I_2$, примет вид:

$$H^* = \left\{ H^* | H^* \in I_E \wedge \phi_{ij} = \max_{i \in I_1 \cap I_2} \prod_{j=1}^{n_X} \phi_{ij} \wedge \forall \phi_{ij} > 0 \right\} \quad (11)$$

где $I_E = \{M_k \cup D_w | M_k \subset M \wedge D_w \subset D\}$;

$$H^* = \left\langle \left\{ y_{kr_1}^* \right\}, \left\{ h_{kr_2}^* \right\}, \left\{ l_{kr_3}^* \right\} \right\rangle.$$

Правило выбора рационального набора типов ИТСО для базовой структуры ИК ТСО для Р(ММ)-критерия формулируется следующим образом:

«Матрица решений $\|\Phi_{ij}\|$ дополняется еще тремя столбцами. В первом из них записывается произведение всех элементов каждой из строк

$$\prod_{j=1}^{n_X} \phi_{ij},$$

во втором – разность $\Phi_{i_0 j_0} - \min_j \Phi_{ij}$. В третьем столбце помещаются разности между наибольшим значением $\max_j \Phi_{ij}$ каждой строки и наибольшим значением $\max_j \Phi_{i_0 j_0}$ той строки, в которой находится значение $\Phi_{i_0 j_0}$. Выбирается тот вариант $H^* \in \{H_k\}$ или $i^* \in I_E$, строка которого (при соблюдении приводимых ниже соотношений между элементами второго и третьего столбцов) дает наибольшее произведение. А именно, соответствующее значение $\Phi_{i_0 j_0} - \min_j \Phi_{ij}$ из второго столбца должно быть меньше или равно некоторому заранее заданному уровню риска $\varepsilon_{доп}$. Значение же из третьего столбца должно быть

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

больше или равно значению из второго столбца».

Применение Р(ММ)-критерия обусловлено следующими признаками ситуации, в которой принимается решение:

- 1) неизвестно, какие типы нарушителей из множества I_x будут воздействовать на объект;
- 2) необходимо учитывать воздействие на объект любого типа нарушителя из множества I_x , как по отдельности, так и в комплексе;
- 3) решение реализуется только один раз;
- 4) возможен (допускается) ограниченный риск.

Графическая интерпретация Р(ММ)-критерия для двух типов нарушителей и значения допустимого риска $\varepsilon_{\text{доп}} = \Phi_{ij}/2$, будет следующей (рисунок 1):

1) в поле полезности выделяется точка (Φ_{i01}, Φ_{i02}) и соответствующий конус предпочтения PK^*MM , определяемый ММ-критерием;

2) задается конус предпочтения $PK_{MM}^{\varepsilon_{\text{доп}}}$ с образующими, параллельными образующим конуса PK^*MM , и уровнем, пониженным на величину допустимого риска $\varepsilon_{\text{доп}} = \Phi_{i0j}/2$;

3) проводится прямая G , проходящая через точку (Φ_{i01}, Φ_{i02}) и параллельная биссектрисе второго и четвертого координатных углов.

После указанного графического построения угловая область, находящаяся между двух конусов PK^*MM и $PK_{MM}^{\varepsilon_{\text{доп}}}$, содержит величины полезности из множества согласия I_1 . В свою очередь все точки поля полезности, которые лежат справа и выше прямой G , соответствуют вариантам решения, принадлежащим выигрышному множеству I_2 . Следовательно, допустимая область $I_1 \cap I_2$ состоит из двух заштрихованных полубластей.

Семейство линий уровня будет то же, что и для Р-критерия, то есть семейство гипербол [2]. Рациональное решение для Р(ММ)-критерия получается в результате перемещения конуса предпочтения вправо-вверх вдоль направляющей $u=v$ до тех пор, пока он в последний раз не заденет поле полезности, определяемое заштрихованной областью.

Полученный Р(ММ)-критерий только по одному пункту не соответствует ситуации принятия решения при выборе рационального набора типов ИТСО для базовой структуры ИК ТСО в части учета опасности каждого типа нарушителя

из множества I_x . Устранить это несоответствие можно путем ввода коэффициентов b_j опасности действий каждого типа нарушителя из множества I_x . При этом коэффициенты b_j опасности действий типов нарушителей должны:

- 1) связывать уязвимость предметов охраны с конкретным типом нарушителя, применяющим некоторое множество возможных сценариев воздействия на них;
- 2) отвечать следующим требованиям:

$$b_j > 0, \text{ где } j = \overline{1, n_x} \text{ и } \sum_{j=1}^{n_x} b_j = 1.$$

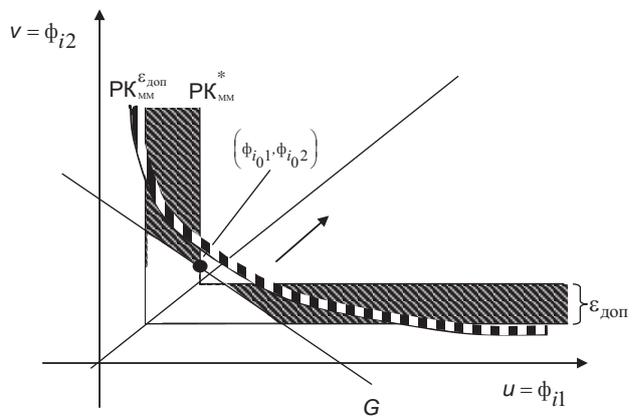


Рис. 1. Выбор решения в соответствии с Р(ММ)-критерием

Литература

1. Подиновский В.В. Математическая теория выработки решений в сложных ситуациях. М.: МО СССР, 1981. 313 с.
2. Мушик Э., Мюллер П. Методы принятия технических решений: Пер. с нем. М.: Мир, 1990. 208 с.
3. Жуковский В.И., Жуковская Л.В. Риск в многокритериальных и конфликтных системах при неопределенности / Под ред. В.С. Молостова. М.: УРСС, 2004. 272 с.
4. Катуев А.Н., Северцев Н.А. Математические методы в системах поддержки принятия решений: Учеб. пособие. М.: Высш. шк., 2005. 311 с.
5. Гапоненко В.А. Построение оценочной функции критерия выбора рационального варианта системы безопасности // Теоретические вопросы физики космоса, баллистики и практической космонавтики. Проблемы технической безопасности / Под ред. В.Л. Лукина. Сборник трудов СИП РИА. Выпуск №13. М.: СИП РИА, 2005. С. 108-126.

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 681.324

АЛГОРИТМ ГЕНЕРАЦИИ СЛУЧАЙНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ С ПРОРЕЖИВАЮЩЕЙ ФИЗИЧЕСКИ НЕКЛОНИРУЕМОЙ ФУНКЦИИ НА БАЗЕ СОЗУ

ALGORITHM FOR GENERATING RANDOM SEQUENCES WITH A GAPPING PHYSICALLY NONCLONABILITY FUNCTION BASED ON SRAM

Семён Валерьевич Суханов

аспирант

МОУ «ИИФ»

Адрес: 142209, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)35-31-93

Алексей Михайлович Рязанцев

кандидат технических наук

начальник отдела
МОУ «ИИФ»

Адрес: 142209, Московская обл., г. Серпухов,
Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)35-31-93

Павел Алексеевич Сусакин

инженер-программист

МОУ «ИИФ»

Адрес: 142209, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)35-31-93

Ирина Олеговна Глотова

техник-программист

МОУ «ИИФ»

Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)35-31-93

Аннотация

В статье рассматривается модифицированный алгоритм генерации случайных последовательностей на базе регистра сдвига с линейной обратной связи и физически неклонируемой функцией на основе статической ОЗУ. Данный алгоритм позволяет формировать последовательность с высокой степенью непредсказуемости и большим периодом повторения.

Ключевые слова: генерация случайных последовательностей, физически неклонируемые функции, регистр сдвига с линейной обратной связью.

Summary

This article deals with a modified algorithm for generating random sequences based on a shift register with linear feedback and physical unclonable function SRAM. This algorithm can generate a sequence with a high degree of unpredictability and the big of period repetition.

Key words: random sequence generation, physical unclonable functions, linear feedback shift register.

Важный класс вычислительных алгоритмов, востребованных на практике, – алгоритмы генерации случайных последовательностей (СП). По определению, СП – последовательно формируемый массив значений, в котором каждый очередной элемент получен вне всякой связи с другими его элементами и появление этого элемента возможно с вероятностью, подчиненной некоторому закону распределения.

Существует два основных способа генерации случайных последовательностей: программный

и аппаратный. Аппаратные генераторы случайных последовательностей (ГСП) представляют собой устройства, преобразующие в цифровую форму какой-либо параметр окружающей среды или физического процесса. К программным ГСП относятся различные алгоритмы генерирования последовательности чисел, которая по своим характеристикам напоминает случайную.

В большинстве случаев последовательности, получаемые по некоторому алгоритму, являются псевдослучайными. Это происходит из-

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

за того, что связь между значениями в последовательности, получаемой программным путем, обычно все-таки существует [1]. С целью предотвращения данного факта можно использовать различные источники энтропии. Одним из таких источников являются физически неклонированные функции.

Физически неклонированные функции (ФНФ) – это физические системы (устройства), неотъемлемым свойством которых является неклонированность (неповторяемость) некоторых их функций, свойств, характеристик либо параметров [2]. ФНФ наследуют это свойство из того факта, что состоят из множества компонент, параметры которых в процессе создания подобных физических систем принимают случайные значения. Величинами параметров компонент в процессе создания систем в силу их физической сущности принципиально невозможно управлять, задавая им конкретные значения. Результатом всегда будет случайное значение параметра компоненты конкретной физической системы. Наличие случайных элементов, а также невозможность контролировать эти элементы во время производства делают ФНФ уникальными и физически неклонированными. При подаче некоторого сигнала (запроса) на вход подобная система формирует выходной сигнал (ответ) – в виде фиксированного значения случайного параметра компоненты, которое для разных систем будет различным.

Более общее определение ФНФ как системы со сверхбольшим объемом информации (Super High Information Content, SHIC) было предложено У. Рухрмайром [3]. Он определил, что ФНФ – это сложные неупорядоченные физические системы с чрезвычайно большим объемом структурной информации, которые удовлетворяют следующим свойствам:

1) структурная информация подобных систем может быть извлечена надежно и неоднократно путем проведения измерений для различных запросов C_i и получения ответов R_i ;

2) количество возможных запросов C_i должно быть настолько велико, что значения всех соответствующих ответов R_i не могут быть получены путем перебора всех возможных запросов C_i за реальный временной промежуток;

3) ввиду наличия в системе чрезвычайно большого объема структурной информации должно быть невозможным смоделировать, рассчитать, или каким-либо другим математическим способом предсказать пару запрос – ответ (C_i, R_i), зная другую пару (C_j, R_j) или некоторое множество таких пар;

4) для физической системы с чрезвычайно большим объемом структурной информации

должно быть чрезвычайно сложным ее физическое воспроизведение или клонирование как аналогичной физической системы, описываемой идентичным множеством пар запрос – ответ.

Существует множество конструкций ФНФ [4, 5], но в данной статье будет рассмотрена только одна ФНФ на базе статического оперативного запоминающего цифрового устройства (СОЗУ).

СОЗУ – полупроводниковая оперативная память, в которой каждый двоичный или троичный разряд хранится в схеме с положительной обратной связью, позволяющей поддерживать состояние без регенерации, необходимой в динамической памяти. Тем не менее, сохранять данные без перезаписи СОЗУ может только пока есть питание, то есть СОЗУ является энергозависимым типом памяти.

СОЗУ состоит из ячеек, способных находиться в одном из двух состояний: логической единицы и нуля. Основой ячейки памяти в СОЗУ является триггер.

Ячейка СОЗУ имеет три возможные рабочие точки, из которых только две являются стабильными и одна метастабильной. При подаче питания ячейка переходит в одну из стабильных точек ($A=0$ или $A=1$). Любое небольшое отклонение от метастабильной точки усиливает положительную обратную связь и схема меняет значение вероятности перехода метастабильной точки к одной из двух стабильных точек (рисунк 1). Так как электронные схемы подвержены незначительным отклонениям параметров вследствие случайного шума, ячейки СОЗУ никогда не находятся в метастабильном состоянии, и быстро переходят в одно из двух стабильных состояний (случайно).

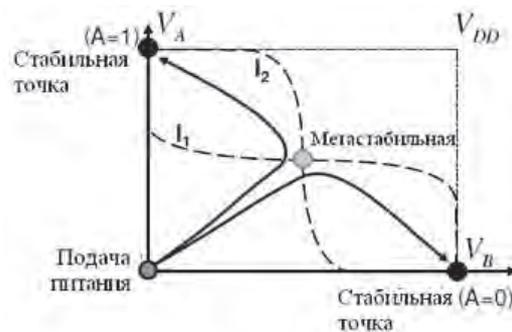


Рис. 1. График зависимости напряжения выхода инвертора A от напряжения выхода инвертора B

Умышленно используя данный факт, можно использовать СОЗУ в качестве источника энтропии. ФНФ СОЗУ исследовались различными специалистами и был доказан факт, что после подачи питания ячейки принимают различные состояния [6].

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Алгоритм генерации СП

В [7] разработан алгоритм генерации СП на основе регистра сдвига с линейной обратной связью (РСЛОС) и ФНФ СОЗУ. В данном алгоритме на каждом такте работы регистра сдвига в линию обратной связи добавлялся бит от ФНФ СОЗУ.

Основными достоинствами данного алгоритма являются:

- улучшение статистических свойств формируемой последовательности;
- защита от вскрытия алгоритмом Мессис-Берлекемпа.

Основным недостатком алгоритма является небольшой период повторения формируемой последовательности. Т.к. алгоритм формировал истинно случайную последовательность только до тех пор, пока значения с ФНФ СОЗУ не заканчивались, т.е. последовательность ограничивалась размером памяти СОЗУ.

С целью повышения периода повторения последовательности был модифицирован данный алгоритм, схема работы которого представлена на рисунке 2.

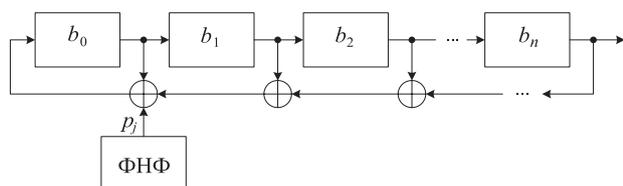


Рис. 2. Модифицированная схема РСЛОС с ФНФ СОЗУ

Как и в исходном алгоритме в линию обратной связи добавляется ФНФ СОЗУ, которая добавляет в неё бит данных. Однако, этот случайный бит добавляется не на каждом такте работы регистра сдвига, а на заранее установленном. Таким образом происходит прореживание последовательности и увеличение периода повторения. При этом, чем больше значение прореживания, тем длиннее становится период повторения. Математический алгоритм может быть описан следующей формулой:

$$x_i = \begin{cases} \sum_{k \in A} b_k, & \text{если } i \bmod m \neq 0 \\ p_j \oplus \sum_{k \in A} b_k, & \text{если } i \bmod m = 0 \end{cases} \quad (1)$$

$i \in [1, L];$
 $j \in [1, n].$

где \oplus – сложение по модулю 2;
 b_k – значение с k -ой ячейки регистра сдвига;
 A – массив, задающий структуру регистра сдвига;
 i – номер такта работы регистра сдвига, $i \in [1, L];$
 L – длина формируемой последовательности;
 p_j – значение j -ой ячейки памяти СОЗУ;
 m – номер такта прореживания ФНФ СОЗУ;
 n – размер памяти СОЗУ.

Алгоритм работы РСЛОС с прореживающей ФНФ СОЗУ представлен на рисунке 3.

Он включает в себя следующие действия:

- 1) ввод структуры регистра сдвига (A) и начальное заполнение ячеек b_l случайными двоичными значениями ($random(0,1)$), где $size(LSRF)$ – размер РСЛОС. Далее задается длина формируемой последовательности (L) и период добавления бита от ФНФ (m). Получение битовой последовательности от ФНФ СОЗУ (PUF), с их записью в $p_j, j = \overline{1, n}$, где n – количество ячеек СОЗУ;
- 2) запуск регистра сдвига;
- 3) проверка условия $i \bmod m = 0$. В случае истинности условия переходим к шагу 4, в противном случае к шагу 6;
- 4) с p -ых ячеек регистра, а так же с j -ого элемента массива p осуществляется съем данных и вычисляется значение

$$p_j \oplus \sum_{k \in A} b_k,$$

которое помещается в первую ячейку регистра сдвига b_0 ;

- 5) значения счетчика j увеличивается на единицу;
- 6) проверяется количество использованных бит с ФНФ. В случае, если количество бит (j) соответствует размеру СОЗУ (p), то осуществляется переход к шагу 7. В противном случае осуществляется переход к шагу 9;
- 7) значение счетчика j обнуляется и осуществляется переход к шагу 9;
- 8) с k -ых ячеек регистра происходит съем данных и вычисляется значение

$$\sum_{k \in A} b_k,$$

которое помещается в первую ячейку регистра сдвига b_0 ;

- 9) осуществляется сдвиг значений ячеек вправо на одну позицию, при этом каждая l -я ячейка принимает значения от $l-1$ -й ячейки. Значение n -ой ячейки является очередным символом выходной последовательности;
- 10) значение счетчика i увеличивается на единицу;

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

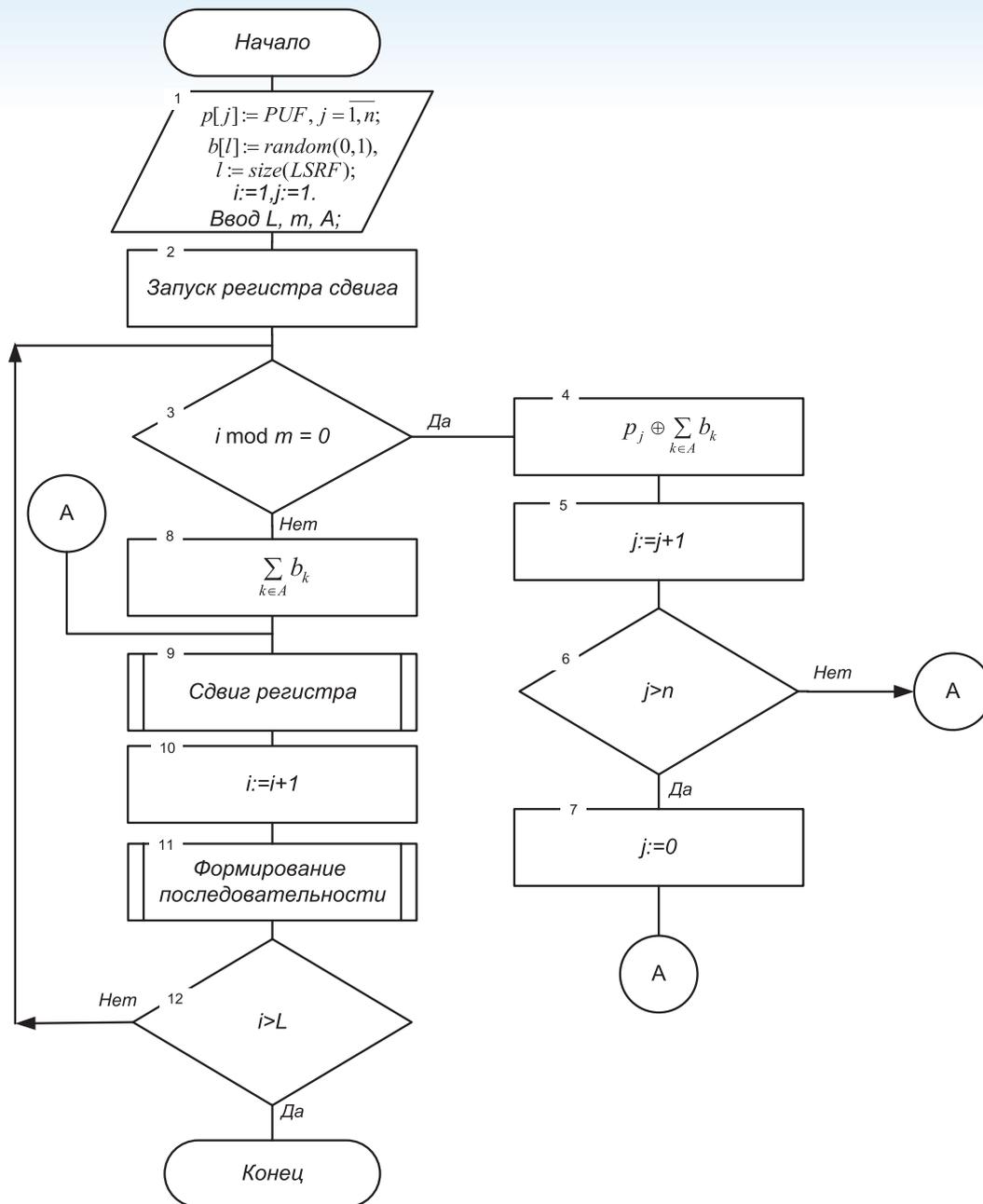


Рис. 3. Алгоритм работы РСЛОС с прореживающей ФНФ СОЗУ

11) к формируемой последовательности добавляется бит;

12) проверяется длина сформированной последовательности. В случае, если длина не соответствует заданной (L), то работа алгоритма продолжается начиная с 3 шага. В случае, если сформированная длина соответствует заданной, то работа алгоритма заканчивается.

Оценка алгоритма генерации СП

В качестве эксперимента был взят классический РСЛОС, чья структура описывается харак-

теристическим многочленом вида:

$$f(x) = x^{32} + x^7 + x^5 + x^3 + x^2 + x. \quad (2)$$

Оценка производилась с использованием статистических тестов NIST [8]. Были сгенерированы последовательности длиной 1500000 бит от РСЛОС с ФНФ СОЗУ и РСЛОС с прореживающей ФНФ СОЗУ. Каждая последовательность поделена пакетом на 10 выборок по 150000 бит. Результаты оценки приведены в таблице 1.

Из таблицы 1 видно, что у модифицированного алгоритма увеличилось качество формиру-

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Таблица 1
Результаты тестирования

Название статистического теста	Процент выборок, прошедших тест	
	РСЛОС с ФНФ СОЗУ	РСЛОС с прореживающей ФНФ СОЗУ
Частотный тест	100,0	100,0
Частотный блочный тест	100,0	100,0
Тест на последовательность одинаковых бит	100,0	100,0
Тест на самую длинную последовательность единиц в блоке	100,0	100,0
Тест рангов бинарных матриц	100,0	100,0
Спектральный тест	100,0	100,0
Тест неперекрывающихся шаблонов	148/148 (среднее 95,0)	148/148 (среднее 98,9)
Тест перекрывающихся шаблонов	100,0	100,0
Универсальный статистический тест Маурера	100,0	100,0
Тест на линейную сложность	90,0	100,0
Тест на периодичность	100,0 / 100,0	100,0 / 100,0
Тест приближительной энтропии	100,0	100,0
Тест кумулятивных сумм	100,0/100,0	100,0/100,0
Тест на произвольные отклонения – 1		8/8 (среднее 92.9)
Тест на произвольные отклонения – 2		16/16(среднее 93.5)

емых случайных последовательностей. В частности, удалось добиться лучших показателей при прохождении следующих тестов: тесты на произвольные отклонения, тест неперекрывающихся шаблонов, тест на линейную сложность.

Кроме того, в исходном алгоритме, в отличие от модифицированного, присутствует периодичность в формируемой последовательности.

Заключение

В данной статье был модифицирован алгоритм генерации СП [7] за счет прореживания последовательности, формируемой ФНФ СОЗУ.

Сформированная последовательность была оценена с помощью статистических тестов NIST, результаты которых показали лучшее качество, по сравнению с существующим алгоритмом.

Литература

1. Кнут Д. Искусство программирования. Получисленные алгоритмы: 3-е издание.: Пер. с англ.:

учеб. пособие. М.: Издательский дом «Вильямс», 2001. 832 с.

2. Ярмолик В.Н. Физически неклонируемые функции / Ярмолик В.Н., Вашичко .Г. // Информатика, 2011. №2. С.92-103.

3. Ruhrmair U., Busch H., Katzenbeisser S. Strong PUFs: Models, Constructions, and Security Proofs – Berlin: Springer, 2010 – 403 p.

4. Maes R. Physically Unclonable Functions: Constructions, Properties and Applications: Ph.D thesis. – Heverlee, 2012. – 235 p.

5. Pappu R. Physical One-Way Functions: Ph.D Thesis. – Cambridge, 2001. – 154 p.

6. Holcomb D. Powerup SRAM State as identifying fingerprint and source of true random numbers / Holcomb D., Burleson W., Fu K. // IEEE Transaction on computers, 2008. – №9(58). – p. 1198-1210.

7. Суханов С.В., Коваленко А.П., Букин А. Г. Метод улучшения статистических свойств последовательностей случайных чисел на основе физически неклонируемых функций // Известия Института инженерной физики, 2015. №2 С. 33-37.

8. Иванов М. А., Чугунков И. В. Теория, применение и оценка качества генераторов псевдослучайных последовательностей. Серия СКБ. Книга 2. М.: КУДИЦ-ОБРАЗ, 2003. 240 с.

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 004.942:004(946+5+7)

**ВИРТУАЛЬНЫЙ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЙ
ПОЛИГОН: ОТ СИСТЕМ МОДЕЛИРОВАНИЯ
КИНЕМАТИКИ РОБОТОВ К ВИРТУАЛЬНОЙ
СРЕДЕ УПРАВЛЯЕМОГО СИМУЛИРОВАНИЯ
ИЗМЕНЧИВОГО ОКРУЖЕНИЯ РОБОТОВ
И ПРИРОДНЫХ ПРОЦЕССОВ**

**VIRTUAL ROBOTIC TEST SITE FROM ROBOT
KINEMATICS MODELING SYSTEMS
TO A VIRTUALIZED ENVIRONMENT MANAGED
SIMULATE ROBOTS CHANGING ENVIRONMENT
AND NATURAL PROCESSES**

Евгений Валерьевич Умников

ведущий инженер
МОУ «ИИФ»

Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов,

Большой Ударный пер., д. 1а

Тел.: +7(4967)35-31-93

E-mail: rtk@iifmail.ru

Аннотация

В статье рассмотрены ключевые особенности современных программных средств моделирования робототехнических систем и обозначены возможные аспекты оценки эффективности при симулировании процессов изменчивого окружения.

Ключевые слова: системы симуляции РТК, моделирование, динамическая симуляция, многоцелевой виртуальный робототехнический полигон, система человек-РТК-среда, параметры эффективности РТК, оценка эффективности, предельные варьируемые воздействия, импульсно-перцептные измерения.

Summary

The article describes the key features of modern robotic simulation systems and define the possible aspects of the evaluation of the effectiveness of processes in simulating a changing environment.

Key words: simulation system RTC, modeling, dynamic simulation, virtual multi-purpose robotic test site, the system man-RTC-environment parameters RTC efficiency, performance evaluation, limiting the impact of varying pulsed-pertseptnye measurement.

Текущее состояние, существующие инструменты моделирования РТК

Рост вычислительной мощности современных компьютеров и широкий интерес к разработке все более интеллектуальных роботизированных систем стимулировали появление множества программных средств для моделирования самых разных аспектов функционирования роботов: от решающих простейшие задачи кинематики механизмов, до весьма сложных систем симуляции динамики робототехнических комплексов (РТК),

таких как: Player/Stage/Gazebo [1, 2], TeamBots [3], Marilou (anyKode) [4], Webots (Cyberbotics) [5], V-REP (Virtual Robot Experimentation Platform) [6], ARS (Autonomous Robot Simulator) [7], OpenSimulator [8], Simbad [9].

Современные системы симуляции РТК имеют, как правило, модульную структуру, позволяющую использовать широкодоступные высокопроизводительные библиотеки программных модулей и «физические движки», таких как: ODE, Bullet, DART, Simbody. «Физический дви-

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

жок» (англ. physics engine) – компьютерная программа, для моделирования физических законов реального мира в виртуальном мире, с той или иной степенью аппроксимации [10]. Полезные обзоры здесь: «Updated review of robotics software platforms» [11, 20, 21].

Наиболее продвинутые системы симуляции обладают средствами удаленного подключения аппаратных и программных компонентов РТК через разнообразные интерфейсы и плагины, имеют возможности моделирования различных сенсорных систем с учетом шумов, используют «облачные» технологии.

Российские разработчики и исследователи активно осваивают:

- V-REP – [12, 13, 14], в оригинале – [15].
- Gazebo – [16-19].

С помощью систем симуляции РТК решают следующие основные задачи: быстрое прототипирование, верификация, разработка и отладка алгоритмов управления, исследования, образовательные цели.

Очевидна общая тенденция в наиболее часто применяемых системах, таких как V-REP или Gazebo, к универсальности и выполнению задачи моделирования/симуляции с учетом все более расширяющихся требований и условий.

Несмотря на это, существует специализация систем симуляции по направлениям проблематик, которые сопутствуют моделированию, и требуется проводить аналитическое сопоставление актуальных на момент принятия решения возможностей для взвешенного выбора среды моделирования под конкретные особенности решаемой задачи.

Ключевые возможности, реализация которых присутствует (или ожидается к появлению) в большинстве систем симуляции РТК, следующие.

Динамическая симуляция – доступ к использованию множества высокопроизводительных физических движков, таких как ODE, Bullet, Simbody, and DART.

Современная 3D графика – использование графических библиотек OGRE, Gazebo дает реалистичный рендеринг окружения РТК, включая световые источники, тени и текстуры поверхности.

Сенсоры – генерация потока данных с виртуальных сенсоров (при необходимости с заданным уровнем шума) от различных источников, таких как лидары, 2D/3D камеры, акселерометры и гироскопы, сенсоры контакта, сило-момента и т.п.

Плагины – возможность расширения имеющегося функционала системы путем встраивания специфических элементов робота, сенсоров и контроля среды путем задействования низко-

уровневых API (англ. application programming interface – набор готовых классов, процедур, функций, структур и констант, предоставляемых приложением, библиотекой, сервисом, системой для использования в сторонних программных продуктах).

Библиотеки моделей роботов – поддержка набора готовых тестовых РТК, например: PR2, Pioneer2 DX, iRobot Create, TurtleBot, и возможность разработки собственного.

Поддержка сети TCP/IP – запуск симуляции на удаленном сервере и подключение к нему локально моделируемых компонентов РТК, например, используя Google Protobufs.

Облачная симуляция – возможность использовать ресурсы облачных вычислений, типа CloudSim, для запуска Gazebo на Amazon, Softlayer, или в собственном облаке.

Командные утилиты – набор инструментов командной строки, облегчающий автоматизацию моделирования, самоанализ и контроль.

На *рисунке 1* приведены примеры включения объектов управления в среде симуляции V-REP, где 1 – C/C++ вызовы API, 2 – каскадный запуск дочерних скриптов, 3 – вызовы Lua API, 4 – пользовательские обратные вызовы Lua API, 5 – обратные вызовы событий V-REP, 6 – удаленные (внешние) вызовы функций API, 7 – стороннее подключение узлов ROS, 8 – пользовательские интерфейсы удаленных сетевых подключений.

Перспективы создания виртуальной среды управляемого симулирования динамики реальности

Задачи, стоящие перед разработчиками все более сложных и гетерогенных группировок РТК, вынуждают системы симулирования РТК «расти» в сторону все более комплексного охвата моделированием сколько-нибудь существенных условий и проявлений внешней среды и окружения при предполагаемом функционировании РТК.

С постепенным переходом к моделированию все более детально «оцифрованной» окружающей среды становится очевидным: данный тренд развития пока уверенно идет от *детерминированных* статических условий среды к динамическим и ограничивается, с одной стороны, степенью важности деталей для разработчика и ростом сложности и ресурсоемкости моделирования, с другой.

С моделированием *вероятностных* процессов и ситуаций все обстоит сложнее. Сейчас разработчикам приходится определять наиболее значимые и вероятные факторы, вводить их как

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

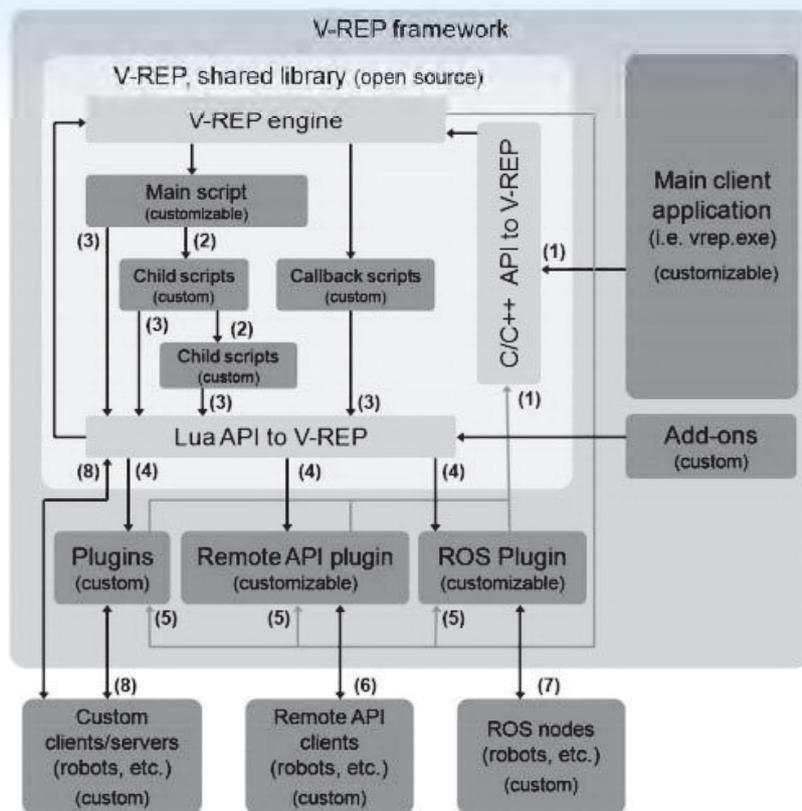


Рис. 1. Архитектура управления V-REP [15]

крайнее условие моделирования. Полученные результаты моделирования с некоторой долей уверенности еще можно считать достаточными. Тяжелее, если результаты моделирования процессов управления РТК в вероятностных условиях необходимо комплексировать с результатами моделирования поведения гетерогенных робототехнических систем.

Наконец, самое сложное – моделирование человеко-машинных комплексов, содержащих элементы, учитывающие «человеческий фактор» оператора РТК, вероятностный «фактор надежности нейросети/искусственного интеллекта», а также вероятности неблагоприятных сочетаний факторов, связанных с симулированной динамикой среды и результатами ее воздействия на окружение моделируемых РТК.

Несмотря на сложность достижения все более полного симулирования системы человек-РТК-среда в отдаленной перспективе, некоторые подходы можно реализовывать и оценить уже сейчас на имеющихся программных средствах, учитывая, что лучшие из них распространяются по лицензии свободного доступа и с открытым исходным кодом.

Аспекты оценки РТК и оператора при симулировании динамических процессов окружения

Имеет практическую значимость определение сравнительных параметров эффективности РТК (в том числе, как человеко-машинной системы, функционирующей в симулируемом окружении виртуального полигона с вероятностными свойствами моделируемых процессов):

- оценка эффективности совместной работы ключевых подсистем РТК в условиях динамического окружения (например, связки «сенсор-система управления» или «система управления-эффектор»);
- оценка интегральной и текущей эффективности одиночного телеуправляемого или автономного РТК;
- сравнение и оценка эффективности функционирования системы из нескольких РТК, включая разнородные;
- оценка предельных варьируемых воздействий моделируемой среды на систему РТК-оператор;

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

– оценка эффективности комплексирования взаимодействия людей и РТК с разной степенью автономности при условиях ограничений и воздействий;

– оценка эффективности работы операторов РТК в стрессовых ситуациях.

Многоцелевой виртуальный робототехнический полигон (ВП), концепция которого была разработана в предыдущей работе автора [22], предполагает создание распределенной программно-аппаратной платформы симулирования процессов человеко-машинных многоагентных систем РТК с применением новейших средств моделирования РТК и методик комплексной оценки эффективности.

Необходимо отметить, что развитие измерительных систем и постоянное повышение требований к их характеристикам, приводит к ситуации, когда режимы функционирования измерительных систем должны качественно изменяться (значительные изменения требований по условиям функционирования вызывает необходимость принципиального изменения методов измерения). В частности, во многих случаях возникают повышенные, взаимоисключающие требования по одновременному достижению расширения диапазона измерений и высокой точности (чувствительности) определения физических величин. Дальнейшее применение в измерительных системах режима позиционных измерений не дает возможности преодолеть указанное противоречие. Выход из этой ситуации дает переход к режиму импульсно-перцептных измерений [23] различных физических величин. Гибкость модульной структуры современных систем симуляции РТК позволяет моделировать применение перспективных импульсно-перцептных измерителей и оценивать эффективность их использования.

Литература

1. URL: <http://gazebosim.org/>
2. URL: <http://www.willowgarage.com/pages/software/player>
3. URL: <http://www.teambots.org/>
4. URL: <http://www.anycode.com/downloads.php>
5. URL: <http://www.cyberbotics.com/>
6. URL: <http://www.coppeliarobotics.com/>
7. URL: <http://ars-project.readthedocs.io/en/latest/>
8. URL: http://opensimulator.org/wiki/Main_Page
9. URL: <http://simbad.sourceforge.net/>
10. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Физический_двигок
11. URL: <http://linuxdevices.linuxgizmos.com/updated-review-of-robotics-software-platforms/>
12. URL: <https://habrahabr.ru/company/makeitlab/blog/253357/>
13. URL: <https://geektimes.ru/post/260370/>
14. URL: <https://geektimes.ru/post/264666/>
15. Eric Rohmer, Surya P. N. Singh, Marc Freese V – REP: a Versatile and Scalable Robot Simulation Framework – IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems – November 2013.
16. URL: <https://habrahabr.ru/company/robotgeeks/blog/258911/>
17. Клавдиенко А.А., Манохина А.Н. Обзор инструментов моделирования бипедальных роботов, 2016.
18. Афанасьев И.М., Сагитов А.Г., Данилов И.Ю., Магид Е.А. Навигация гетерогенной группы роботов (БПЛА и БНР) через лабиринт в 3D симуляторе Gazebo методом вероятностной дорожной карты // II Всероссийский научно-практический семинар «Беспилотные транспортные средства с элементами искусственного интеллекта», Международная научно-техническая конференция «Экстремальная робототехника» (ЭР-2015), 8-9 октября 2015 г., Санкт-Петербург.
19. Манохина, А.Н. Использование игровых движков для разработки систем моделирования робототехнических устройств // Конференция «Интеграция мировых научных процессов как основа общественного прогресса», 2015. С. 131–137.
20. Boeing, A. Evaluation of real-time physics simulation systems / A. Boeing, T. Brunl. – ACM Press, 2007. – P. 281.
21. Erez, T. Simulation Tools for Model – based Robotics: Comparison of Bullet, Havok, MuJoCo, ODE and PhysX / T. Erez, Y. Tassa, E. Todorov. – IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), Seattle, WA, USA, 2015.
22. Умников Е.В., Грачев В.А., Мурашов А.Г. Концепция многоцелевого виртуального робототехнического полигона // Материалы 11-й Всероссийской научно-практической конференции «Перспективные системы и задачи управления»; Южный федеральный университет: Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета. Т. 2, 2016.
23. Умников В.Н. Виртуализация и импульсно-перцептные измерения: МО СССР, 1989.

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 004.056.55

КРИПТОГРАФИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И МЕТОД ФАКТОРИАЛЬНОГО СЖАТИЯ ИНФОРМАЦИИ

CRYPTOGRAPHIC SYSTEMS AND FACTORIAL DATA COMPRESSION METHOD

Дмитрий Борисович Николаев

кандидат технических наук, доцент

соискатель кафедры
ведущий научный сотрудник
ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»

Адрес: 607188, Нижегородская обл., г. Саров,
пр-т Мира, д. 37
Тел.: +7(910)798-80-26

Александр Петрович Мартынов

доктор технических наук, профессор

начальник научно-исследовательского отдела
ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»

Адрес: 607188, Нижегородская обл.,
г. Саров, пр-т Мира, д. 37
Тел.: +7(915)935-99-17

Инна Александровна Мартынова

аспирант

МФТИ (ГУ)

Адрес: 141701, Московская обл., г. Долгопрудный,
Институтский пер., д. 9
Тел.: +7 (495) 408-45-54

Аннотация

Статья посвящена разработке программно-математического обеспечения для обработки и защиты результатов физических исследований и экспериментов реализуемых на практике метод факториального сжатия.

Ключевые слова: криптографическая система, злоумышленник, априорные вероятности, апостериорные вероятности, ключ, стойкость, коэффициент сжатия, элементы перестановки, факториальные множества.

Summary

The article is devoted to the development of software for processing and protection of the results of physical research and experiments realized in practice, the method factorial compression.

Key words: the cryptographic system, an attacker, a priori probability, a posteriori probability, the key resistance, the compression ratio, the elements of the permutation, factorial sets.

Криптографическую систему в общем случае можно представить как некоторое множество отображений одного пространства S (возможных сообщений) в другое пространство E (возможных криптограмм) и наоборот. Каждое конкретное отображение из этого множества соответствует способу преобразования при помощи конкретного ключа K_i [1-3].

Общий вид криптографической системы в соответствии с [1-3] приведен на *рисунке 1*.

Криптограмма является функцией исходного сообщения и ключа

$$E = F(S, K). \quad (1)$$

В дешифраторе выполняется обратное преобразование

$$S = F^{-1}(E, K). \quad (2)$$

Предполагается, что злоумышленник перехватывает криптограмму, передаваемую с выхода шифратора на вход дешифратора.

Априорные вероятности ключа $P(K)$ и сообщения $P(S)$ являются его априорными знаниями о криптографической системе. Злоумышленник обладает также априорными знаниями относительно множества отображения одного множества (сообщений) в другое множество (криптограмм), но не знает, какое именно отображение

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

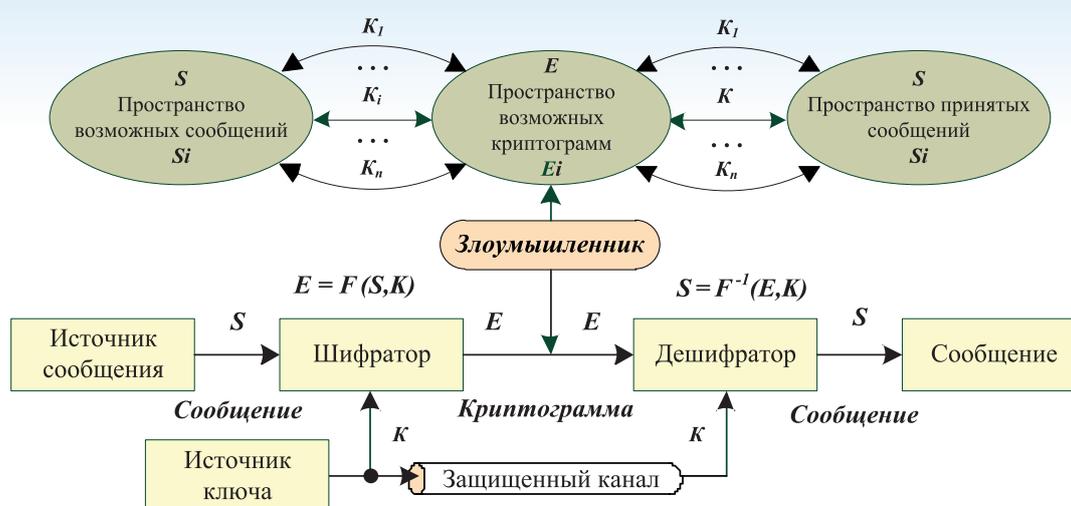


Рис. 1. Общий вид криптографической системы

будет выбрано, так как не знает конкретного выбранного ключа.

Апостериорные вероятности различных сообщений $P_E(S)$ могут быть вычислены злоумышленником после перехвата криптограммы E . Если для всех сообщений криптографической системы апостериорные вероятности равны априорным вероятностям, то можно сказать, что перехват криптограммы не дает злоумышленнику никакой дополнительной информации об исходном сообщении. Такую криптографическую систему можно считать *совершенно стойкой*.

Необходимое и достаточное условие *совершенной стойкости* криптографической системы записывается в следующем виде:

$$P(S/E) = P(S) P(E/S) / P(E), \quad (3)$$

где $P(S)$ – априорная вероятность сообщения S ; $P(E/S)$ – условная вероятность криптограммы E при условии, что выбрано сообщение S , т.е. сумма вероятностей всех тех ключей, которые переводят сообщение S в криптограмму E ; $P(E)$ – вероятность получения криптограммы E ; $P(S/E)$ – апостериорная вероятность сообщения S при условии, что перехвачена криптограмма E .

Для совершенной стойкости системы ее апостериорная вероятность должна быть равной априорной вероятности $P_E(S) = P(S)$. Следовательно $P_S(E) = P(E)$ для любых S и E .

И наоборот, если $P_S(E) = P(E)$, то $P_E(S) = P(S)$, и криптографическая система является *совершенно стойкой*.

Необходимое и достаточное условие для *совершенной стойкости* состоит в том, что

$$P_S(E) = P(E) \quad (4)$$

для всех S и E , т.е. $P_S(E)$ не должно зависеть от S .

Совершенно стойкие криптографические системы, в которых число криптограмм равно числу сообщений, характеризуются следующими двумя свойствами:

- 1) каждое S связывается с каждым E только одной линией соответствующей выбранному ключу;
- 2) все ключи равновероятны.

Пример графического способа изображения такой системы, приведен на *рисунке 2*.

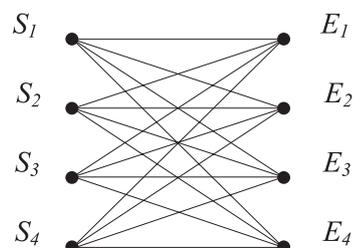


Рис. 2. Пример графического способа изображения криптографической системы

Основными операциями в криптографии являются операции и подстановки (когда одни элементы сообщения заменяются на другие) и перестановки (когда составные элементы сообщения переставляются местами) [1-3].

Перестановку можно осуществлять на уровне слов, символов или отдельных бит информации. Если в примере, приведенном на рисунке 2, сообщения $S = \{a_1, a_2, a_3, \dots, a_n\}$ и криптограммы $E = \{b_1, b_2, b_3, \dots, b_n\}$ заменить на их составные элементы (слова, символы, биты), то данный пример будет соответствовать графическому способу представления функции перестановки. Ос-

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

новными способами представления функций перестановки являются [1-2]: графический, аналитический и табличный.

При их сравнении табличный способ является наиболее удобным и наглядным для представления в дискретной форме, когда каждый элемент перестановки представляется соответствующим ему определенным числом. Однако этот способ обладает определенной информационной избыточностью, которая ведет к увеличению используемых ресурсов памяти и снижению криптографической стойкости всей системы.

Количественную оценку избыточности можно представить в следующем виде.

Перестановка из N элементов представляется табличным способом в дискретной форме в виде последовательности N дискретных значений, соответствующих элементам. Последовательность имеет разрядность R_1 бит:

$$R_1 = N \text{ RAUND}(\log_2 N), \quad (5)$$

где $\text{RAUND}(A)$ – наименьшее целое число, не меньшее числа A .

С другой стороны, перестановка из N элементов может быть однозначно представлена в дискретной форме соответствующим ей натуральным числом разрядности R_2 :

$$R_2 = \text{RAUND}(\log_2(N!)), \quad (6)$$

Из выражений (5) и (6) видно, что $R_1 > R_2$ при любом значении N и при табличном способе дискретного представления перестановки из N элементов возникает избыточность.

Следует отметить, что табличное представление перестановки из N элементов имеет избыточ-

ность при любом значении N , а не только для N , не кратных 2, как может показаться на первый взгляд. Это объясняется тем, что число возможных перестановок из N элементов равно $N!$, в то время как для выражения (1) максимальное двоичное число разрядности R равно N^N для N , кратных 2, и не менее N^N для N , не кратных 2, которое больше $N!$. Для любого натурального $N > 1$.

График зависимости избыточности табличного способа представления от количества элементов перестановки приведен на *рисунке 3*.

Анализ способов представления перестановок с целью сокращения избыточности информации в их дискретной форме привел к созданию специалистами РФЯЦ-ВНИИЭФ Мартыновым А.П., Николаевым Д.Б., Курочкиным А.А. и Фомченко В.Н. метода факториального сжатия [4, 5].

Суть метода заключается в представлении перестановки в виде однозначно соответствующего ей натурального числа. Исходная перестановка представляется табличным способом. График зависимости коэффициента сжатия дискретного информационного блока по методу факториального сжатия от количества элементов перестановки приведен на *рисунке 4*.

Как видно из рисунков 3 и 4, предложенный метод позволяет практически полностью исключить информационную избыточность, возникающую при дискретном представлении перестановки из N элементов, и достигает, таким образом, максимального теоретически возможного сжатия дискретных информационных блоков, соответствующих перестановкам.

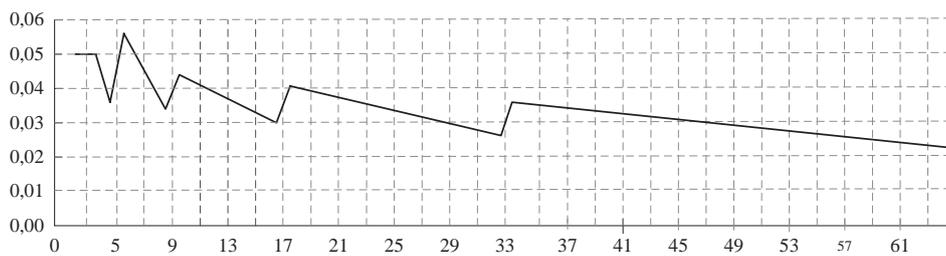


Рис. 3. Зависимость избыточности от числа элементов перестановки

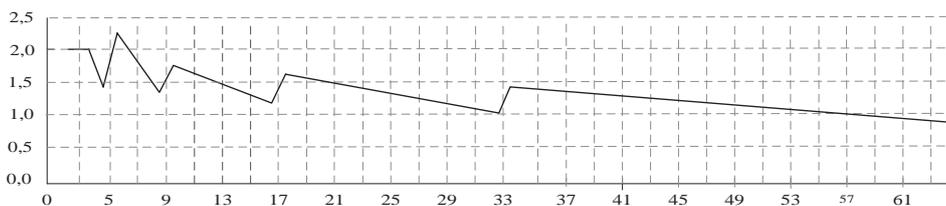


Рис. 4. Зависимость коэффициента сжатия от числа элементов перестановки

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 681.513.54

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ПРОГНОЗИРУЮЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНЫМ ГУСЕНИЧНЫМ РОБОТОМ

THE FORMULATION OF PREDICTIVE CONTROL MOBILE CRAWLER ROBOT

Александр Архипович Кобзев

доктор технических наук, профессор
заведующий кафедрой
Владимирский государственный
университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых
Адрес: 600000, г. Владимир, ул. Горького, 87
Тел.: +7(4922)479-863
E-mail: kobzev42@mail.ru

Владимир Александрович Немонтов

кандидат технических наук, профессор
профессор кафедры
Владимирский государственный университет
им. А.Г. и Н.Г. Столетовых
Адрес: 600000, г. Владимир, ул. Горького, 87
Тел.: +7(4922)479-863
E-mail: n_v_a@list.ru

Юрий Евгеньевич Мишулин

кандидат технических наук, доцент
доцент кафедры
Владимирский государственный
университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых
Адрес: 600000, г. Владимир, ул. Горького, 87
Тел.: +7(4922)479-863
E-mail: mishulin59@mail.ru

Анастасия Владимировна Лекарева

аспирант
Владимирский государственный
университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых
Адрес: 600000, г. Владимир, ул. Горького, 87
Тел.: +7(4922)479-863
E-mail: tasya671@rambler.ru

Аннотация

В работе представлен анализ задачи управления движением транспортного гусеничного робота с прогнозированием. Рассматриваются алгоритмы формирования и коррекции программной траектории и управляющих воздействий для подсистем управления скоростями гусениц. Конкретизируется алгоритм работы прогнозирующего устройства при движении по траектории с препятствиями.

Ключевые слова: мобильный робот, прогнозирующее управление, траектория движения, теория инвариантности, упреждение, интерполяция.

Summary

The paper presents the analysis of a problem of motion control of the transport crawler of the robot with prediction. The algorithms of formation and correction of reference trajectories and control actions for the subsystems for speed control of caterpillars. Provides an algorithm of prediction of the device when moving along the trajectory with obstacles.

Keywords: mobile robot, predictive control, trajectory motion, invariance theory, the preemption, interpolation.

В настоящее время развитие мировой робототехники и технологий, с ней связанных, стремительно нарастает в сторону «интеллектуализации» мобильных роботов (МР), получающих все более широкое применение в различных областях человеческой деятельности, например, при проведении исследований в труднодоступных для человека областях, таких как космические пространства или морские глубины, при выполнении работы в опасных условиях радиоактивного или химического загрязнения, при реализации боевых операции и т.д. Интеллек-

туальный МР – это сложная мехатронная система, способная воспринимать и анализировать окружающую среду для реализации автономной навигации и движения к заданной позиции с целью выполнения определенных указаний (перемещение грузов, исследование местности и т.п.) [9].

В последнее время большое количество исследований направлено на разработку методов планирования маршрута в частично известной или незнакомой среде, основанных на эволюционном глобальном планировании маршрута и

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

управление движением с прогнозированием [1, 2, 3].

Предметом исследования в данной работе выступает прогнозирующее управление транспортной гусеничной системой. Цель прогнозирующего управления мобильным роботом состоит в повышении точности при движении по заданной трассе (в дальнейшем траектории) или в коррекции программной траектории с учетом анализа воздействий рельефа внешней среды, а также препятствий, не отмеченных на карте местности первого уровня, и формирование дополнительного упреждающего воздействия на приводы, реализующие управление скоростью вращения гусениц (колес).

В процессе траекторного управления МР с прогнозированием реализуется три группы алгоритмов:

1) алгоритмы прогнозирования траектории. Задача состоит в прогнозировании траектории по трем декартовым координатам в системе транспортного средства МР. Первичная информация о текущих (мгновенных) координатах поступает с навигационной системы. Прогнозатор формирует последующие координаты с упреждением на определенное время, определяемой динамикой МР;

2) алгоритмы формирования программной траектории и задающих воздействий для подсистем управления скоростями гусениц;

3) алгоритмы прогнозирующего управления траекторией движения.

Рассмотрим этот процесс в следующей постановке задачи. Представим систему управления

движением транспортного средства (ТС) в виде функциональной схемы (рисунк 1).

На схеме обозначены:

1) УФУВ – устройство формирования управляющего воздействия на приводы, реализующие управление скоростью вращения левой и правой гусениц;

2) САУ Г_л, САУ Г_п – система управления движением левой и правой гусеницы соответственно;

3) ВС – внешняя среда;

4) ИС – информационная система;

5) СТЗ – система технического зрения;

6) КТсПА – устройство коррекции траектории движения с прогнозирующим анализатором.

Система автоматического управления (САУ) траекторным движением ТС включает в себя две САУ управлением движением каждой гусеницей ТС – левой САУ Г_л и правой САУ Г_п. Движение ТС осуществляется совместной работой гусениц. Для изменения траектории по сигналам с УФУВ изменяется скорость одной из гусениц, что приводит к повороту корпуса ТС, т.е. изменению траектории движения. Планирование маршрута МР осуществляется на глобальном уровне, с помощью карты местности, и локальном уровне на основе информации от датчиков, поступающих в реальном масштабе времени. Программная траектория вводится в УФУВ как функция $F_n(y_n, x_n)$. УФУВ выполняет следующие функции: разворачивает управляющую программу во времени (динамический код) и разлагает траекторию движения на управляю-

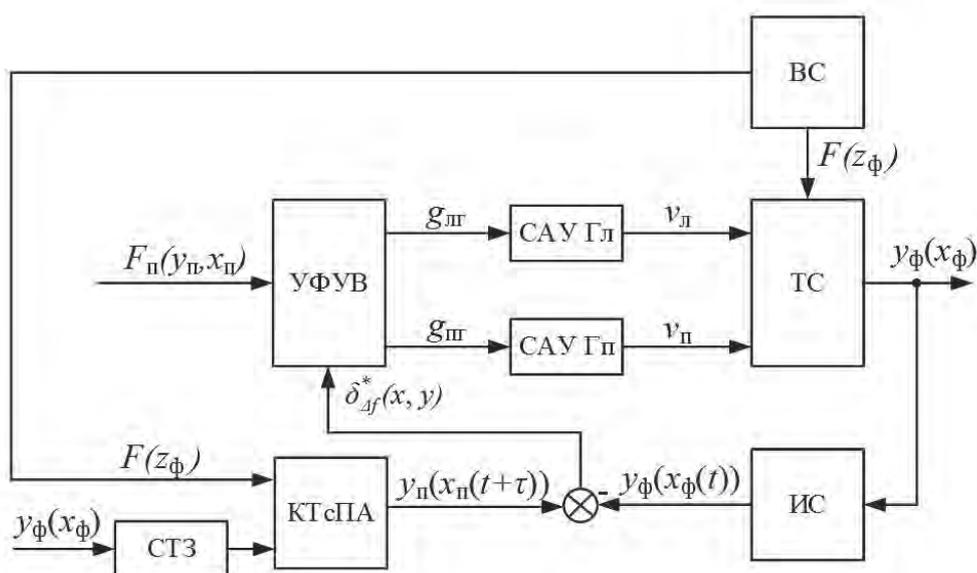


Рис. 1. Функциональная схема системы управления движением мобильного робота по местности с прогнозированием

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

щие для САУ гусениц сигналы: для левой гусеницы – $g_{л}(t)$, для правой – $g_{п}(t)$. Здесь применяются методы и алгоритмы разложения заданной траектории на управляющие воздействия для приводов гусениц, применяемые в технологическом оборудовании (станки с ЧПУ, промышленные роботы) [4]; формирует код ошибки между сигналом задания и главной обратной связи подсистем управления гусеницами; преобразует код ошибки в напряжение и передает на вход приводов изменения скорости гусениц.

При реализации управления движением МР с прогнозированием необходима оперативная информация о координатах рельефа местности с упреждением во времени для введения соответствующих поправок в систему управления движением. Важным элементом в таких структурах является модуль обработки информации о текущем рельефе местности с упреждением, порождающим при движении носителя составляющие в управляющем и возмущающем входных воздействиях для приводов гусениц – КТсПА.

Алгоритм работы модуля КТсПА определяется главным образом типом прогнозирующей функции. При выборе метода прогнозирования рельефа местности для подвижного объекта требуется получить наилучшее в определенном смысле приближение функции, отражающей состояния рельефа, при минимальном числе измеренных значений. Необходимо также рассмотреть скорости, требуемой памяти и гладкости методов. В качестве основных требований, предъявляемых при их выборе можно выделить:

- 1) частотный спектр управляющих и возмущающих воздействий;
- 2) спектральная плотность полигармонических воздействий;
- 3) собственная полоса пропускания следящих приводов;
- 4) длительность импульсной переходной характеристики приводов, точность слежения и, или стабилизации;
- 5) наличие звеньев, неохваченных обратной связью и их частотные свойства.

В работе [5] представлены результаты исследования точности способов прогнозирования движения, основанных на фактографических методах прогнозирования с использованием статистического анализа и обработки получаемой в процессе наблюдения информации. Согласно, полученным результатам, предпочтительно построение прогнозирующего анализатора с использованием интерполяционной формулы Ньютона, основными достоинствами которой являются высокая точность вычислений

при сравнительно небольшом их объеме, простота алгоритма.

Блок КТсПА синтезирует траекторию движения, оптимизируя ее либо по минимуму расхода энергии, что особенно важно для роботов с автономным энергопитанием, либо по минимуму времени выполнения задания, когда в постановку задачи входит условие обеспечения максимального быстродействия, с учетом анализа:

- 1) информации, получаемой от СТЗ о ближайшем участке местности (с выделением непреодолимых препятствий и опасных или неясных участков);
- 2) воздействий со стороны рельефа внешней среды на ТС.

Затем в функции ошибки между ошибками основного контура и прогнозирующей модели $\delta_{д}^*(x, y)$ формируется дополнительное управление приводами гусениц МР с учетом упреждения.

Управление основано на положениях теории инвариантности [10]. При этом возможны два способа коррекции. Первый способ предполагает формирование автономной составляющей в текущее управление. В контур адаптации вводятся интегрирующие звенья со степенью интегрирования, пропорциональной степени управляющего воздействия [6, 8]. Согласно второму способу формирование дополнительной составляющей осуществляется на стадии разложения программной траектории на управляющие для приводов воздействия. Коррекция управляющего воздействия в устройстве его формирования выполняется на программном уровне и не влечет изменений основного контура привода, т.е. не затрагиваются внутренние свойства, а, следовательно, и динамические характеристики привода [4, 7, 8].

Результатом работы прогнозирующего устройства в процессе непрерывного анализа текущей ситуации движения МР является прогнозирование скорости (включая скорость вращения правой и левой гусениц) и направления перемещения объекта, их коррекция при превышении предельно допустимых значений для обеспечения возвращения на заданную траекторию, а также их прогнозирование в режиме движения по вновь сформированной траектории.

В качестве информации, используемой для выполнения расчетных действий, являются коды команд управления, команд задания скорости движения и команд задания направления движения, получаемые от головного программного контроллера, а также все доступные в текущий момент показания датчиков скорости вращения левой $\omega_{л}$ и $\omega_{п}$ правой гусениц объекта,

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

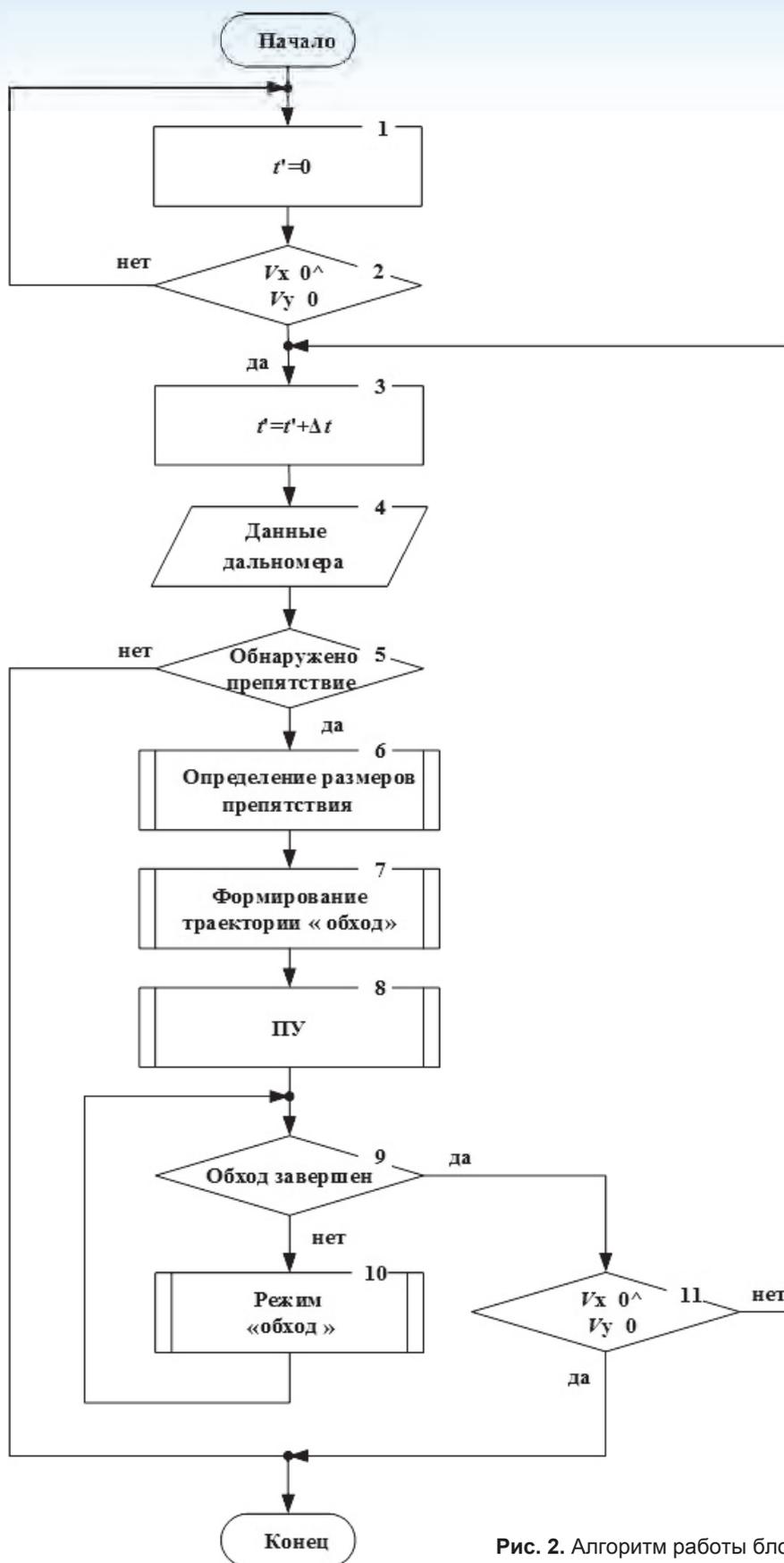


Рис. 2. Алгоритм работы блока КТСПА

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

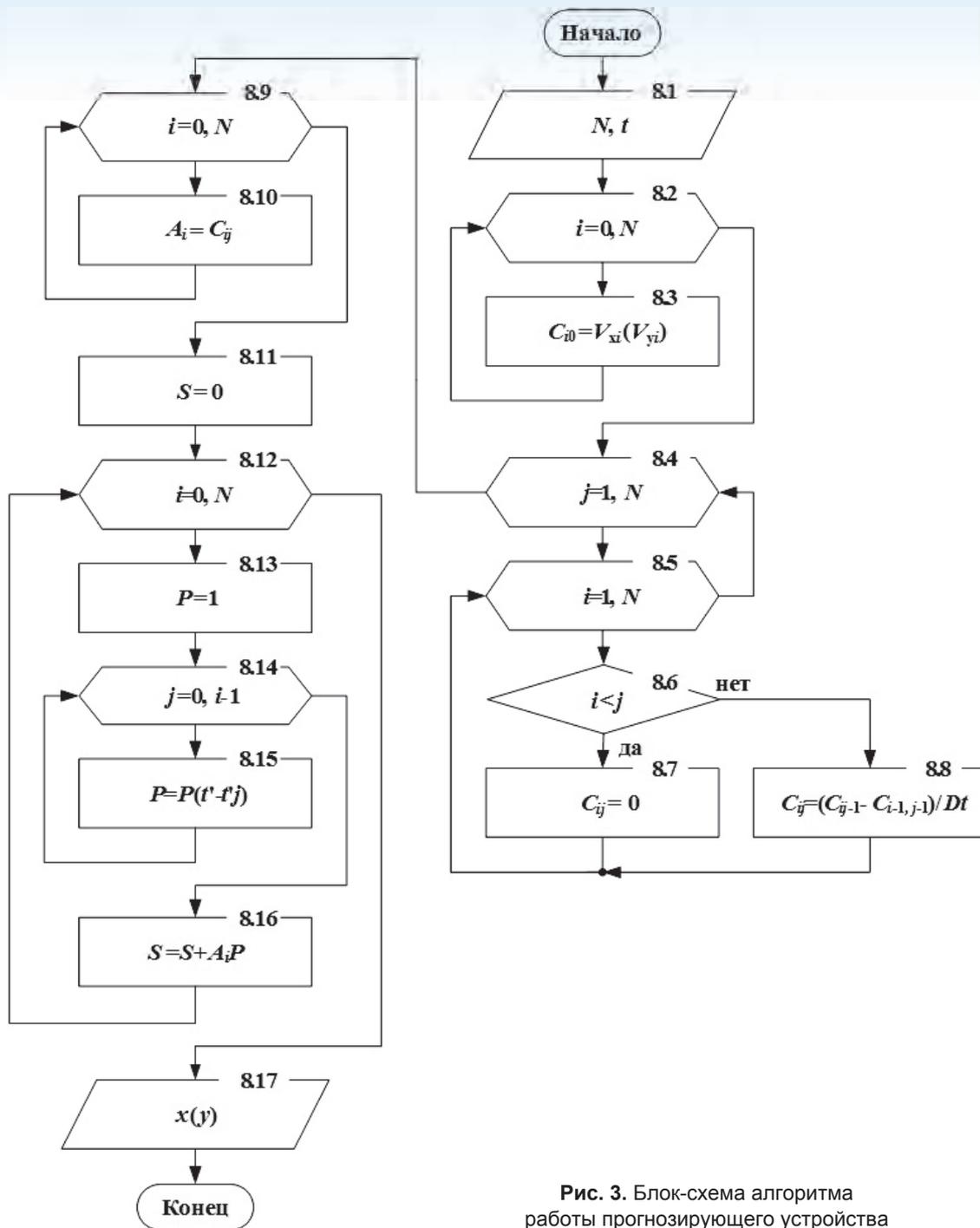


Рис. 3. Блок-схема алгоритма работы прогнозирующего устройства

датчиков внешней среды, фиксирующих скорость v_x , v_y перемещения объекта по заданной траектории, показания гироскопов, фиксирующих отклонения положения объекта относительно осей X и Y (α_x , и α_y соответственно), а также показания дальномеров, которые позволяют обнаружить препятствие на основной траектории движения объекта.

Рассмотрим алгоритм работы блока КТсПА

при управлении движением МР с выявлением препятствий на траектории. Невозможность продолжения движения по заданной траектории из-за препятствий, не обнаруженных при планировании маршрута на основе карты верхнего уровня, требует перехода на новую оптимальную траекторию. Формирование новой траектории движения ТС базируется на основе процедур интерполяции по методу оценочной

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

функции. В качестве информации, являющейся входными данными, используются показания дальномеров, которые позволяют обнаружить препятствие на основной траектории движения объекта, с последующей обработкой полученных данных для определения размеров препятствия и формирования новой траектории.

Блок-схема рассматриваемого алгоритма представлена на *рисунках 2 и 3*. Рассмотрим работу алгоритма. Блок 1 совместно с блоком 2 определяют момент начала движения объекта управления, признаком чего является условие неравенства нулю скоростей движения v_x и v_y . Блок 3 определяет дискретные моменты времени, в которые формируются показания дальномеров для последующей их обработки. Блок 4 реализует ввод и формирование массива данных показаний дальномеров для обнаружения препятствий, их координат и размеров.

При обнаружении препятствий на основной траектории движения (блок 5) определяют его координаты относительно текущего положения объекта и размеры (блок 6) на основании чего формируется новая траектория в блоке 7. Блок 8 реализует прогнозирование движения по новой траектории (направления и скорости). Математическое описание блока 8 данного алгоритма реализует экстраполяцию многочленами степени n предварительно полученной информации о скорости движения левой и правой гусениц подвижного объекта. Для экстраполяции использован многочлен Ньютона $P_n(x)$ n -ой степени такой, что

$$P_n(x_0) = y_0, P_n(x_1) = y_1, \dots, P_n(x_n) = y_n,$$

где $x_0, x_1 = x_0 + h, \dots, x_n = x_0 + nh$ – равноотстоящие узлы интерполяции;

y_0, y_1, \dots, y_n – значения функции в узлах.

Используя конечные разности, интерполяционную формулу Ньютона удобно представить в виде:

$$P_n(x) = y_0 + q\Delta y_0 + \frac{q(q-1)}{2!}\Delta^2 y_0 + \dots + q(q-1)\dots\frac{q-n+1}{n!}\Delta^n y_0,$$

где $\Delta y_0 = \Delta P_n(x_0) = y_1 - y_0$ – конечная разность первого порядка многочлена $P_n(x)$ в точке x_0 ;

$\Delta^2 y_0 = \Delta^2 P_n(x_0) = \Delta y_1 - \Delta y_0$ – конечная разность второго порядка многочлена $P_n(x)$ в точке x_0 ;

$\Delta^n y_0 = \Delta^n P_n(x_0) = \Delta^{n-1} y_1 - \Delta^{n-1} y_0$ – конечная разность порядка n многочлена $P_n(x)$ в точке x_0 ;

$\Delta^0 y_0 = y_0$ – конечная разность нулевого порядка;

$q = (x - x_0)/h$ – коэффициент, определяемый количеством шагов;

h – шаг интерполирования,

Данную формулу удобно использовать в начале отрезка интерполирования, когда q мало, т.е. для интерполирования вперед и экстрапо-

лирования назад. При интерполировании вперед $q = (x - x_0)/h > 0$. При экстраполировании назад $q = (x - x_0)/h < 0$.

Для интерполирования в конце таблицы, т.е. для интерполирования назад, когда $q = (x - x_n)/h < 0$, и для экстраполирования вперед, когда $q = (x - x_n)/h > 0$, обычно применяют вторую интерполяционную формулу Ньютона:

$$P_n(x) = y_n + q\Delta y_{n-1} + \frac{q(q-1)}{2!}\Delta^2 y_{n-2} + \dots + \frac{q(q-1)\dots(q-n+1)}{n!}\Delta^n y_0.$$

Если движение по новой траектории завершено (блок 9), то анализируется окончание цикла работы (блок 10) и происходит либо останов объекта управления, либо продолжение движения по скорректированной траектории (блок 11).

Выводы

1. Цель прогнозирующего управления мобильным роботом состоит в повышении точности при движении по заданной трассе или в коррекции программной траектории с учетом препятствий, и формирование дополнительного упреждающего воздействия на приводы, реализующие управление скоростью вращения гусениц.

2. В процессе траекторного управления МР с прогнозированием реализуется три группы алгоритмов:

- прогнозирования траектории;
- формирования программной траектории и управляющих воздействий для подсистем управления скоростями гусениц;
- прогнозирующего управления траекторией движения.

3. Дополнительное упреждающее управление приводами гусениц формируется в функции между ошибками основного контура и прогнозирующей модели.

4. Результатом работы прогнозирующего устройства в процессе непрерывного анализа текущей ситуации движения МР является прогнозирование скорости и направления перемещения объекта, их коррекция при превышении предельно допустимых значений для обеспечения возвращения на заданную траекторию, а также их прогнозирование в режиме движения по вновь сформированной траектории.

Литература

1. Cai Zixing, Peng Zhihong (Eds.). Cooperative Co-Evolutionary Adaptive Genetic Algorithm in Path Planning of Cooperative Multi-mobile Robot System // Intelligent & Robotic System, 2002. V. 33(1). P. 61-67.
2. HE Hangen, Timofeev A.V., XU Xin (Eds.). Online Local Monitoring and Adaptive Navigation of Mobile

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Robots on Environment with Unknown Obstacles // Proceedings of ACAT'2002. Moscow, 2002. P. 54-56.

3. Robin R. Murphy, Ken Hughes, Alisa Marzilli and Eva Noll. Integrating explicit path planning with reactive control of mobile robots using Trulla // Robotics and Autonomous Systems, 1999. V. 27. P. 225-245.

4. Кобзев А.А. Динамическая коррекция программного движения в системах ЧПУ // Проектирование и технологии электронных средств, 2002. №1. С. 21-24.

5. Кобзев А.А. Выбор прогнозирующих функций в задачах навигации и управления / А.А. Кобзев, Ю.Е. Мишулин, Н.А. Новикова, А.В. Лекарева // Оборонная техника, 2014. №6. С. 189-192.

6. Кобзев А.А. Исследование алгоритмов динамической коррекции движения в робототехнических системах / А.А. Кобзев, Н.А. Новикова, А.В. Лекарева, А.А. Махфуз // Современные проблемы науки и образования, 2014. №3 [Электронный ресурс]. URL: www.science-education.ru/117-13573 (дата обращения: 18.06.2014).

7. Кобзев А.А. Анализ алгоритмов коррекции

программной траектории в устройстве формирования управляющего воздействия для приводов робототехнических систем / А.А. Кобзев, Н.А. Новикова, А.В. Лекарева, А.А. Махфуз // Современные проблемы науки и образования, 2014. №6 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.science-education.ru/120-15702> (дата обращения: 03.12.2014).

8. Кобзев А.А., Новикова Н.А., Лекарева А.В. Исследование алгоритмов адаптации управляющего воздействия для приводов робототехнических систем с помощью симулятора межкоординатных перемещений // Известия ВУЗ. Электромеханика, 2015. №3. С. 50-55.

9. Соловьев В.В. Особенности планирования перемещения подвижного объекта в неопределенных средах / В.В. Соловьев, Д.А. Белоглазов, А.Д. Коринец, И.И. Чемес // Современные научные исследования и инновации, 2015. №5 [Электронный ресурс]. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2015/05/54499>.

10. Тимофеев А.В. Адаптивные робототехнические комплексы. Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1988. 332 с.

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 533.6

ОСОБЕННОСТИ ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ БЫСТРОМАШУЩЕГО КРЫЛА

FEATURES OF SWIFT WAVING WING BOUNDARY LAYER



Темир Хусаинович Ахмедов

кандидат технических наук

старший научный сотрудник
МОУ «ИИФ»

Адрес: 142210, Московская область, г. Серпухов,
Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)35-31-93

Алина Сергеевна Пономарёва

кандидат физико-математических наук

старший научный сотрудник
МОУ «ИИФ»

Адрес: 142210, Московская область, г. Серпухов,
Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)35-31-93

Аннотация

В статье рассматриваются физическая и математическая модели течений в пограничном слое на примере быстромашущего крыла комара. Приведены результаты компьютерного моделирования векторных полей ускорений и скоростей на поверхности быстромашущего крыла и на разных высотах толщины пограничного слоя.

Ключевые слова: пограничный слой, быстромашущее крыло, физическая и математическая модели течений, компьютерное моделирование.

Summary

The article deals with the physical and mathematical models of the flow in the boundary layer at the example of the mosquito wing. The results of computer modeling of vector fields of velocities and accelerations on the surface of the swift waving wing and at different heights of the boundary layer are provided.

Key words: boundary layer, swift waving wing, physical and mathematical models of the flow, computer modeling.

Летательный аппарат природных аналогов с быстромашущими крыльями

Объектами проведенных исследований выбраны во многом схожие по принципу действия быстромашущие движители перепончатокрылых и двукрылых насекомых, являющихся вершиной, высшим этапом эволюционного развития огромного числа аэробиев [5].

Упрощенная схема груди быстромашущих насекомых, а также место сочленения крыла с грудным сегментом изображены на *рисунке 1*.

Крыловые мышцы разделены на мышцы прямого и прямого действия. Мощные мышцы прямого действия, сокращаясь, опускают и поднимают крылья. Мышцы прямого действия принимают участие во вращениях крыла относительно его продольной оси.

Сочленение крыла с грудным сегментом отличается большой сложностью. Оно осуществляется через расположенные в основании кры-

ла следующие уплотненные сочленовные пластинки:

- 1 – первый аксиллярный склерит;
- 2 – второй аксиллярный склерит;
- 3 – третий аксиллярный склерит;
- 4 – четвертый аксиллярный склерит.

На боковой (плейральной) части груди изображено расположение мышц прямого действия и склеритов. Введены следующие обозначения:

- 1 – базаларный склерит;
- 2 – субаларный склерит;
- 3 – базаларная мышца;
- 4 – субаларная мышца;
- 5 – плейральный столбик;
- 6 – второй аксиллярный склерит.

Плейральный столбик 5 играет роль опоры. Вместе со вторым аксиллярным склеритом он создает совершенную систему качания крыла с размахом до 180°. Мышцы прямого действия 3, 4 присоединяются к основанию крыла через ба-

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

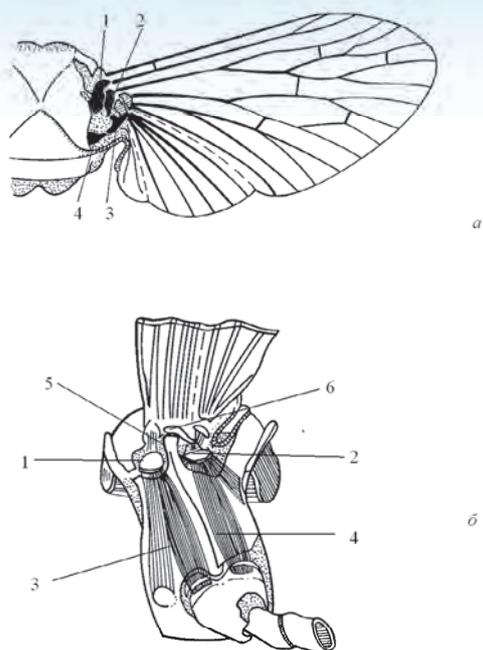


Рис. 1. Схема сочленения крыла с грудным сегментом тела насекомого

заларный 1 и субаларный 2 склериты. Во время маховых движений функционируют все перечисленные мышцы и склериты. Основное маховое движение крыла осуществляется путем сокращения мышц непрямого действия. Оно сопровождается деформацией упругой подвижной части грудного сегмента – тергита, которая через передний и задний крыловой выступы передается сначала на первый, затем на второй аксиллярные склериты крыла. Через третий и четвертый аксиллярные склериты происходит складывание крыльев.

У насекомых имеется еще одна оригинальная особенность. На поверхности их крыльев имеются различного типа макро- и микронеровности (рисунки 2, 3), размеры которых, по данным растровой микроскопии, порой не превышают 10 мкм [6]. Причем от медленномашущих

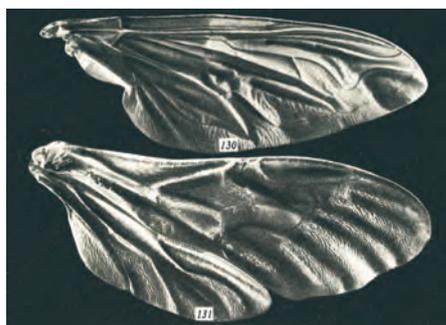


Рис. 2. Желобки на поверхности крыльев мухи и шмеля

к быстромашущим насекомым наблюдается тенденция усложнения структуры и формирования ориентированного покрова на поверхности крыла. В определенной степени графическое изображение макро- и микрорельефа поверхности крыла канавок, образованных различными щетинками, выростами, напоминает по форме изображение межлопаточных каналов центробежных машин. Приведенные ниже расчеты свидетельствуют о том, что при частотах маховых движений крыльев, измеряемых сотнями колебаний в секунду, угловые скорости поворотов крыльев достигают величин, сопоставимых с угловыми скоростями быстроходных компрессоров, насосов. Поэтому может быть сделан важный вывод о функционировании во время полета на поверхности крыла оригинального механизма, препятствующего критическому, срывному обтеканию крыла при возможных закритических углах атаки путем регулирования течения в пограничном слое.

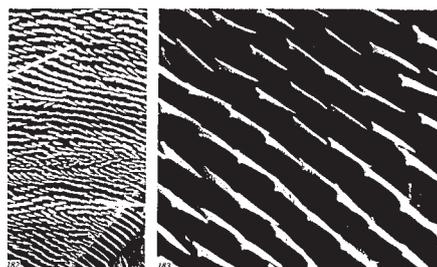


Рис. 3. Ориентация шпиков на гладкой мембране крыла жука

Физическая и математическая модели течений в пограничном слое быстромашущего крыла

При проведении расчетов использовались следующие физическая модель и допущения. Сущность физической картины течения в пограничном слое при махово-супинационном движении заключается в том, что вследствие трения слой воздуха, непосредственно прилегающий к поверхности крыла, под действием центробежных сил постоянно отбрасывается аналогично тому, как это происходит на поверхности вращающегося диска. А взамен в пограничный слой опускаются заторможенные частицы воздуха с внешнего потока. Следовательно, скорость частиц в пограничном слое имеет окружную, радиальную и вертикальную составляющие. Этот механизм отбрасывания слоя воздуха с поверхности машуще-супинирующего крыла оказывает существенное влияние на формирование потоков около крыла и возникновение тяги.

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Махово-супинационное движение осуществляется путем вращения крыла относительно двух осей. Поэтому частицы воздушного слоя совершают сложное движение в неинерциальной системе координат. В результате возникают силы инерции, способствующие перемещению частиц воздуха относительно поверхности крыла. В соответствии с основным уравнением динамики, рассматриваемые инерционные силы расположены в левой части системы уравнений Навье-Стокса (после умножения левой и правой частей уравнений на множитель ρ). При проведении вычислений используется решение задачи о вращающемся диске, математическая модель которой представляет собой систему уравнений Навье-Стокса в цилиндрической системе координат. Эти уравнения имеют следующий вид:

$$\left. \begin{aligned} u \frac{\partial u}{\partial r} - \frac{v^2}{r} + w \frac{\partial u}{\partial z} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r} + \nu \left[\frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{u}{r} \right) + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right], \\ u \frac{\partial v}{\partial r} + \frac{uv}{r} + w \frac{\partial v}{\partial z} &= \nu \left[\frac{\partial^2 v}{\partial r^2} + \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{v}{r} \right) + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right], \\ u \frac{\partial w}{\partial r} + w \frac{\partial w}{\partial z} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \nu \left[\frac{\partial^2 w}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial w}{\partial r} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right], \\ \frac{\partial u}{\partial r} + \frac{u}{r} + \frac{\partial w}{\partial z} &= 0. \end{aligned} \right\} (1)$$

Результаты решения этой системы уравнений использованы при проведении расчетов векторных полей крыльев аэробийонтов и беспилотного летательного аппарата.

Схемы инерционных сил, которые возникают на быстромашущем крыле и в его пограничном слое при махово-супинационном движении, изображены на рисунке 4.

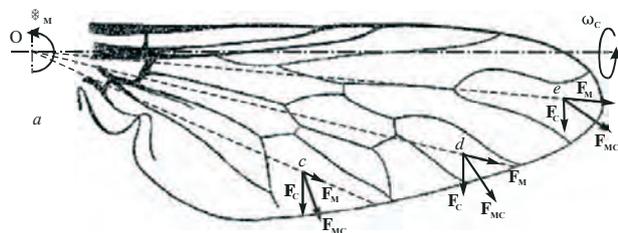


Рис. 4. Векторы сил на крыле (в контрольных точках c , d , e) и в пограничном слое при махово-супинационном движении крыла быстромашущего насекомого

На рисунке 4 введены следующие обозначения: F_M – центробежная сила инерции, возникающая в фазе маха крыла; F_C – центробежная

сила инерции, возникающая при супинационном вращении крыла; F_{MC} – сумма сил F_M и F_C .

Компьютерное моделирование векторных полей ускорений на поверхности быстромашущего крыла

Расчетная схема для построения векторных полей векторов ускорений (в фазе маха и супинации крыла) изображена на рисунке 5.

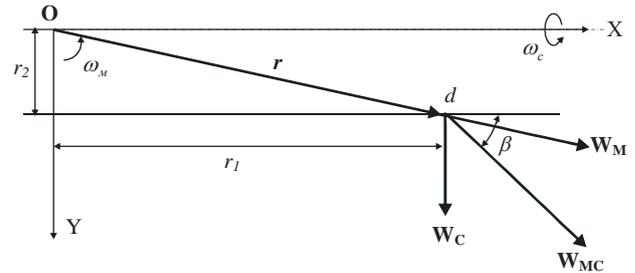


Рис. 5. Расчетная схема для построения векторных полей векторов ускорений

На рисунке 5 введены следующие обозначения: d – точка крыла, на которой рассматриваются ускорения; R_{ij} – вектор, определяющий расстояние от оси вращения крыла в фазе маха до рассматриваемых точек; $x_{i,j}$ – координата вектора R_{ij} в направлении оси x (параллельно продольной оси крыла); $y_{i,j}$ – координата вектора R_{ij} в направлении оси y (перпендикулярно к продольной оси крыла); ω_M – средняя угловая скорость маха крыла относительно точки O ; ω_C – средняя угловая скорость супинационного вращения крыла относительно его продольной оси; W_M – ускорение частицы воздуха, возникающее от действия силы инерции в радиальном направлении в фазе маха крыла; W_C – ускорение частицы воздуха, возникающее от действия силы инерции при супинации крыла; W_{MC} – сумма ускорений W_M и W_C ; M , N – проекции вектора W_{MC} на координатные оси; h – проекция вектора W_M на ось Y ; $\alpha_{i,j}$ и $\beta_{i,j}$ – углы между осью, параллельной продольной оси крыла и векторами W_M и W_{MC} .

Расчетные формулы для построения векторных полей векторов ускорений

$$\sin \alpha_{i,j} = \frac{y_{i,j}}{R_{i,j}}, \quad \cos \alpha_{i,j} = \frac{x_{i,j}}{R_{i,j}}, \quad W_M = \omega_M^2 R_{i,j}, \quad W_C = \omega_C^2 y_{i,j};$$

$$M_{i,j} = W_M \cos \alpha_{i,j} = \omega_M^2 R_{i,j} \frac{x_{i,j}}{R_{i,j}} = \omega_M^2 x_{i,j};$$

$$h_{i,j} = W_M \sin \alpha_{i,j} = \omega_M^2 R_{i,j} \frac{y_{i,j}}{R_{i,j}} = \omega_M^2 y_{i,j};$$

$$N_{i,j} = W_C + h_{i,j} = \omega_C^2 y_{i,j} + \omega_M^2 y_{i,j} =$$

$$= y_{i,j} (\omega_C^2 + \omega_M^2), \quad W_{MC} = \sqrt{M_{i,j}^2 + N_{i,j}^2}.$$

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Если $|M_{i,j}| > 0$, то $\beta_{i,j} = \frac{180}{\pi} \arcsin \frac{N_{i,j}}{W_{MC}}$.

Если $|M_{i,j}| < 0$, то $\beta_{i,j} = 180 - \frac{180}{\pi} \arcsin \frac{N_{i,j}}{W_{MC}}$.

Компьютерное моделирование векторных полей скоростей, возникающих в пограничном слое быстромашущего крыла

Расчетная схема для построения векторных полей суммы векторов скоростей (в фазе маха и супинации крыла) представлена на *рисунке 6*.

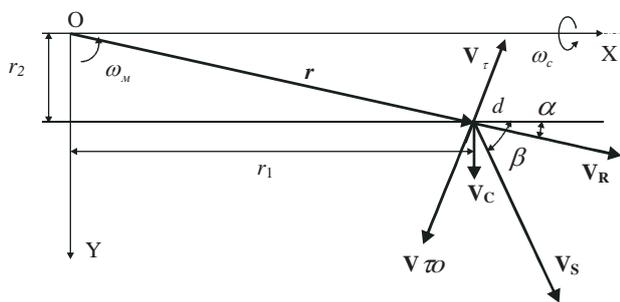


Рис. 6. Расчетная схема для построения векторных полей суммы векторов скоростей

На *рисунке 6* введены следующие обозначения: $R_{i,j}$ – вектор, определяющий расстояние от оси вращения крыла в фазе маха до рассматриваемой точки; $x_{i,j}$ – координаты векторов в направлении оси x (параллельно продольной оси крыла); $y_{i,j}$ – координаты векторов в направлении оси y (перпендикулярно к продольной оси крыла); ω_M – средняя угловая скорость маха крыла относительно точки O ; ω_c – средняя угловая скорость супинации крыла относительно его продольной оси; V_R – радиальная (относительная) скорость частиц воздуха в пограничном слое на заданной высоте в фазе маха крыла; $V_{\tau\omega}$ – тангенциальная относительная скорость частиц воздуха, равная разности тангенциальных переносных скоростей на поверхности крыла и на заданной высоте пограничного слоя в фазе маха крыла; V_c – относительная радиальная скорость частиц воздуха на заданной высоте пограничного слоя при супинации; V_s – сумма относительных скоростей частиц воздуха $V_R, V_{\tau\omega}, V_c$ на заданной высоте пограничного слоя при махово-супинационном движении крыла.

Расчетные формулы для построения векторных полей суммы векторов скоростей

$$\sin \alpha_{i,j} = \frac{y_{i,j}}{R_{i,j}}, \quad \cos \alpha_{i,j} = \frac{x_{i,j}}{R_{i,j}}, \quad V_R = \omega_M R_{i,j} F;$$

$$V_{\tau\omega} = \omega_M R_{i,j} - \omega_M R_{i,j} G = \omega_M R_{i,j} (1-G), \quad V_c = \omega_c y_{i,j} F;$$

$$l = V_R \cos \alpha_{i,j} = \omega_M R_{i,j} F \frac{x_{i,j}}{R_{i,j}},$$

$$k = V_{\tau\omega} \sin \alpha_{i,j} = \omega_M R_{i,j} (1-G) \frac{y_{i,j}}{R_{i,j}};$$

$$L = l - k = \omega_M R_{i,j} F \frac{x_{i,j}}{R_{i,j}} - \omega_M R_{i,j} (1-G) \frac{y_{i,j}}{R_{i,j}} =$$

$$= \omega_M R_{i,j} \left[F \frac{x_{i,j}}{R_{i,j}} - (1-G) \frac{y_{i,j}}{R_{i,j}} \right];$$

$$L = \omega_M [x_{i,j} F - (1-G)y_{i,j}], \quad H = m + n + V_c;$$

$$H = \omega_M R_{i,j} F \frac{y_{i,j}}{R_{i,j}} + \omega_M R_{i,j} (1-G) \frac{x_{i,j}}{R_{i,j}} + \omega_c y_{i,j} F;$$

$$H = \omega_M [y_{i,j} F + x_{i,j} (1-G)] + \omega_c y_{i,j} F$$

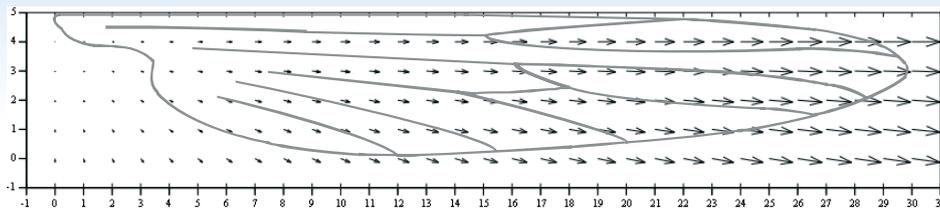
Векторные поля ускорений и скоростей на поверхности крыла комара при различных частотах маховых движений

На *рисунке 7* изображены векторные поля инерционных ускорений на поверхности крыла *комара* в фазах: маха, при супинационном вращении и при махово-супинационном движении крыла.

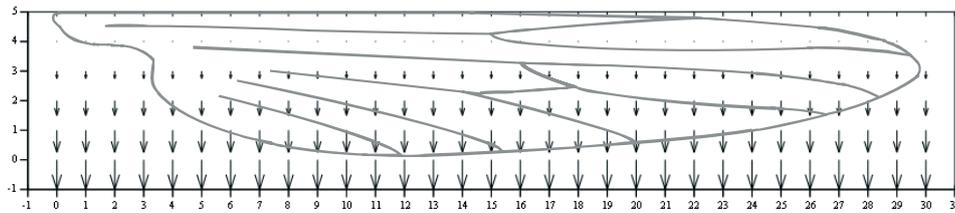
На *рисунке 8* изображены векторные поля центробежных ускорений на поверхности крыла *комара* при различных частотах маховых движений и соотношениях угловых скоростей вращения маха и супинации крыла. Установлено, что для согласования направления векторов ускорений с направлениями жилок крыла *комара* это отношение должно быть равно 1,5. Кроме того, схожесть направлений векторов ускорений и жилок на поверхности крыла на разных частотах маховых движений крыльев может быть достигнута лишь при одном и том же отношении в фазах супинации и маха. Поэтому отношение угловых скоростей в фазах супинации и маха для эффективного функционирования пограничного слоя должно быть неизменным на разных частотах маховых движений крыльев. При соблюдении данного условия траектории частиц воздуха в пограничном слое могут сохранить свою ориентацию при разных режимах полета насекомого.

На *рисунке 9* представлены векторы скоростей на разных высотах толщины пограничного слоя крыла *комара* в фазе маха. Полученные

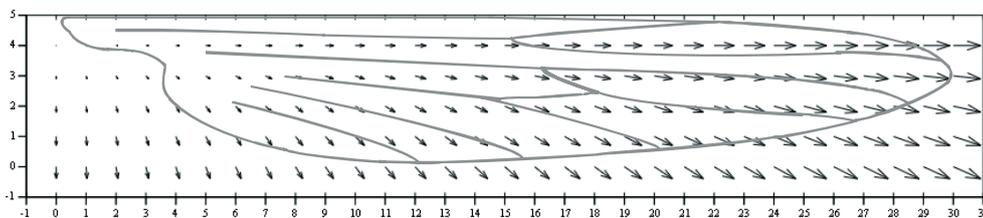
ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ



Векторное поле радиальных центробежных ускорений
на поверхности крыла комара в фазе маха; $f=500$ Гц, $\omega_M=1670$ рад/с



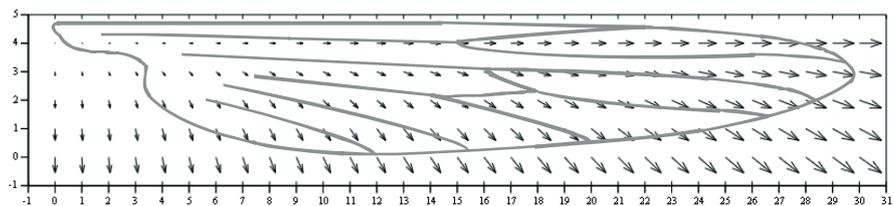
Векторное поле центробежных ускорений вдоль хорды на поверхности
крыла комара при супинационном вращении; $f=500$ Гц, $\omega_M=1670$ рад/с, $\omega_C=2505$ рад/с



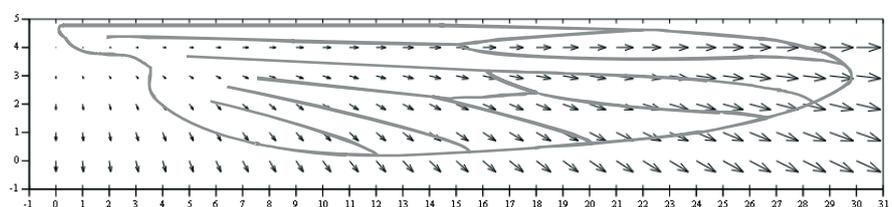
Векторное поле сумм радиальных центробежных ускорений и ускорений вдоль хорды
на поверхности крыла комара, возникающих при махово-супинационном движении;
 $f=500$ Гц, $\omega_M=1670$ рад/с, $\omega_C=2505$ рад/с

Рис. 7. Векторные поля инерционных ускорений на поверхности крыла комара
в фазах: маха, при супинационном вращении и при махово-супинационном движении крыла

а) Частота маховых движений $f=289$ Гц; угловая скорость маха $\omega_M=955$ рад/с; угловая скорость супинации $\omega_C=1910$ рад/с; отношение $\omega_C/\omega_M=2$



б) Частота маховых движений $f=289$ Гц; угловая скорость маха $\omega_M=955$ рад/с; угловая скорость супинации $\omega_C=1433$ рад/с; отношение $\omega_C/\omega_M=1.5$



в) Частота маховых движений $f=289$ Гц; угловая скорость маха $\omega_M=955$ рад/с; угловая скорость супинации $\omega_C=955$ рад/с; отношение $\omega_C/\omega_M=1$

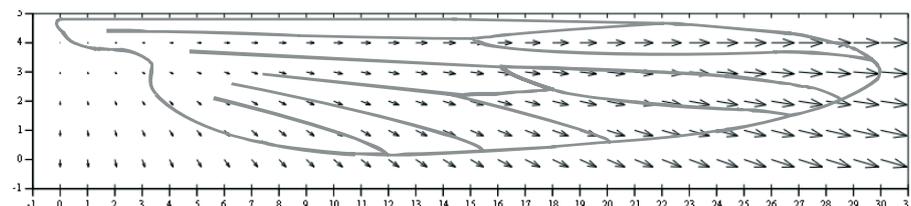


Рис. 8. Влияние отношения угловых скоростей вращения при супинации и махе на векторные поля сумм
центробежных ускорений на поверхности крыла комара при его махово-супинационном движении

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

данные раскрывают сущность тех физических явлений, которые происходят при функционировании механизма стабилизации пограничного слоя. Дополнительное принудительное супинационное вращение крыла относительно его продольной оси должно усилить этот эффект в связи с действием инерционных сил в направлении от передней к задней кромке крыла.

Поскольку физические процессы в рассмотренном механизме существенно отличаются от известных механизмов сдува и отсоса пограничного слоя, он назван нами «Механизмом стабилизации пограничного слоя».

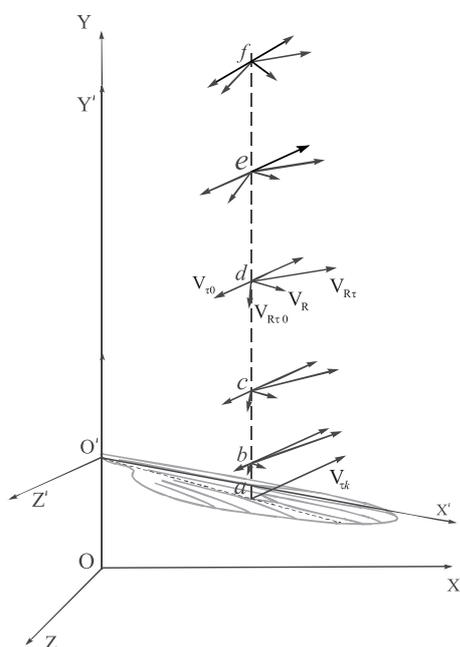


Рис. 9. Векторы скоростей частиц воздуха в пограничном слое крыла комара в фазе маха; $f = 500$ Гц; $\omega_M = 1670$ рад/с; масштаб произвольный

На *рисунке 9* введены следующие обозначения: $OXYZ$ – неподвижная система координат; $O'X'Y'Z'$ – подвижная система координат; V_R – радиальная (относительная) скорость; V_i – переносная скорость; V_{Ri} – абсолютная скорость; V_{tk} – переносная скорость на поверхности крыла; V_{i0} – тангенциальная относительная скорость как разность скоростей V_{tk} и V_i ; V_{Ri0} – относительная скорость равна сумме скоростей V_{i0} и V_R ; ω_M – угловая скорость вращения крыла в фазе маха.

На *рисунках 10 и 11* представлены расчетные векторные поля сумм радиальных центробежных ускорений и ускорений вдоль хорды на поверхности крыльев мухи и энтомоптера, возникающих при махово-супинационном движении их крыльев.

Процесс отбрасывания слоя воздуха в пограничном слое машуще-супинирующего крыла

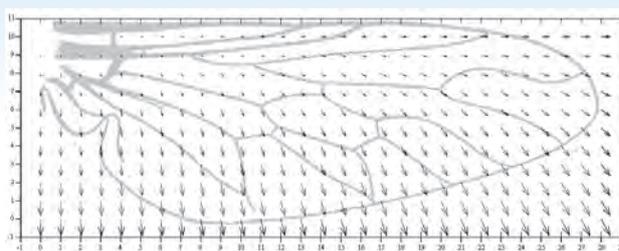


Рис. 10. Векторное поле сумм радиальных центробежных ускорений и ускорений вдоль хорды на поверхности крыла мухи, возникающих при махово-супинационном движении; $f=251$ Гц, $\omega_M = 840$ рад/с, $\omega_c = 1800$ рад/с

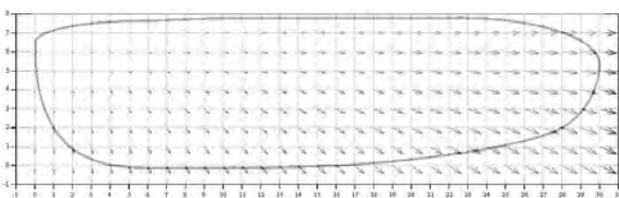


Рис. 11. Векторное поле сумм радиальных центробежных ускорений и ускорений вдоль хорды на поверхности крыла энтомоптера при его махово-супинационном движении; $f=30$ Гц, $\omega_M = 100$ рад/с, $\omega_c = 107$ рад/с

имеет важную роль при изучении аэродинамических процессов. Как известно, при стационарном режиме обтекания с ростом угла атаки крыла происходит набухание и отрыв пограничного слоя. В отличие от этого, во время ускоренного махово-супинационного движения, благодаря инерционным силам, отрыв пограничного слоя не наблюдается, что способствует возникновению около крыла системы вихрей, формирующих индуктивное течение и тягу.

Литература

1. Ахмедов Т.Х. Теоретические основы движителя летательных аппаратов с быстромашущими крыльями. Часть 1. Физическая, аэродинамическая, механическая, модели. Расчет тяги и мощности движителя. Серпухов, 2009. 137 с.
2. Ахмедов Т.Х. Теоретические основы движителя летательных аппаратов с быстромашущими крыльями. Часть 2. Моделирование пограничного слоя на поверхности быстромашущего крыла. Серпухов, 2009. 236 с.
3. Ахмедов Т.Х. Летательные и подводные аппараты с машущими движителями. Серпухов, 2014. 192 с.
4. Ахмедов Т.Х., Пономарёва А.С. Компьютерное моделирование векторных полей ускорений и скоростей частиц воздуха в пограничном слое быстромашущего крыла // Известия Института инженерной физики, 2009. № 1(11). С. 20-23.
5. Бей-Биенко Г.Я. Общая энтомология. М.: Высшая школа, 1971. 487 с.
6. Соколов В.Е., Бочарова-Месснер О.М. Адаптивные свойства эпителия и его производных. М.: Наука, 1979.
7. Werner Nachtigull. Die kinematik der schlagflügelbewegungen von dipteren. Zoologisches Institut der Universität München. Zeitschrift für vergleichende Physiologie 52, 155-211 (1966).

ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОЕКТЫ

УДК 536.246

ЭМПИРИЧЕСКИЕ УРАВНЕНИЯ СОСТОЯНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ И ФАЗОВОГО РАВНОВЕСИЯ СМЕСЕЙ МЕТАНА С ЕГО ГОМОЛОГАМИ ПРИ РАСЧЕТАХ СИСТЕМ РЕГАЗИФИКАЦИИ СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА *

THE EMPIRICAL EQUATIONS OF STATE TO DETERMINE THERMODYNAMIC PARAMETERS AND PHASE EQUILIBRIUM MIXTURES OF METHANE WITH ITS HOMOLOGUES IN CALCULATING THE REGASIFICATION OF LIQUEFIED NATURAL GAS SYSTEMS

Виктор Васильевич Редькин

*почетный работник науки и техники РФ,
кандидат технических наук,
старший научный сотрудник*

ведущий научный сотрудник
МОУ «ИИФ»

Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(926)860-73-37
E-mail: oniokr@mail.ru

Алексей Александрович Коробков

*кандидат технических наук, доцент
начальник отдела планирования НИОКР
МОУ «ИИФ». Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)35-31-93 E-mail: korobkow@mail.ru*

Максим Васильевич Кулик

научный сотрудник
МОУ «ИИФ». Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)35-31-93 E-mail: mklik@mail.ru

Аннотация

Статья посвящена анализу эмпирических уравнений: Бенедикта-Вебба-Рубина (БВР), предназначенного для расчета термодинамических и теплофизических параметров и фазового равновесия ряда углеводородов: метана, этилена, этана, пропилена, пропана, изобутана, изобутилена, н-бутана, изометана, н-пентана, н-гексана; Клименко-Красноокого (модификации уравнения БВР); определения фугитивности одного из компонентов, необходимого для расчетов фазового равновесия смеси; Старлинга и Хэна, а также выводу эмпирических уравнений состояния для определения термодинамических параметров и фазового равновесия смесей метана с его гомологами при расчетах систем регазификации сжиженного природного газа.

Ключевые слова: гомологи метана, интенсификация теплообмена, криосадов, сжиженный природный газ, система регазификации сжиженного природного газа, термодинамический анализ, уравнение состояния, эксергия, энтропия.

Summary

The article is devoted to the empirical equations: Benedict-Webb-Rubin (BWR), intended for the calculation of thermodynamic and thermophysical parameters and phase equilibria of some hydrocarbons: methane, ethylene, ethane, propylene, propane, isobutane, isobutylene, n-butane, methane, n-pentane, n-hexane; Klimenko-Krasnoy (modification of equation BWR); determine the fugacity of one component that is necessary for calculation of phase equilibrium of the mixture; Starling and Han, and conclusion empirical equations of state to determine thermodynamic parameters and phase equilibrium for mixtures of methane with its homologues in the calculation of the system the regasification of liquefied natural gas.

Keywords: the homologues of methane, intensification of heat and mass transfer, cryostat, liquefied natural gas, regasification of liquefied natural gas, thermodynamic analysis equation of state, exergy, entropy.

* Исследования проводятся в рамках выполнения гранта Правительства Московской области в сферах науки, технологий, техники и инноваций (договор № 73/07-16 от 19.07.2016 г.) по теме: «Разработка системы обеспечения бесперебойной газификации сжиженного природного газа»

ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОЕКТЫ

Введение

В настоящее время и, как ожидается, в ближайшей перспективе, основными потребителями природного газа в России будут [1-4]: транспорт, теплоэнергетика, энерготехнологические производства, химическая промышленность, коммунальное хозяйство и агропромышленный комплекс. Важно отметить, что комплексное использование сжиженного природного газа (СПГ) в агропромышленном комплексе в последние годы рассматривается как энерготехнологическая основа подъема сельского хозяйства России [5-6], которая должна быть надежной и безопасной. Для газоснабжения названных потребителей используются и разрабатываются малотоннажные СПГ-комплексы, включающие: модульные системы получения и хранения СПГ (до 500 т); модульные установки регазификации СПГ высокого (до 25,0 МПа), среднего (до 4,0 МПа) и низкого (до 1,6 МПа) давления, производительностью от 250 до 2500 м³/час.

В установках регазификации объектов малотоннажного потребления СПГ в качестве производственных испарителей применяют воздушные испарители – это самый экономичный вариант по энергозатратам на регазификацию.

Опыт эксплуатации газификационных установок с испарителями, использующими теплоту атмосферного воздуха в неблагоприятных условиях эксплуатации (температура окружающего воздуха около 0°С и влажность, близкая к 100%), показал, что инееобразование на теплообменных поверхностях приводит к достаточно быстрому (8-16 часов) обмерзанию и последующему частичному или полному перекрытию межпанельного или межтрубного пространства испарителя (рисунком 1), что влечет за собой выход режимных параметров за допустимые пределы, снижение заданной производительности установки а, следовательно, необходимость останова испарителя на отогрев.

Существует несколько способов обеспечения бесперебойной регазификации СПГ [14], в том числе: инееподавление, механическое воздействие на целостность слоя криоосадка, а также различные виды резервирования испарителей. Приоритет отдается техническим решениям, не требующим мощных источников тепловой или электроэнергии, сложных механических устройств, дорогостоящих энергоносителей и т.д.

Для анализа и оценки возможности реализации таких технических решений требуется разработка методического обеспечения расчета воздушных испарителей сжиженного природного газа, использующих теплоту окружающей



Рис. 1. Атмосферные испарители в осенне-зимний период эксплуатации

среды. В свою очередь методическое обеспечение включает в себя математическое, информационное, лингвистическое, алгоритмическое и программное обеспечения.

Важнейшей частью математического обеспечения расчета воздушных испарителей сжиженного природного газа, использующих теплоту окружающей среды является вывод эмпирических уравнения состояния для определения термодинамических параметров и фазового равновесия смесей метана с его гомологами при расчетах систем регазификации СПГ.

Анализ и вывод уравнений

Эмпирическое уравнение Бенедикта-Вебба-Рубина (БВР) [7-9] предназначено для расчета термодинамических и теплофизических параметров и фазового равновесия ряда углеводородов: метана, этилена, этана, пропилена, пропана, изобутана, изобутилена, н-бутана, изометана, н-пентана, н-гексана. В работе [10] были рассчитаны коэффициенты для бензола, азота, углекислого газа и водорода, что дало возможность использовать уравнение БВР для перечисленных веществ.

В работе [11] Бенедикт, Вебб и Рубин разработали методику расчета $P - \rho - T$ данных, термодинамических параметров и фазового равновесия для смеси легких углеводородов.

Уравнение БВР устанавливает взаимосвязь между давлением, плотностью и температурой и может быть записано в виде

$$P = RT\rho + \left(B_{0CM}RT - A_{0CM} - \frac{C_{0CM}}{T^2} \right) \rho^2 + (G_{CM}RT - C_{CM})\rho^3 + \alpha_{CM}d_{CM}\rho^6 + \frac{C_{CM}d^3}{T^2}(1 + \gamma_{CM}d^2)\exp(-\gamma_{CM}\rho^2). \quad (1)$$

В этом уравнении ρ – мольная плотность.

Коэффициенты уравнения A, B, C, a, d, c, α и γ не зависят от температуры, давления и плотности и являются постоянными для определенного вещества. Для смеси эти коэффициенты являются функцией состава. Численные значения коэффициентов для 12-ти углеводородных газов приведены в работах [10, 12].

В качестве независимых переменных в уравнении (1) выбраны: температура и плотность, а неприменяемые параметры: давление и температура. Благодаря такому выбору переменных, уравнение БВР пригодно для расчета как паровой, так и жидкой фазы. Использование в качестве переменных давления и температуры приводит к неоднозначному определению плотности, что затрудняет ее вычисление. При расчете термодинамических параметров смеси углеводородов, коэффициенты уравнения БВР определяются следующими выражениями:

$$\begin{aligned} B_{0CM} &= \sum_i y_i B_{0i}, & G_{CM} &= \left[\gamma_i b_i^{1/3} \right]^3, \\ A_{0CM} &= \left[\sum_i \left(y_i A_{0i}^{1/2} \right) \right]^2, & C_{CM} &= \left[\sum_i \left(y_i C_i^{1/3} \right) \right]^3, \\ C_{0CM} &= \left[\sum_i \left(y_i C_{0i}^{1/2} \right) \right]^2, & \alpha_{CM} &= \left[\sum_i \left(y_i \alpha_i^{1/3} \right) \right]^3, \\ \alpha_{CM} &= \left[\sum_i \left(y_i \alpha_i^{1/3} \right) \right]^3, & \gamma_{CM} &= \left[\sum_i \left(y_i \gamma_i^{1/2} \right) \right]^2. \end{aligned} \quad (2)$$

Выражения для энтальпии, энтропии и внутренней энергии могут быть получены по уравнению состояния (1) при использовании известных термодинамических соотношений. Подробный вывод термодинамических уравнений приведен в работе [10].

$$\begin{aligned} H_{CM} &= \sum_i y_i H_i^0 + \left(B_{0CM} RT - 2A_{0CM} - \frac{4C_{0CM}}{T^2} \right) p + \\ &+ (2G_{CM} RT - 3\alpha_{CM}) \frac{p^2}{2} + \\ &+ \frac{6\alpha_{CM} \alpha_{CM} p^5}{5} + \frac{c_{CM} p^2}{T^2} \left[3 \frac{1 - \exp(-\gamma_{CM} p^2)}{\gamma_{CM} d^2} \right] - \\ &- \frac{\exp(-\gamma_{CM} p^2)}{2} + \gamma_{CM} p^2 \exp(-\gamma_{CM} p^2) \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} S_{CM} &= \sum_i y_i [S_i^0 - R \ln p R T y_i] - \left(B_{0CM} R + 2 \frac{C_{0CM}}{T^3} \right) p - \frac{G_{CM} R p^2}{2} + \\ &+ \frac{2C_{CM} p^2}{T} \left[\frac{1 - \exp(-\gamma_{CM} p^2)}{\gamma_{CM} p^2} - \frac{\exp(-\gamma_{CM} p^2)}{2} \right] \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} E_{CM} &= \sum_i y_i E_i^0 - \left(A_{0CM} + \frac{3C_{0CM}}{T^2} \right) p - \frac{\alpha_{CM} p^2}{2} + \frac{\alpha_{CM} \alpha_{CM} p^5}{5} + \\ &+ \frac{3C_{CM} p^2}{T^2} \left[\frac{1 - \exp(-\gamma_{CM} p^2)}{\gamma_{CM} p^2} - \frac{\exp(\gamma_{CM} p^2)}{2} \right]. \end{aligned} \quad (5)$$

В этих выражениях H_{CM}, S_{CM}, E_{CM} – энтальпия, энтропия и внутренняя энергия смеси; $H_i^0; S_i^0; E_i^0$ – энтальпия, энтропия и внутренняя энергия чистых компонентов в стандартном состоянии. Величины $H_i^0; S_i^0; E_i^0$ – рассчитываются с помощью третьего начала термодинамики или по спектроскопическим данным.

Из уравнения состояния БВР (1) может быть получено выражение для определения фугитивности (летучести) одного из компонентов, необходимое для расчетов фазового равновесия смеси.

$$\begin{aligned} RT \ln f_i &= RT \ln d R T y_i + \\ &+ \left[(B_{0CM} + B_{0i}) RT - 2(A_{0CM} A_{0i})^{1/2} - \frac{2(C_{0CM} C_{0i})^{1/2}}{T^2} \right] p + \\ &+ \frac{3}{2} \left[RT (G_{CM}^2 \cdot G_i)^{1/3} - (\alpha_{CM}^2 \cdot \alpha_i)^{1/3} \right] p^2 + \\ &+ \frac{3}{5} \left[\alpha_{CM} (\alpha_{CM}^2 \cdot \alpha_i)^{1/3} + \alpha_{CM} (\alpha_{CM}^2 \cdot \alpha_i)^{1/3} \right] p^5 + \\ &+ \frac{3d^2 (C_{CM}^2 \cdot C_i)^{1/3}}{T^2} \left[\frac{1 - \exp(-\gamma_{CM} p^2)}{\gamma_{CM} p^2} - \right. \\ &- \left. \exp(-\gamma_{CM} p^2) - \frac{\gamma_{CM} d^2 \exp(-\gamma_{CM} p^2)}{2} \right] - \\ &- \frac{2d^2 C_{CM}}{T^2} \left(\frac{\gamma_i}{\gamma_{CM}} \right)^{1/2} \left[\frac{1 - \exp(-\gamma_{CM} p^2)}{\gamma_{CM} p^2} - \right. \\ &- \left. \exp(-\gamma_{CM} p^2) - \frac{\gamma_{CM} d^2 \exp(-\gamma_{CM} p^2)}{2} \right]. \end{aligned} \quad (6)$$

Для повышения точности, с которой уравнение БВР предсказывает фазовое равновесие и калорические свойства жидкой фазы в области низких температур в институте Газа АН УССР была разработана модификация уравнения БВР. В работе А.П. Клименко и С.И. Красноокого [13] это уравнение представлено в следующем виде:

$$\begin{aligned} P &= RT p + \left(B_0 RT - A_0 - \frac{C_0}{T^2} \right) p^2 + \\ &+ \left[RT \left(b^{1/3} + \Delta b^{1/3} \right)^3 - \alpha \right] p^3 + \\ &+ \alpha \left(L^{1/3} + \Delta L^{1/3} \right)^3 p^6 + \frac{c p^3}{T^2} (1 + \eta^2) \exp(-\eta^2), \end{aligned} \quad (7)$$

где $\Delta b^{1/3}$ и $\Delta L^{1/3}$ – поправки, вычисляемые при

помощи коэффициентов полиномов, приведенных в [9].

Выражения для энтальпии, энтропии, внутренней энергии и фугитивности могут быть получены по модифицированному уравнению БВР (7) точно так же, как и по каноническому (1). При этом необходимо указать на границы применения модифицированного уравнения БВР. Оно пригодно для $P \leq 6$ МПа и диапазона температур от 500 К до $0,5 T_{кр}$ но не ниже 170 К.

Для определения термодинамических параметров углеводородных газов при транспортировке при низких температурах (до 120 К) и высоких давлениях (до 10 МПа) было выбрано эмпирическое уравнение Старлинга и Хэна (СХ) [10-12].

Уравнение СХ является универсальным эмпирическим уравнением состояния практически любых веществ, которые подчиняются действию расширенного закона соответственных состояний.

Приведенное уравнение СХ сравнение расчетных и экспериментальных данных по фазовому равновесию показало их достаточно строгое согласование.

Уравнение СХ представляет собой аналитическую зависимость, записанную в неявном виде относительно плотности ρ

$$P = pRT + \left(B_0 RT - A_0 - \frac{C_0}{T^2} + \frac{D_0}{T^3} - \frac{E_0}{T^4} \right) p^2 + \left(bRT - \alpha - \frac{d}{T} \right) p^3 + \alpha \left(\alpha + \frac{d}{T} \right) p^6 + \frac{cp^3}{T^2} (1 - \rho^2) \exp(-\rho^2). \quad (8)$$

Параметры смеси по уравнению (8) можно вычислить, используя зависимости:

$$B_0 = \sum_i x_i B_{0i}, \quad (9)$$

$$A_0 = \sum_i \sum_j x_i x_j A_{0i}^{1/2} A_{0j}^{1/2} (1 - K_{ji}), \quad (10)$$

$$C_0 = \sum_i \sum_j x_i x_j C_{0i}^{1/2} C_{0j}^{1/2} (1 - K_{ji}), \quad (11)$$

$$\gamma = \left[\sum_i x_i y_i^{1/2} \right]^2, \quad (12)$$

$$b = \left[\sum_i x_i b_i^{1/3} \right]^3, \quad (13)$$

$$\alpha = \left[\sum_i x_i \alpha_i^{1/3} \right]^3, \quad (14)$$

$$\alpha = \left[\sum_i x_i \alpha_i^{1/3} \right]^3, \quad (15)$$

$$c = \left[\sum_i x_i c_i^{1/3} \right]^3, \quad (16)$$

$$D_0 = \sum_i \sum_j x_i x_j D_{0i}^{1/2} D_{0j}^{1/2} (1 - K_{ji})^4, \quad (17)$$

$$d = \left[\sum_i x_i d_i^{1/3} \right]^3, \quad (18)$$

$$E_0 = \sum_i \sum_j x_i x_j E_{0i}^{1/2} E_{0j}^{1/2} (1 - K_{ji})^5. \quad (19)$$

В уравнениях (9-19) i и j изменяются от 1 до N (N – число компонентов смеси). В них

x_i – концентрация i -го компонента;

K_{ij} – фактор бинарного взаимодействия между компонентами i и компонентом j ; при $i=j$ значение $K_{ij}=0$.

Коэффициенты чистых компонентов могут быть найдены из следующих выражений (в которых ω_i – фактор ацентричности i -го компонента, ρ_{ci} – его критическая плотность, T_{ci} – его критическая температура:

$$p_{ci} B_{0i} = A_1 + B_1 \omega_i, \quad (20)$$

$$\frac{p_{ci} A_{0i}}{RT_{ci}} = A_2 + B_2 \omega_i, \quad (21)$$

$$\frac{p_{ci} C_{0i}}{RT_{ci}^3} = A_3 + B_3 \omega_i, \quad (22)$$

$$p_{ci}^2 \gamma_i = A_4 + B_4 \omega_i, \quad (23)$$

$$p_{ci}^2 b_i = A_5 + B_5 \omega_i, \quad (24)$$

$$\frac{p_{ci}^2 \alpha_i}{RT_{ci}} = A_6 + B_6 \omega_i, \quad (25)$$

$$p_{ci}^3 d_i = A_7 + B_7 \omega_i, \quad (26)$$

$$\frac{p_{ci}^2 c_i}{RT_{ci}^3} = A_8 + B_8 \omega_i, \quad (27)$$

$$\frac{p_{ci} D_0}{RT_{ci}^4} = A_9 + B_9 \omega_i, \quad (28)$$

$$\frac{p_{ci}^2 d_i}{RT_{ci}^2} = A_{10} + B_{10} \omega_i, \quad (29)$$

$$\frac{p_{ci} E_{ci}}{RT_{ci}^5} = A_{11} + B_{11} \omega_i \exp(-3,8 \omega_i). \quad (30)$$

При помощи термодинамического соотношения:

$$H - H^0 = \frac{p}{\rho} - RT + \int_0^p \left[p - T \left(\frac{\partial p}{\partial T} \right) \right] \frac{dp}{p^2} \quad (31)$$

и уравнения (8) получим выражение для расчета разности энтальпий

$$\begin{aligned} H - H^0 = & \left(B_0 RT - 2A_0 - \frac{4C_0}{T^2} + \frac{5D_0}{T^3} - \frac{6E_0}{T^4} \right) p + \\ & + \frac{1}{2} \left(2bRT - 3a - \frac{4d}{T} \right) p^2 + \\ & + \frac{1}{5} \alpha \left(6a + \frac{7d}{T} \right) p^5 + \\ & + \frac{c}{\gamma T^2} \left[3 - \left(3 + \frac{1}{2} \gamma p^2 - \gamma^2 p^4 \right) - \exp(-\gamma p^2) \right]. \quad (32) \end{aligned}$$

Используя термодинамическое соотношение:

$$S - S^0 = -R \ln(pRT) - \int_0^p \left[pR - \left(\frac{\partial p}{\partial T} \right) p \right] \frac{dp}{p^2} \quad (33)$$

с помощью уравнения (8) получим уравнение для расчета разности энтропий:

$$\begin{aligned} S - S^0 = & - \sum_i x_i R \ln(RT p x_i) - \left(B_0 R + \frac{2C_0}{T^3} - \frac{D_0}{T^4} + \frac{4E_0}{T^5} \right) p - \\ & - \frac{1}{2} \left(bR + \frac{d}{T^2} \right) p^2 + \\ & + \frac{\alpha p^5 d}{5T^2} + \frac{2C}{\gamma T^3} \left[1 - \left(1 + \frac{1}{2} \gamma p^2 \right) \exp(-\gamma p^2) \right]. \quad (34) \end{aligned}$$

В уравнениях (8) – (34) использовались следующие условные обозначения:

H – энтальпия;

H^0 – энтальпия идеального газа при заданной температуре;

p – давление;

S – энтропия;

S^0 – энтропия идеального газа при заданной температуре;

T – заданная температура;

ρ – плотность.

Массивы данных по вязкости сжиженных бинарных смесей метана с его гомологами для моделирования и оптимизации НСГ рассчитывались с помощью приближенной формулы Кендала и Монрое [13]:

$$\lg \eta_{cm} = \varphi_{c1} \cdot \lg \eta_{c1} + \varphi_{c2} \cdot \lg \eta_{c2} \quad (35)$$

где φ_{ci} – мольная доля компонента в бинарной смеси;

η_{ci} – абсолютная вязкость i -го компонента смеси.

С учетом указанных конкурирующих факторов исследование влияния состава природного

газа или попутного нефтяного газа на режимные параметры целесообразно проводить на базе оптимизационной математической модели системы регазификации, включающей модули расчета термодинамических свойств смесей метана с его гомологами.

Литература

1. Расчетно-теоретический анализ и выбор путей совершенствования атмосферных газификаторов криогенных жидкостей: Научно-технический отчет о НИР (промежуточ.) / НПО Криогенмаш; Руководители А.И. Смородин, Б.Т. Ельчинов, В.П. Маринюк и др. – Балашиха, 1988. 60 с.
2. Редькин В.В., Мельников А.В., Заланцова Н.И., Филич И.Е. Газовые смеси для резки в зимних условиях. / В.В. Редькин, А.В. Мельников, Н.И. Заланцова, И.Е. Филич // Рынок вторичных металлов, 2004. №1. С. 47-49.
3. Пат 2522132 Российская Федерация, МПК F 25J3/04/ Способ разделения воздуха / Акулов Л.А., Зайцев А.В., Фатеев К.А.; заявитель и патентообладатель ООО «ЗИФ». - № 2012129216/06; заявл. 10.07.12; опубл. 10.07.14, Бюл. №19.
4. Горбачев С.П., Коледова К.И., Красносова С.Д. Термодинамические модели заправки резервуара криогенной жидкостью // Технические газы, 2011. № 5.
5. Chart Fegox (Чехия). Каталог оборудования, 2014 г.
6. VRV (Италия). Каталог оборудования, 2014 г.
7. Benedict M., Webb G. B., Rubin L. C. An Empirical Equation for Thermodynamic Properties of Light Hydrocarbons and Their Mixtures: I. Methane, Ethane, Propane, and n-Butane // Journal of Chemical Physics. – 1940. – Т. 8, вып. 4. – С. 334-345.
8. Benedict M., Webb G. B., Rubin L. C. An Empirical Equation for Thermodynamic Properties of Light Hydrocarbons and Their Mixtures: II. Mixtures of Methane, Ethane, Propane and n-Butane // Journal of Chemical Physics. – 1942. – Т. 10, вып. 12. – С. 747-758.
9. Benedict M., Webb G., L. Rubin. J. Ind. Eng // Chemical Engineering Progress. — 1951. – Т. 37. – С. 55-59.
10. Benedict M., Webb G. B., Rubin L. C. An Empirical Equation for Thermodynamic Properties of Light Hydrocarbons and Their Mixtures: III. Constants for Twelve Hydrocarbons // Chemical Engineering Progress. — 1951. – Т. 47, вып. 8. – С. 419-422.
11. Benedict M., Webb G. B., Rubin L. C. An Empirical Equation for Thermodynamic Properties of Light Hydrocarbons and Their Mixtures: IV. Fugacities and Liquid-Vapor Equilibria // Chemical Engineering Progress. – 1951. – Т. 47, вып. 9. – С. 449-454.
12. Сейдж Б.Х. Термодинамика многокомпонентных смесей. М.: Недра, 1969. 304 с.
13. Клименко А.П., Красноокий С.И. Модификация уравнения БВР для улучшения предсказания фазовых равновесий и свойств жидкой фазы при низких температурах // Алгоритмизация расчета процессов и аппаратов химических производств, 1969. № 4. С. 8-19.
14. Редькин В.В., Кемаев О.В., Коробков А.А., Кулик М.В. Разработка метано-кислородной энерготехнологии и энерготехнологической системы производства электроэнергии, гомологов метана, этилена и пропилена из неразделенного сжиженного природного и попутного нефтяного газов. // Известия Института инженерной физики, 2013. №4(30). С. 95-102.

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ И РОБОТОТЕХНИКА



УДК 621.865.8

РОБОТ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ВРЕДНЫХ ПРИМЕСЕЙ В ВОЗДУХЕ

ROBOT FOR DIAGNOSIS HARMFUL IMPURITIES IN THE AIR

Елена Вячеславовна Поезжаева

кандидат технических наук

профессор

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

Адрес: 614990, г. Пермь,

Комсомольский п-т, д. 29

Тел.: +7(919)488-27-04

Анастасия Александровна Новикова

студент

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

Адрес: 614990, г. Пермь,

Комсомольский п-т, д. 29

Тел.: +7(919)471-99-74

E-mail: anastasiya.novikova999@mail.ru

Кристина Николаевна Поликарпова

студент

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

Адрес: 614990, г. Пермь,

Комсомольский п-т, д. 29

Тел.: +7(902)836-00-15

E-mail: mail_poli@mail.ru

Вероника Алексеевна Сайкинова

студент

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

Адрес: 614990, г. Пермь,

Комсомольский п-т, д. 29

Тел.: +7(982) 452-44-21

E-mail: veronika-saik@yandex.ru.

Аннотация

В статье рассмотрен шагающий робот, который применяется для диагностики некоторого пространства на наличие в нем различного рода примесей газов.

Ключевые слова: робот, диагностика, датчик.

Summary

The article describes the walking robot, which is used to diagnose the presence of a space therein various types of impurity gases.

Keywords: robot, diagnostics, sensor.

Большинство роботов, созданных для ведения подземных работ, скрывают в себе огромный потенциал, позволяющий расширить их возможности. После того, как поступило сообщение о летальном случае на Воркутинских шахтах, мы обратились к исследованию шахт с помощью робота-шахтера. Данный робот можно применять для обнаружения различного рода примесей газов в воздухе. Он способен своевременно оповещать о повышении концентрации метана, опасного для жизни человека на конкретной территории.

Конструкция робота представляет собой паука, который содержит в себе следующие подсистемы: газовый датчик, ультразвуковой датчик измерения расстояния, шагающий 8-ногий робот, система управления.

У манипулятора робота имеется газовый датчик (рисунк 1), который используется для обнаружения утечки газа в шахте. Данный датчик

быстро распознает CH_4 (метан), природный газ, сжиженный природный газ, при этом он не реагирует на запах алкоголя и дыма.

При обнаружении роботом утечки газа, его местонахождение отмечается в базе данных системы. Затем следует анализ состава. В случае повышенной концентрации газа поступают сигналы тревоги. Структура и конфигурация газового датчика показана на рисунке 2 (конфигура-



Рис. 1. Газовый датчик

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ И РОБОТОТЕХНИКА

ция А или В), датчик состоит из керамической трубки, слоя, распознающего газ, измерительного электрода и нагревательной катушки, фиксируемых в корпусе сеткой из нержавеющей стали. Нагревательная пружина обеспечивает необходимые условия работы для чувствительных компонентов. Датчик имеет 6-контактов, 4 из них используются для распознавания сигналов, а оставшиеся 2 используются для подачи тока накаливания.

Электрическая схема для измерения параметров показана на рисунке 3.

Рассмотрим кривые характеристик сенсора, полученные при измерениях. Ниже приведены типичные характеристики чувствительности датчика (рисунк 4) для нескольких газов. Измерения проводились при температуре 20°C, влажности воздуха 65%, концентрации O₂

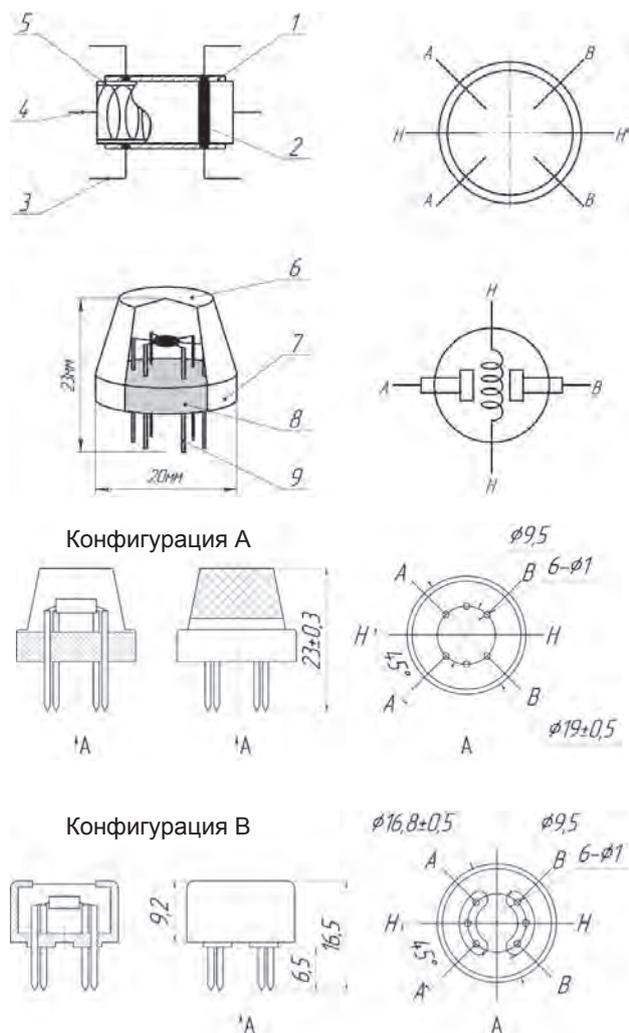


Рис. 2. Структура газового датчика: 1 – слой, распознающий газ; 2 – электрод; 3 – вывод электрода; 4 – нагревательная катушка; 5 – керамическая трубка; 6 – антивзрывная сеть; 7 – зажимное кольцо; 8 – смолистая база; 9 – ножки.

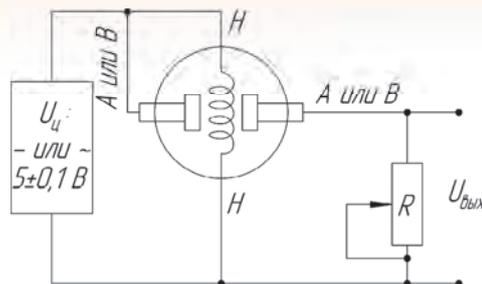


Рис. 3. Электрическая схема

21% и при сопротивлении R=20 кОм, (на рисунке R₀ – сопротивление датчика на 0,001 CH₄ в чистом воздухе, R_s – сопротивление датчика при различных концентрациях газов).

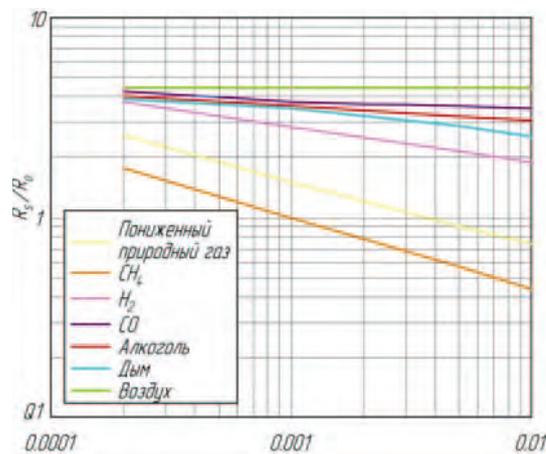


Рис. 4. Характеристики чувствительности датчика для нескольких газов

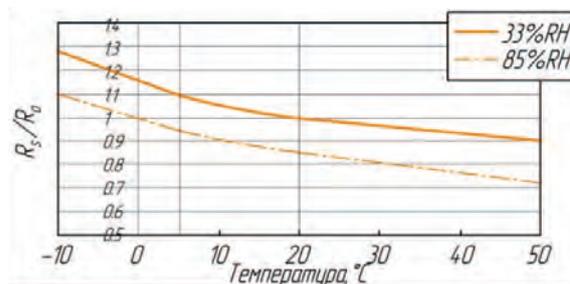


Рис. 5. Зависимость датчика от температуры и влажности

Типичная зависимость датчика от температуры и влажности воздуха показана диаграммой (рисунк 5), где R₀ – сопротивление датчика на 0,001 CH₄ в воздухе при 33% относительной влажности и 20 C°, R_s – сопротивление датчика на 0,001 CH₄ в воздухе при различных температурах и влажности.

Величина сопротивления датчика изменяется в зависимости от видов и концентраций газов.

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ И РОБОТОТЕХНИКА

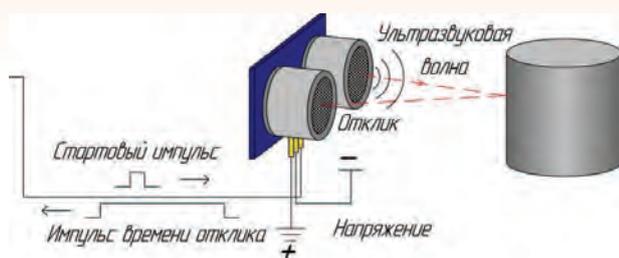


Рис. 6. Принцип действия ультразвукового датчика

Таким образом, очень важна регулировка сенсора. Необходимо откалибровать сенсор для $0,005 \text{ СН}_4$ в воздухе и использовать значения сопротивления нагрузки R около 20 кОм ($10 \text{ кОм} \div 47 \text{ кОм}$). При точном измерении, надлежащую точку сигнализации для газового детектора следует определять после принятия во внимание влияния температуры и влажности.

Для измерения расстояния до препятствия применяется бесконтактный ультразвуковой датчик. Используя ультразвуковые волны, он измеряет расстояние до объекта или просто обнаруживает препятствие на пути движения робота. На плате модуля размещены пьезоизлучатель ультразвука и воспринимающий отраженную волну микрофон. В отличие от инфракрасных датчиков на ультразвуковой датчик не влияют источники света или цвет препятствия. На точность датчика влияет скорость звука в воздухе, так как она зависит от температуры. Измеряемое им расстояние от $0,03$ до $0,6$ м с разрешающей способностью 3 мм, но при увеличении расстояния от $0,6$ до 5 м погрешность увеличивается.



Рис 7. Корпус и ноги робота-шахтера

Принцип действия локационного датчика показан на рисунке 6. Датчик отправляет ультразвуковые импульсы и слушает отклик. На цифровой вход для включения измерения датчика подается импульс высокого уровня длительностью $10\text{--}15$ микросекунд. Датчик отправляет ультразвуковой сигнал из восьми коротких импульсов частотой выше предела диапазона слуха человека. Электроника датчика знает скорость звука в воздухе. Измеряя время между отправленным и принятыми сигналами ультразвука, датчик формирует выходной сигнал. Этот принцип эхоло-

кации используют дельфины и летучие мыши. Спустя примерно микросекунду ультразвуковой датчик сигнализирует на выходе «Отклик» – импульс высокого уровня длительностью до 38 миллисекунд. Если препятствий не обнаружено, то на выходе будет сигнал с длительностью 38 мс. Таким образом, для работы с датчиком от электроники прибора требуется один цифровой управляющий выход и один вход для сигнала датчика. Длина импульса на выходе «Отклик» пропорциональна расстоянию до препятствия. Расстояние вычисляется по формуле: $S = F/60$, где S – расстояние в сантиметрах, F – продолжительность импульса в микросекундах.

Частью, обеспечивающей передвижение, является шагающий восьминогий робот (рисунк 7). Шагающий робот – это машина относительно медленная в перемещении. Ее скорость зависит от числа ног, которое имеет машина. Робот в конфигурации «паук», т.е. имеющий 8 ног, может достичь большей скорости, и более устойчив, чем робот в конфигурации «четвероногое животное». Корпус робота вмещает все необходимые подсистемы робота и обеспечивает место для крепления 8 ног. При шагающем движении робот попеременно опирается на четыре из восьми ног: две несмежные ноги с одной стороны корпуса и две несмежные с другой. Корпус робота и расположение ног позволяют передвигаться по шахте. Для шагающего робота необходима нога, обеспечивающая контакт с землей в точке. Таким образом, можно использовать ногу с 3 степенями свободы.

Выводы

1. Робот можно применять для исследования шахт, в процессе работы шахтеров, а также для диагностики пространства.

2. В настоящее время существует необходимость заблаговременного обнаружения и устранения утечки газа, поэтому данный робот актуален для проведения подобного рода работ.

3. Возможно использование в труднодоступных местах шахты для точного мониторинга состояния безопасности участка шахты. В этом случае робот имеет преимущество перед гусеничными и колесными роботами, поскольку контакт с поверхностью происходит в точках, следовательно, он более устойчив.

Литература

1. Поезжаева Е.В. Промышленные роботы: учеб. пособие: в 3 ч. Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2009. Ч. 2. 185 с.

2. Поезжаева Е.В., Новикова А.А., Поликарпова К.Н., Сайкинова В.А. Роботизация для обеспечения комфорта в промышленных и бытовых помещениях // Молодой ученый, 2016. №2(106). С. 205-207.

СОВРЕМЕННАЯ МЕДИЦИНА И ФАРМАЦЕВТИКА

УДК 614.2:577.3

ОТ МЕДИЦИНЫ СЕГОДНЯШНЕГО ДНЯ ДО ПЕРСОНАЛИЗИРОВАННОЙ МЕДИЦИНЫ БУДУЩЕГО

FROM THE PRESENT MEDICINE TO THE PERSONALIZED MEDICINE OF THE FUTURE

Валерий Кузьмич Курочка

заслуженный врач Российской Федерации
заслуженный врач Республики Бурятия
академик Академии проблем безопасности,
обороны и правопорядка
кандидат медицинских наук, профессор

генерал-майор медицинской службы в отставке
советник Президента МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов,
Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(985)999-18-23 E-mail: kvk1942@mail.ru

Алексей Николаевич Царьков

заслуженный деятель науки РФ
доктор технических наук, профессор

Президент – Председатель Правления Института
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская область, г. Серпухов,
Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)35-31-93 E-mail: tsarkov@iifmail.ru

Аннотация

В статье содержится анализ тенденций развития современной медицины. Определены основные направления развития, задачи и цель персонализированной медицины, как нового направления в медицинской науке и практике. Показано, что персонализированный характер современной медицины требует изменения технологической концепции разработки и производства лекарственных препаратов и методов их применения, а также сформулированы предложения по практической реализации данной концепции.

Ключевые слова: биомедицина, нанотехнологии, инновация, индивидуализация, персонализация, генотип, лекарственное воздействие, клеточный ответ, тенденции, концепция, исследования.

Summary

The article contains the analysis of trends in the development of modern medicine. The basic directions of development, problems and purposes of personalized medicine are determined as a new trend in medical science and practice. The personalized nature of modern medicine is shown to require changes in the concept of technological development and production of medicines and methods of their application, and propositions are formulated on the practical implementation of this concept.

Keywords: biomedicine, nanotechnology, innovation, individualization, personalization, genotype, drug effects, a cellular response, trends, concept of research.

*Диагностика достигла таких успехов,
что здоровых людей практически не осталось.*

Бертран РАССЕЛ

Инновации в области биомедицины преимущественно создаются на стыке разных областей наук (биологии, физики, компьютерных технологий, машиностроения и материаловедения) с совместным участием частных и государственных учреждений, с одновременным финансированием фундаментальных и прикладных исследова-

ований. Это позволяет резко повысить продуктивность и креативность биотехнологической отрасли, которая стала моделью для других биомедицинских направлений.

На рубеже двух тысячелетий медицинская наука вступила в период взрывного роста. Особенно большие успехи были достигнуты в лечении заболеваний, ранее считавшихся неизлечимыми. Этому способствовали политические и демографические вызовы, такие как глобализация экономики, прирост населения и его старение в

СОВРЕМЕННАЯ МЕДИЦИНА И ФАРМАЦЕВТИКА

развитых странах, а также открытия 1990 – начала 2000-х годов в области исследования генома¹.

Отличительной чертой современной медицинской науки является ее «биологизация», широкое применение подходов, базирующихся, на методах молекулярной и клеточной биологии. Клеточные технологии, в том числе клеточная и тканевая инженерия, представляют собой базу так называемой регенеративной медицины, предполагающую использование продуктов на основе выращенных вне организма или модифицированных клеток человека.

Имеются обоснованные прогнозы о том, что достижения молекулярной медицины смогут полноценно сформировать базис персонализированной медицины будущего, основанной на прогностическом и профилактическом принципах.

Еще одной тенденцией в развитии медицинской науки является постоянно усиливающееся взаимопроникновение сменных, ранее развивавшихся отдельно, специальностей. Это проникновение настолько сильно, что можно говорить о появлении новой когнитивной дисциплины – биомедицины, науки о жизни.

Тенденцией, наметившейся в последние десятилетия в развитых странах, является фактическое стирание временной грани между фундаментальными и прикладными исследованиями.

Путь от открытия до практики становится предельно коротким, что стало основой для появления еще одного нового направления в медицине – трансляционной медицины.

Биомедицина постоянно генерирует новые технологии. Только за последние 30 лет произошло несколько технологических скачков: от медицинской химии и фармакологии к геномике 2000-х годов, которая может в скором времени привести к персонализированной медицине или к медицине трех «П» (предсказательной, профилактической, персонализированной).

В рамках проекта проводятся исследования организма человека и населяющей его микробиоты, как единой симбиотической системы, находящейся в тесных метаболических взаимосвязях.

Приоритетными направлениями разрабатываемой проблемы являются исследования гено-

ма, метаболома и протеома микроорганизмов, имеющих значение при формировании здоровья или патологии человека с последующей перспективой разработкой индивидуальных препаратов и лекарств, учитывающих индивидуальные генетические особенности организма человека.

Технология секвенирования ДНК становится рутинной операцией, более быстрой и более дешевой. В ближайшие 15-20 лет она будет стремительно развиваться, и мы сможем узнавать свой «генетический код», что позволит нам получать от врача конкретные рекомендации по самым эффективным лекарственным средствам и их возможным побочным эффектам.

Протеомика – еще одно направление биомедицины, активно развивающееся в последнее время и связанное с изучением белков.

Сравнительно новой отраслью биомедицины являются нанотехнологии, которые пронизывают буквально все отрасли медицинской промышленности, включая биоматериалы, устройства, электронику, контрастирующие агенты для магнитно-ядерной томографии.

В приложении к биомедицине нанотехнологии позволяют определять низкие концентрации биологических веществ более дешевым, быстрым и специфическим способом. Надежды в разработке новых подходов к лечению рака и нейродегенеративных заболеваний напрямую связаны с нанотехнологиями.

Ни одна инновационная область медицинской науки не привлекает такое внимание как клеточная терапия. Ее потенциал такой, что способен полностью преобразить методологию лечения болезней.

Разработка подходов к перепрограммированию постнатальных клеток и получения плюрипотентных клеток индивидуально для каждого пациента открывает уникальные возможности для иммуносовместимых трансплантаций клеточных продуктов, необходимых для заместительной терапии социально значимых заболеваний.

Обнадеживающими представляются исследования иммуномодулирующих и противовоспалительных свойств некоторых стволовых клеток, которые в перспективе могут быть использованы для лечения ишемии тканей, коррекции аутоиммунных заболеваний, как средство обеспечения иммуносовместимости при трансплантации органов (директор НИИФКИ, академик РАН В.А. Козлов).

Технологии клеточной и тканевой инженерии могут уже в ближайшие пять лет представлять клинически приемлемые подходы к восста-

¹ Геном человека – совокупность наследственного материала заключенного в клетке человека. Он состоит из 23 пар хромосом (в сумме – 46 пар), находящихся в ядре, а также митохондриальной ДНК каждая хромосома содержит сотни генов, разделенных межгенным пространством. Гены неравномерно распределены по хромосомам. Каждая хромосома содержит богатые и бедные генами участки.

СОВРЕМЕННАЯ МЕДИЦИНА И ФАРМАЦЕВТИКА

новлению жизненно важных тканей и органов (сердечной мышцы, печени, инсулин продуцирующих клеток поджелудочной железы, нервных клеток и т.д.).

Уже сегодня в технологически развитых странах (США, Англия, Германия, Швеция и др.) значительно снижена летальность от критических ожогов за счет широкого применения технологий выращивания клеток кожи и использование живого эквивалента кожи.

Клеточные препараты входят в практику лечения роговицы, костного мозга, костей, хряща. Ряд клеточных технологий и препаратов в этих странах проходят клинические испытания. Создается система банков тканей и органов на случай чрезвычайных ситуаций, включая реальные военные конфликты.

Перспективные возможности открываются в лечении неврологических расстройств, особенно при лечении Болезни Паркинсона, повреждений спинного мозга и других тяжелых неврологических заболеваний.

Чрезвычайно важными представляются исследования механизмов формирования клеточного ответа. В центре внимания – структурно-функциональная организация клеточных белков, взаимодействие клетки с пептидными и не пептидными регуляторами, анализ их рецепции (преобразования) путей трансдукции (передачи) сигнала, эффекторных звеньев: фосфорилирования белков мишеней, изменений генной экспрессии. Данное направление наиболее продуктивно для создания новых лекарств.

Весьма многообещающим направлением биомедицины является генная терапия. Если на заре развития этого направления предпринимались попытки добавить к геному нормальную копию отсутствующего или дефектного гена, то в настоящее время методы доставки генов используются для того, чтобы:

- заменить дефектный ген его нормальной копией;
- доставить гены, обеспечивающие деструкцию опухолевых клеток или их реверсию, в нормальные клетки;
- доставить вирусные или бактериальные гены для вакцинации;
- доставить гены, которые способствуют росту новых тканей или стимулируют регенерацию поврежденных тканей.

Эти результаты с течением времени и должны позволить генной терапии занять подобающее место в лечении онкологических заболеваний, атеросклероза, диабета и др.

Фармакогенетика и персонализированная медицина наиболее часто ассоциируются с самы-

ми передовыми тенденциями в развитии биомедицины последних лет.

Под фармакогенетикой обычно подразумевают использование достижений генетики для разработки новых лекарственных средств, в частности «индивидуальных» препаратов, позволяющих лечить конкретный недуг конкретного человека средствами персонализированной медицины.

Персонализированная медицина – это объединение геномики, постгеномных технологий, терапевтического лекарственного мониторинга и молекулярной фармакологии. Ее определяют как быстроразвивающуюся область здравоохранения, основанную на интегрированном, координированном и индивидуальном для каждого пациента подходе к анализу возникновения и течения заболеваний, или интегральную медицину, которая включает разработку персонализированных средств лечения на основе геномики, тестирование на предрасположенность к болезням, профилактику, объединение диагностики с лечением и мониторинг лечения.

Цель персонализированной медицины состоит в том, чтобы «найти наиболее соответствующий клинический подход для конкретного больного и в некоторых случаях даже разработать схему лечения пациента в соответствии с его индивидуальными параметрами».

Необходимость этого обусловлена тем, что традиционные созданные для лечения конкретного заболевания лекарственные средства оказываются неэффективными для 30-60% пациентов, наряду с высокой частотой возникновения побочных эффектов.

Несомненно, персонализированная медицина требует внедрения дополнительных высокотехнологичных методов анализа состояния пациента, что, казалось бы, приводит к удорожанию медицинских услуг. Тем не менее, отмечается, что, в конечном счете, персонализированный подход ведет к существенной экономии расходов на медицину – при правильно поставленном диагнозе и тактике лечения, соответствующие затраты резко сокращаются. Более того, применение персонализированных методов существенно сократит смертность от ряда заболеваний, в том числе за счет индивидуального эффекта назначенных лекарственных препаратов. Перспективность этого направления очевидна в особенности по отношению к онкологическим, сердечно-сосудистым и неврологическим заболеваниям.

Основными направлениями развития персонализированной медицины в РФ многие считают:

СОВРЕМЕННАЯ МЕДИЦИНА И ФАРМАЦЕВТИКА

- разработку стандартов лечения и диагностики, которые включают индивидуальный подход;
- специальные компьютерные программы;
- необходимость подготовки специалистов по анализу информации персонализированной медицины;
- подготовку (образование) врачей разных специальностей в этой области;
- подготовку лаборантов по специальным программам.

Одним из важнейших направлений в реализации государственной программы по переходу системы здравоохранения РФ к персонализированной медицине, является разработка, научное обоснование и реализация лекарственной политики государства.

В настоящее время представители министерств и ведомств, журналисты, специалисты фармацевтических компаний, политические и общественные деятели в РФ активно обсуждают, в каком направлении будет развиваться лекарственная политика государства, будет ли сделан акцент на применении инновационных ЛС, либо будут (как это делается в развивающихся странах) использоваться широко воспроизведенные, генерические лекарственные средства.

Правительством РФ принимаются различные государственные программы. Самая известная из них «Фарма 2020». Согласно утвержденной стратегии развития фармацевтической промышленности на период до 2020 года планируется переход на инновационную модель развития фармпромышленности России.

Программа призвана стимулировать разработки и производство инновационных лекарственных средств и поддерживать экспорт российских лекарств, в том числе за счет выработки дополнительных механизмов финансирования оригинальных разработок.

Профессор В.В. Омеляновский дал определение инновации, которая может быть охарактеризована как технологический прогресс, приводящий к созданию нового продукта, снижению затрат на его продукцию либо повышающий ценность (значимость) уже существующего продукта.

Длительное время в государстве обсуждаются несколько концепций инноваций в области производства лекарственных препаратов.

Технологическая концепция связана с изменением технологии разработки и производства препарата, с разработкой новой системы доставки препарата.

Коммерческая концепция предполагает новый подход к организации производства препарата, его качеству и безопасности, обеспечивающие увеличение коммерческой привлекательности препарата, но наиболее актуальной для здравоохранения является терапевтическая концепция, которая связана с появлением нового метода лечения, изменением тактики лечения заболевания, обеспечивающие высокий терапевтический эффект, т.е. реальные преимущества для пациента.

На степень инновации должны оказывать влияние такие факторы как степень новизны препарата по сравнению с существующей лекарственной практикой, выраженность влияния на продолжительность и качество жизни пациента, профиль безопасности и т.д.

При этом необходимо помнить, что результаты многих клинических исследований отражают всего лишь второстепенные эффекты, к которым относятся результаты лабораторных исследований и результаты инструментальных исследований. Тогда как истинные критерии эффективности лечения больных представляют собой: летальность, выживаемость, частоту обострений, частоту осложнений, частоту снижения госпитализации, влияние на работоспособность, изменение качества жизни, снижение инвалидизации. Именно эти показатели позволяют нам судить о добавленном терапевтическом эффекте и делают инновационный, по механизму действия или новой мишени воздействия препарат ценным с терапевтической точки зрения: «Ценность – критерий инновационности продукта. Инновационность – критерий ценности продукта».

Ближайшее будущее покажет, каким путем будет реализовываться, и решаться этот революционный процесс инновационного развития существующей системы здравоохранения России, но одно ясно уже сейчас – этот путь мы обязательно пройдем. Мы должны, наконец, понять простую истину, что «Жизнь подобна собачей упряжке, и если ты не идешь в голове, то видишь одно и то же место...»

Литература

1. Баранов В.С. Генетический паспорт - основа индивидуальной и предиктивной медицины. М.: Н-Л, 2009. 528 с.
2. Кеваль К.Дж. Персонализированная медицина. Terra medicanova №1. Базель: «Jain PharmaBiotech», 2009. С. 4-11.
3. Стратегия развития медицинской науки в РФ на период до 2025 года.
4. Щербо С.Н. Персонализированная медицина. Лабораторные методы. М.: РНИМУ.

СОВРЕМЕННАЯ МЕДИЦИНА И ФАРМАЦЕВТИКА

УДК 616-073.65: 621.384.3: 621.397

ПОВЫШЕНИЕ ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАТИВНОСТИ ИНФРАКРАСНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ НЕЛИНЕЙНОГО КОНТРАСТИРОВАНИЯ RISING OF DIAGNOSTIC INFORMATIONAL CONTENT OF INFRARED IMAGES USING METHODS OF NONLINEAR CONTRAST ENHANCEMENT

Генрих Романович Иваницкий

доктор физико-математических наук, профессор

научный руководитель
ФГБУ науки «Институт теоретической
и экспериментальной биофизики» РАН
Адрес: 142290, Московская обл., г. Пущино,
ул. Институтская, д. 3
Тел.: +7(495)632-78-69 доб. 210
E-mail: office@iteb.ru

Сергей Владимирович Смуров

доктор технических наук, профессор

первый заместитель Генерального директора
по научной работе – главный конструктор
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов,
Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)35-31-93
E-mail: smurov@iifmail.ru

Лариса Николаевна Хижняк

кандидат медицинских наук

научный сотрудник
ФГБУ науки «Институт теоретической
и экспериментальной биофизики» РАН
Адрес: 142290, Московская обл., г. Пущино,
ул. Институтская, д. 3
Тел.: +7(495)632-78-69
E-mail: office@iteb.ru

Евгений Ильич Маевский

доктор медицинских наук, профессор

начальник управления
МОУ «ИИФ»
заместитель директора института –
заведующий лабораторией
Энергетики биологических систем
ФГБУ науки «Институт теоретической
и экспериментальной биофизики» РАН
Адрес: 142290, Московская обл.,
г. Пущино, ул. Институтская, д. 3
Тел.: +7(916)147-11-10 E-mail: eim11@mail.ru

Евгений Павлович Хижняк

доктор физико-математических наук

ведущий научный сотрудник
ФГБУ науки «Институт теоретической
и экспериментальной биофизики» РАН
Адрес: 142290, Московская обл., г. Пущино,
ул. Институтская, д. 3
Тел.: +7(495)632-78-69 E-mail: office@iteb.ru

Аннотация

Рассматриваются методы обработки ИК изображений, улучшающие возможность распознавания патологий непосредственно в процессе первичного визуального анализа ИК термограмм. Диагностическая информативность ИК изображений определяется возможностью выявления локальных, зачастую очень малых, отклонений температуры от нормы на фоне высокого контраста температурных портретов. Распознавание таких температурных аномалий особенно важно при использовании ИК термографии в качестве скрининг метода при профилактических обследованиях, а также – при обследованиях в машинах скорой помощи. Использование стандартных типов черно-белой и цветной палитры в качестве основы для формирования температурных портретов во многих случаях не достаточно для выявления сосудистых и онкологических патологий. Показано, что математическая обработка ИК термограмм с использованием методов нелинейной фильтрации позволяет существенно улучшить диагностическую информативность температурных изображений.

Ключевые слова: температура, медицинская диагностика, инфракрасная термография, обработка изображений.

Summary

Several methods of infrared images processing that make it possible to improve the ability to recognize pathologies during the primary visual IR thermograms analysis are considered. Diagnostic informative properties of the infrared images are determined by the ability to recognize the local, often very small temperature abnormalities against the background of high temperature contrast in surrounding area. Recognition of such temperature abnormalities is especially important in cases when infrared thermography is used as a screening method for preventive examinations, as well as – in emergency and ambulances. Application of standard types of black-and-white or color palette as the basis for generating of temperature portraits in many cases not sufficient to identify vascular and oncological pathologies. It has been demonstrated that digital processing of the infrared images using nonlinear filtering techniques can significantly improve the diagnostic informative properties of thermal images.

Keywords: temperature, diagnostic imaging, infrared thermography, image processing.

Инфракрасная (ИК) термография в последние годы завоевывает все более прочное место в ряду стандартных методов медицинской диагностики [1, 2, 4, 16, 18-20]. Несмотря на очевидные физико-технические основы и преимущества этого неинвазивного метода измерений, диагностические возможности ИК термографии до недавнего времени оставались дискуссионными [14]. Основные причины, ограничивающие применение метода ИК термографии в медицинской практике, были связаны с низкой чувствительностью и недостаточно высоким пространственным разрешением ИК камер, которые до недавнего времени использовались в медицине, что существенно затрудняло корректную интерпретацию ИК термограмм и в ряде случаев делало ее невозможным [3-6, 9, 10, 13-17].

Большинство причин ограничивающих применение термовизионного метода диагностики к настоящему времени устранены [9]. Современные охлаждаемые матричные ИК камеры обладают чувствительностью порядка 0,007-0,015°C при пространственном разрешении 640×480 и скорости регистрации до 400 кадров в секунду. Лучшая чувствительность и большая скорость регистрации матричных ИК камер (по сравнению с ИК камерами на основе одноэлементных ИК фотоприемников) достигаются за счет одновременной регистрацией ИК изображения в пределах одного кадра всеми элементами матрицы ИК фотоприемников. Это позволяет существенно (а именно в $N \times M$ раз, где $N \times M$ – размер матрицы фотоприемников) увеличить время интегрирования ИК излучения в пределах одного кадра. При компьютерной обработке ИК изображений чувствительность может быть повышена до тысячных долей градуса

при скорости 25-50 кадров в секунду, что более чем достаточно для регистрации патологий, которые сопровождаются локальным изменением температуры.

Немаловажным фактором, сдерживающим широкое применение метода ИК термографии в медицинской диагностике, является очень высокая стоимость охлаждаемых ИК камер. Сравнительно недавно на рынке появились неохлаждаемые ИК камеры, работающие в спектральном диапазоне 8-12 мкм. Такие камеры имеют чувствительность 0,03-0,04°C при скорости регистрации 25 кадров в секунду, что вполне достаточно для диагностики большинства воспалительных и сосудистых заболеваний [8]. Стоимость неохлаждаемых ИК камер на порядок ниже охлаждаемых.

В самое последнее время появились миниатюрные матричные ИК камеры, стоимость которых сравнима со стоимостью смартфонов. На основе таких камер могут быть созданы портативные (и даже персональные) диагностические ИК системы. Такие системы могут найти широкое применение в медицинских учреждениях первичного звена, машинах скорой помощи и структурах МЧС. С помощью таких ИК камер процедура регистрации ИК изображений может проводиться даже в домашних условиях с последующей отправкой результатов измерений врачу с использованием средств телемедицины.

На *рисунке 1* приведены примеры ИК термограмм, зарегистрированных с помощью неохлаждаемых матричных ИК камер последнего поколения.

Важнейшей особенностью метода ИК термографии является его абсолютная безопасность для человека (так как в основе метода лежит

принцип регистрации температурных распределений по собственному тепловому излучению объектов в ИК диапазоне длин волн). Поэтому данный метод может без каких-либо ограничений с точки зрения безопасности использоваться в домашних и полевых условиях для многократных диагностических обследований пациентов, в том числе – в качестве метода контроля эффективности лечебного процесса [9, 10, 14].

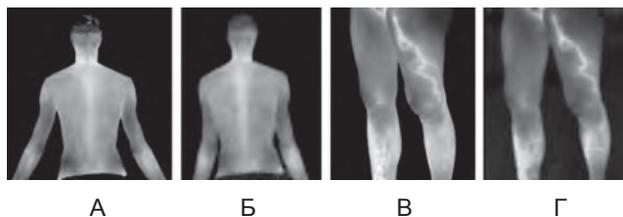


Рис. 1. Сравнительные ИК термограммы, зарегистрированные с помощью двух типов неохлаждаемых матричных ИК камер: стационарной (А и В) и миниатюрной (Б и Г)

Решен вопрос о соотношении между термографической картиной на поверхности тела и анатомическими структурами, которые расположены на определенной глубине от поверхности кожи. Установлено, что важную роль в формировании тепловой картины на поверхности тела играет капиллярный кровоток, обеспечивающий гораздо лучшую передачу тепла по сравнению с классической теплопроводностью гомогенных тканей [11]. Капилляры в данном случае играют роль «тепловых волноводов».

К настоящему времени достаточно четко определена роль и область применения ИК термографии в медицинской диагностике [6, 14, 16, 18, 19].

Основная роль – выявление патологий, сопровождающихся локальным изменением температуры на поверхности тела пациента, включая воспалительные процессы, различные формы нарушений кровотока, включая спазм и обтурацию сосудов, локальные нарушения метаболизма и иннервации биологических тканей, онкологические новообразования на ранних стадиях их развития [18, 20].

Область применения – профилактические обследования (скрининг).

При использовании ИК термографии в качестве скрининг метода важнейшую роль приобретает возможность оперативного выявления патологий непосредственно в процессе первичного визуального анализа температурных ИК изображений. Диагностическая информативность ИК изображений определяется возможностью выявления локальных (зачастую очень ма-

лых) отклонений температуры от нормы на фоне высокого контраста температурных портретов.

Сложность данной задачи связана с тем, что индивидуальные температурные портреты разных пациентов в норме существенно отличаются друг от друга и зависят от температуры и времени пребывания в конкретных условиях окружающей среды (особенно в зимнее время), индивидуальных особенностей потоотделения, эмоционального состояния и предшествующих обследованию физических нагрузок. Во многих случаях необходимо определить абсолютные значения температур в заданных областях тела пациента при неизвестных значениях излучательной способности кожи [10].

Диагностическая информативность ИК термограмм определяется, прежде всего, алгоритмом преобразования ИК данных в видимое изображение.

Регистрируемое ИК камерой излучение Q связано с температурой объекта следующим выражением:

$$Q = \tau_{атм} [\varepsilon f(T_{об}) + (1 - \varepsilon)f(T_{окр})] + (1 - \tau_{атм})f(T_{атм}), \quad (1)$$

где Q – энергия ИК излучения;

$\tau_{атм}$ – коэффициент пропускания атмосферы;

ε – излучательная способность исследуемого объекта;

$T_{об}$ – температура объекта;

$T_{окр}$ – температура окружения объекта;

$T_{атм}$ – температура атмосферы;

$f(n)$ – калибровочная функция, индивидуальная для каждого элемента матрицы ИК фотоприемников. Все величины температур указываются в градусах Кельвина.

При этом

$$\tau_{атм} = \exp(-\alpha d),$$

где α – коэффициент затухания [km^{-1}];

d – расстояние от объекта до камеры [km].

При малых расстояниях до объекта измерений, поправкой на затухание атмосферы можно пренебречь. В этом случае формула (1) приобретает вид:

$$Q = \varepsilon f(T_{об}) + (1 - \varepsilon)f(T_{окр}). \quad (2)$$

В современных ИК камерах численные данные $Q(n \times m)$ с матрицы ИК фотоприемников размером $(n \times m)$ автоматически преобразуются в температурные величины $T(n \times m)$ при условии, что параметры калибровочной функции $f(n)$ определены при калибровке. Значение излучательной способности ε задается оператором в зависимости от условий измерения.

Затем температурные величины $T(n \times m)$ преобразуются в матрицу $I(n \times m)$ яркости или цвета температурного изображения с использованием полутоновой черно-белой или цветной пали-

тры. В простейшем случае, полутоновое черно-белое температурное изображение формируется при условии, что величины $I(n \times m)$, определяющие яркость в каждой точке ИК изображения, прямо (позитив) или обратно (негатив) пропорциональны соответствующим значениям температуры $T(n \times m)$.

Проблема с визуальной информативностью полученных таким образом температурных изображений связана с тем, что численные значения матрицы $Q(n \times m)$ и соответственно $T(n \times m)$ формируются при условии 12 или 14 разрядной оцифровке данных, а количество полутонов черно-белой шкалы ограничено 8 разрядной величиной. Иначе говоря, температурный диапазон ИК камеры может иметь от 4096 градаций при 12 разрядной оцифровке данных до 16384 градации при 14 разрядной оцифровке данных, а число градаций яркости при использовании черно-белой шкалы ограничено 256 градациями. Не намного лучше обстоит дело и при использовании цветной палитры для формирования температурного изображения.

На сегодняшний день в медицинской практике достаточно четко определены условия регистрации ИК термограмм и основные палитры для формирования температурных шкал [19]. Большинство современных ИК камер откалиброваны на температурный диапазон, заведомо перекрывающий физиологический диапазон температур на поверхности кожи (от 20°C до 40°C). Численные значения матрицы $Q(n \times m)$ формируются при условии, что минимальное и максимальное значения $Q(n \times m)$ соответствуют граничным значениям температурного диапазона, на который откалибрована ИК камера. Такие камеры очень удобны, так как в процессе их эксплуатации отсутствует необходимость в каких-либо перенастройках ИК камеры, а закономерность формирования температурного изображения может произвольно задаваться программным путем за счет выбора функции соответствия температурных значений $T(n \times m)$ определенным участкам палитры температурных шкал.

На *рисунке 2* приведен пример температурного портрета здорового человека, сформированного при условии, что минимальные и максимальные значения температуры на поверхности тела не выходят за соответствующие границы температурных шкал (T_{\min}) и (T_{\max}).

Информативность температурных портретов может быть улучшена с использованием цветных меток на полутоновой черно-белой температурной шкале. Температурные интервалы цветных меток на *рисунке 2* (справа) соответствуют

значениям температур в данных участках тела в норме. Такой способ визуализации информативен для патологий, для которых применим пороговый критерий выхода температурных значений за заданные величины.

К таким патологиям относятся воспалительные процессы, расположенные на небольшой глубине от поверхности тела, и при которых локальные значения температур в области патологий превышают максимальную температуру тела в норме [10, 14]. В качестве реперного значения может использоваться температура в области внутренних уголков глаз, которая с достаточной точностью соответствует температуре тела в норме [7].

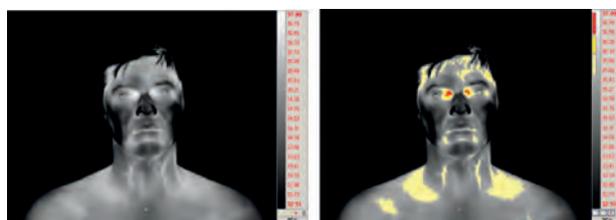


Рис. 2. Температурный портрет здорового человека. Температурная шкала сформирована при условии: $T_{\min} = 32,5^\circ\text{C}$, $T_{\max} = 37,0^\circ\text{C}$

На *рисунках 3* и *4* приведены примеры, демонстрирующие различия между температурными портретами в норме и при наличии патологических процессов в области шеи.

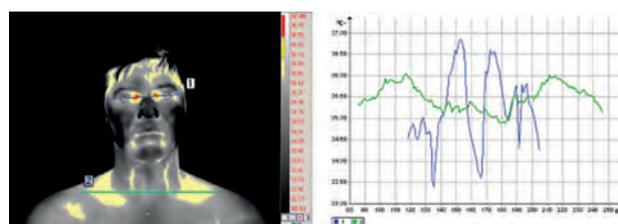


Рис. 3. Термограмма и температурные профили по линиям «1» и «2» в норме

В норме максимальные значения температуры наблюдаются в области внутренних уголков глаз. Локальные перегревы в других областях не должны превышать температуру в области глаз. Температурные метки, обозначенные на *рисунке 3* слева, и температурные профили (*рисунков 3*, справа) демонстрирует различия в температурных значениях для выделенных участков тела человека. При наличии воспалительного процесса в области подключичных лимфатических узлов значения температуры в области патологий превышает температуру в области глаз, что отчетливо демонстрирует *рисунке 4*.



Рис. 4. Термограмма и температурные профили по линиям «1» и «2» при патологии в области шеи

При нарушении периферического кровотока или при развитии локального спазма применим критерий снижения локальной температуры ниже заданных пороговых значений. Однако, определить конкретные значения пороговых величин в этих случаях гораздо сложнее, поскольку минимальные значения температуры в различных областях тела конкретного пациента заранее неизвестны и зависят от целого ряда внешних условий [11, 14].

На практике достаточно часто встречаются случаи, при которых патологии сопровождаются локальными, небольшими по размеру отклонениями температуры от нормы, которые маскируются на фоне высокого контраста температурных портретов. К таким случаям относятся патологические процессы в области суставов, позвоночника и на ранних стадиях сосудистых и онкологических заболеваний [4, 6, 12, 18]. Пороговый критерий при таких случаях не применим. Для выявления такого типа патологий необходимо применение сложных методов обработки ИК изображений, включая расчет температурных гистограмм по заданной области тела пациента, анализ температурных профилей по нескольким направлениям и ряда других методов. В простейшем случае, может быть применен метод сужения температурного диапазона, который используется для формирования черно-белого температурного портрета, совместно с использованием цветовой палитры (рисунк 5).

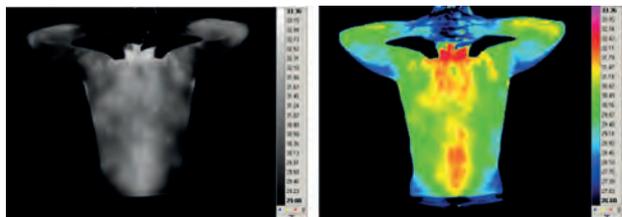


Рис. 5. ИК термограммы спины человека при остеохондрозе в шейном и поясничном отделе

Однако при таком способе формирования температурного портрета возникает проблема выбора граничных значений температур-

ных шкал (T_{min}) и (T_{max}). При высоком контрасте температурных портретов некоторые области ИК термограмм могут выходить за границы температурной шкалы и, как следствие, некоторые участки тела человека становятся невидимыми. Использование цветовой палитры в ряде случаев позволяет решить данную проблему (рисунк 5, справа), но, как правило, при обширной области перегрева.

В идеальном случае, для оперативного выявления такого типа патологий в процессе первичного визуального анализа ИК термограмм, необходимо сформировать температурный портрет таким способом, который бы позволил увеличить контраст для диагностически значимых, малых температурных отклонений без потери информации о температурном распределении в окружающих участках тела пациента.

Для решения этой задачи исходное ИК изображение может быть обработано с помощью метода нелинейного контрастирования, который позволяет изменять контраст температурного портрета в заданных участках температур при сохранении границ температурной шкалы.

Использование фильтра высоких частот позволяет уменьшить контраст температурного портрета с одновременным выделением температурных неоднородностей малых размеров (рисунк 6).



Рис. 6. Слева – исходная ИК термограмма, справа – после обработки с применением фильтра высоких частот

Однако использование фильтра высоких частот не достаточно для четкой визуализации сосудов в разных областях тела (например – в области стопы, рисунок 6, справа). Гораздо лучшая детализация состояния сосудов в таких случаях может быть достигнута с применением метода суперпозиции температурных изображений, полученных в результате нелинейного контрастирования и применения частотной фильтрации (рисунк 7).

Необходимо отметить, что частотная фильтрация (рисунк 6, справа) или нелинейное контрастирование (рисунк 7, слева) по отдельности не позволяют сохранить исходный диапазон температурной шкалы и могут исказить тем-

СОВРЕМЕННАЯ МЕДИЦИНА И ФАРМАЦЕВТИКА

пературные профили в области сосудов. Кроме того, далеко не все цветные палитры обеспечивают детализацию температурных изображений. Цветовая шкала, примененная на *рисунке 7*, справа обеспечивает наилучшую детализацию температурных изображений по сравнению с цветовыми палитрами, чаще всего применяемыми в медицинской практике (*рисунок 8*) [19].

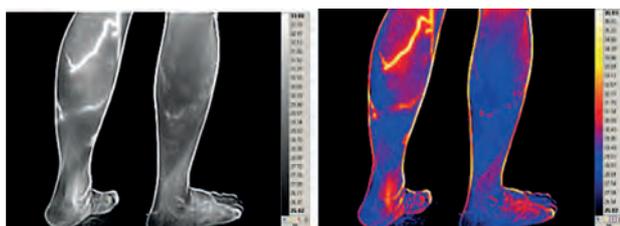


Рис. 7. ИК термограммы, полученные с применением метода суперпозиции температурных изображений в черно-белой и цветной температурной шкале

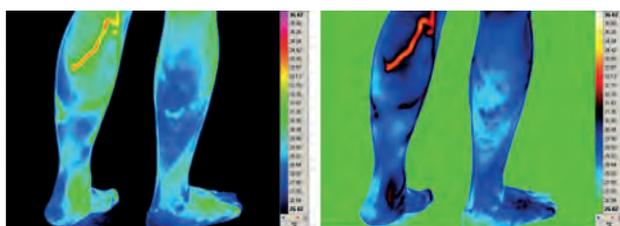


Рис. 8. ИК термограммы в стандартных цветовых палитрах

Диапазоны температурных шкал на *рисунках 8 и 7, справа*, идентичны.

При использовании ИК термографии в качестве потокового скрининг метода для выявления больных в аэропортах и других местах скопления людей важную роль приобретает возможность определения абсолютных значений температур в различных участках тела непосредственно в процессе первичного визуального анализа температурных изображений. При этом важно учитывать, что максимальная температура не обязательно будет находиться в области глаз [7]. Кроме того, больные с высокой температурой сильнее потеют по сравнению со здоровыми людьми. Разница в результатах измерений между влажной (человек вспотел) и сухой кожей может достигать нескольких градусов по Цельсию (*рисунок 9*).

Близко расположенные друг к другу темные точки, расположенные между носом и губами на *рисунке 9 (справа)* и локальные минимумы на температурном профиле на *рисунке 9 (справа)* соответствуют открытым каналам потовых протоков (порам) на коже лица. Температурный профиль по линии «1» проведен через 5 потовых

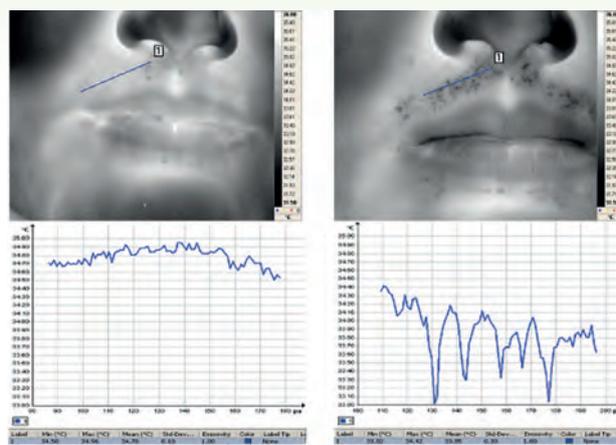


Рис. 9. ИК термограммы и температурные профили при сухой (слева) и влажной (справа) коже. Слева – поры закрыты, справа – поры открыты.

протоков. Важно отметить, что применение полутоновой черно-белой палитры при формировании температурного изображения в таких случаях обеспечивает гораздо лучшую детализацию локальных температурных минимумов в области открытых каналов потовых протоков (пор) на поверхности кожи по сравнению наилучшим образом подобранной цветовой палитрой (*рисунок 10*).

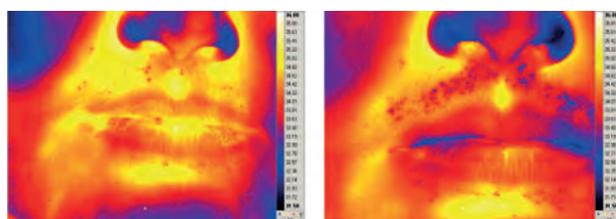


Рис. 10. ИК термограммы, трансформированные в оптимально подобранную цветовую палитру, аналогичные термограммам, приведенным на *рисунке 9*

Для предотвращения ошибок в температурных измерениях в подобных случаях важно учитывать, что в области открытых каналов потовых протоков (пор) при большой концентрации пор на единицу площади поверхности кожи усредненное значение температуры может быть на 1-2°C ниже по сравнению с ситуацией, когда поры закрыты. Суммируя рассмотренные методы визуализации ИК термограмм можно сделать вывод, что универсального метода формирования температурных портретов не существует.

При использовании ИК термографии в качестве скрининг метода для выявления патологий непосредственно в процессе первичного визуального анализа температурных ИК изображений необходимо иметь набор готовых к приме-

СОВРЕМЕННАЯ МЕДИЦИНА И ФАРМАЦЕВТИКА

нению алгоритмов обработки ИК данных в реальном времени, которые могут оперативно применяться при возможности быстрого переключения между алгоритмами.

Литература

1. Вайнер Б.Г. Матричные тепловизионные системы в медицине // *Врач*, 1999. №10. С. 30-31.
2. Вайнер Б.Г. Медицинское тепловидение высокого разрешения: новые возможности // *Врач*, 1999. №2. С. 25-27.
3. Выховская А.Г., Сандриков В.А., Дмитриев Н.П. Некоторые аспекты клинического применения термографии // *Тепловидение в медицине*, 1972. С. 63-67.
4. Замечник Т.В., Ларин С.И. Возможности термографии в диагностике варикозной болезни нижних конечностей // *Флебология*, 2009. №3. С. 10-14.
5. Зеновко Г.И. Термография в диагностике заболеваний вен нижних конечностей // *Хирургия*, 1982. №9. С. 36-39.
6. Зеновко Г.И. Термография в хирургии. М.: Медицина, 1998. 168 с.
7. Иваницкий Г.Р., Хижняк Л.Н., Деев А.А., Крестьяева И.Б., Хижняк Е.П. Особенности температурных распределений в области глаз // *ДАН*, 2004. Т. 398. № 5. С. 709-714.
8. Иваницкий Г.Р., Деев А.А., Хижняк Е.П., Хижняк Л.Н. Тепловидение в медицине: сравнительная оценка инфракрасных систем диапазонов длин волн 3-5 и 8-12 мкм для диагностических целей // *ДАН*, 2006. Т. 407. № 2. С. 258-262.
9. Иваницкий Г.Р. Современное матричное тепловидение в биомедицине // *Успехи физических наук*, 2006. №176. С. 1293-1320.
10. Иваницкий Г.Р., Деев А.А., Хижняк Е.П., Хижняк Л.Н. Анализ теплового рельефа на теле человека // *Технологии живых систем*, 2007. Т. 4. №5-6. С. 43-50.
11. Иваницкий Г.Р., Деев А.А., Пашовкин Т.Н., Хижняк Е.П., Хижняк Л.Н., Цыганов М.А. Особенности теплового проявления подкожных источников нагрева на поверхности тела человека // *ДАН*, 2008. Т. 420. №4. С. 551-555.
12. Никитин В.А., Токин А.Н., Чистяков А.А., Новожилов В.А. Тепловидение в диагностике сосудистых заболеваний нижних конечностей // *Хирургия*, 1987. №6. С. 58-60.
13. Применение тепловидения в многопрофильных больницах и поликлиниках. Методические рекомендации. Под ред. д.т.н. проф. М.М. Мирошников. Л.: 1982. 84 с.
14. Хижняк Л.Н., Хижняк Е.П., Иваницкий Г.Р. Диагностические возможности матричной инфракрасной термографии. Проблемы и перспективы // *Вестник новых медицинских технологий*, 2012. №4. С. 170-176.
15. Anbar M. Computerized Thermography. The Emergence of a New Diagnostic Imaging Modality // *Int J. Technology Assessment in Health Care*. 1987, 3, pp. 613-621.
16. Anbar M. Quantitative Dynamic Telethermography in Medical Diagnosis. CRC Press: Boca Raton 1994, pp. 1-180.
17. Borgqvist D., Bornmyr S. New aspects on thermography as a noninvasive diagnostic method for arteriovenous anastomoses in the extremities // *VASA*. – 1986. – Vol. 15, № 3. pp. 241-244.
18. Keyserlink J.R., Yu E., Belliveau N. et al. Functional infrared imaging of the breast // *J. IEEE Engin. Med. Biol.*, 2000. Vol. 19, № 3. pp. 30-41.
19. Ring E.F.J. and Ammer K. Infrared thermal imaging in medicine. // *Physiol. Meas.*, 33 (2012) R33-R46, IOP Publishing.
20. Krawczyk B., Schaefer G., Wozniak M. A hybrid cost-sensitive ensemble for imbalanced breast thermogram classification. // *Artificial Intelligence in Medicine*, 2015, 65(3), pp. 219-227.

ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

УДК 37.015

ФОРМИРОВАНИЕ КУЛЬТУРЫ ЗДОРОВЬЕСБЕРЕЖЕНИЯ КУРСАНТОВ ВОЕННЫХ ВУЗОВ, ФАКТОРЫ ВЛИЯЮЩИЕ НА СОХРАНЕНИЕ ИХ КУЛЬТУРЫ ЗДОРОВЬЕСБЕРЕЖЕНИЯ BUILDING A CULTURE OF HEALTH SAVING CADETS OF MILITARY SCHOOLS, THE FACTORS AFFECTING THE PRESERVATION OF THEIR HEALTH PRESERVATION CULTURE

Денис Викторович Шугалей

преподаватель
начальник медицинской службы
филиал ВА РВСН им. Петра Великого
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17
Тел.: +7(929)681-81-36
E-mail: denmsi@mail.ru

Никита Витальевич Паков

курсант
филиал ВА им. Петра Великого
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17
Тел.: +7(999)804-96-11
E-mail: pakov.nikita@yandex.ru

Аннотация

Статья посвящена актуальной проблеме формирования культуры здоровьесбережения курсантов. В ней анализируются факторы, влияющие на сохранение культуры здоровьесбережения курсанта. Отражены критерии сформированной культуры здоровьесбережения, влияние погодных условий на динамику заболеваемости и культуру здоровьесбережения курсантов, способы предупреждения болезней. Приведен сравнительный анализ здоровьесберегающей культуры курсантов по призыву и контрактной службы. Выявлена главная цель внедрения технологии формирования культуры здоровьесбережения. Предложены рекомендации по формированию здоровьесберегающей культуры в систему военного образования и в практику воспитательной работы курсантов.

Ключевые слова: здоровьесбережение, охрана здоровья, формирование качеств, направленность образа жизни, культура.

Summary

The article deal with the problem of cadets' health saving and forming the proper attitude to physical culture. The authors analyze factors which influence the developing health saving culture of cadets. The article contains the criteria of cadets' competence in the sphere of health saving, the influence of weather conditions upon the increase in morbidity rates, development of health saving competence and ways of sickness prevention. The article gives comparative analysis of health saving competence of conscripts and contracted cadets. The main aim of implementation of principles of health saving competence is outlined here. The authors suggest some recommendations on forming health saving competence in the process of military education.

Key words: health care competence, health care, developing skills, way of life.

ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

Актуальность статьи. Демократизация российского общества повлекла существенные изменения в различных сферах жизнедеятельности, в том числе и в Российской армии. Активная модернизация и реформирование Вооруженных сил не дает ожидаемых скорых результатов по причине недостаточно учтенного человеческого фактора. Реформирование ВС РФ, безусловно, будет более эффективным в случае максимального учета человеческого фактора. Армия нуждается в молодом пополнении, максимально готовом морально и физически к жизни и деятельности в сложных непрерывно изменяющихся социальных и психолого-педагогических условиях. Практика показывает, что в образе жизни допризывной молодежи недостаточно уделяется внимание формированию культуры здоровьесбережения. Не в полной мере способствует этому и современная система образования.

Заложенный от природы ресурс здоровья, к сожалению, не сберегается к возрасту 20-25 лет по ряду социально-педагогических причин. Молодежь, предоставленная сама себе, подвержена здоровьеразрушающим воздействиям, не противостоит соблазнам нездорового образа жизни. Социально значимо и жизненно важно обратить пристальное внимание на проблему здоровьесбережения подростков. Широкие возможности для ее решения предоставляет сеть высших военных заведений, одним из которых является филиал ВА РВСН им. Петра Великого. Специфика организации учебно-воспитательного процесса в условиях филиала военной академии позволит целенаправленно формировать культуру здоровьесбережения, своевременно осуществлять как диагностику, так и коррекцию ее компонентов.

Российский опыт воспитания офицерских кадров в системе высшего военного образования подтверждает ее результативность, так как жизнедеятельность в филиале военной академии была пронизана разнообразно организованной физической подготовкой. Наряду с обя-

зательными занятиями широко использовались возможности танцев, обучения плаванию, рукопашному бою, волейболу, футболу, баскетболу и т.п., что влияет на культуру здоровьесбережения курсантов.

Положения по программе формирования культуры здоровьесбережения отражены в Уставе. В связи с этим, проводится большая воспитательная работа, уставные положения выдержаны в полном объеме, обусловленном материальными возможностями. Однако нарушение норм культуры здоровьесбережения отмечается достаточно часто. Это говорит об отсутствии систематической ориентации курсантов на соблюдение норм культуры здоровьесбережения, о низком уровне мотивации здоровьесбережения, неумении противостоять вредным воздействиям на организм, незнании способов защиты своего здоровья.

В последнее время активизировалось внимание к здоровому образу жизни курсантов, это связано с озабоченностью общества по поводу здоровья специалистов, выпускаемых высшей школой. Здоровый образ жизни отражает процессы самоорганизации и самодисциплины. Основными элементами здорового образа жизни выступают: соблюдение режима труда и отдыха, питания и сна, гигиенических требований, отказа от вредных привычек, культура поведения в коллективе, досуг.

Рассмотрим влияние погодных условий на динамику заболеваемости и культуру здоровьесбережения курсантов филиала военной академии РВСН

На здоровье современного человека воздействует ряд факторов окружающей среды (климат, погода, экология). Зимой в основном обмен понижен и это связано с эндокринной системой; весной и осенью повышен, что сказывается на неустойчивости настроения.

Динамика заболеваемости курсантов ФВА РВСН за 2014-2015 года представлена на *рисунке 1*.

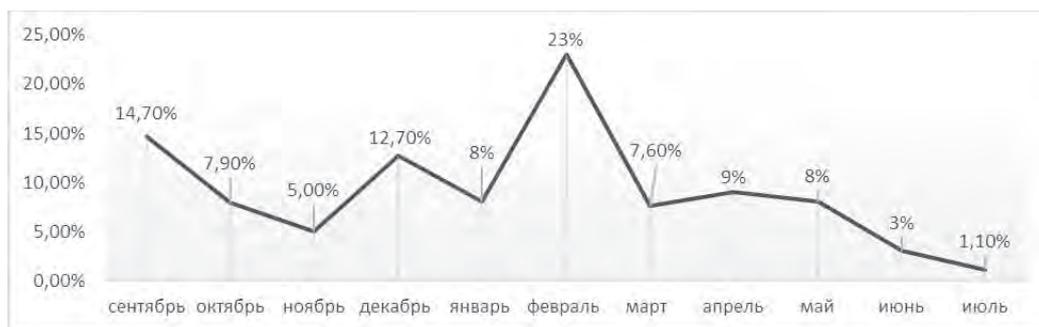


Рис. 1. Динамика заболеваемости курсантов ФВА РВСН за 2014-2015 года

ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

Изучая количество заболеваемости по месяцам, нами установлен высокий риск заболевания курсантов в феврале. Исходя из этого, можно сделать следующие заключение.

Лечение и профилактика заболеваемости должны основываться на лечении основных осложнений накануне изменений в погоде. К февралю нужно укреплять иммунитет, чтобы организм был менее подвержен воздействию внешних факторов. Выделить дополнительно лечебно-профилактические мероприятия: медицинский контроль за безопасностью труда курсантов при работе с оружием, военной техникой и в процессе боевой подготовки. Своевременно выявлять заболевших курсантов и оказывать им необходимую медицинскую помощь, амбулаторное и стационарное лечение, проведение медицинской реабилитации. Провести командирам (начальникам) мероприятие по оздоровлению условий службы и быта, контролировать строгое соблюдение санитарных правил и норм, выполнение требований общевоинских уставов по размещению военнослужащих, организации их питания, водоснабжению и другим видам материального обеспечения и бытового обслуживания.

Для более явного понимания зависимости культуры здоровьесбережения курсанта от его личной воспитанности, рассмотрим сравнительный анализ здоровьесберегающей культуры курсантов по призыву и контрактной службы филиала ВА РВСН.

Проблема здоровьесберегающей культуры курсантов по призыву и контрактной службы в вооруженных силах РФ является весьма актуальной. Наблюдается значительная разница между здоровьесбережением у военнослужащих по призыву и военнослужащих контрактной службы. Это напрямую связано с условиями проживания, сроком службы, материальным довольствием.

Сравним выделенные две категории курсантов по такому аспекту, как условия проживания. Разница состоит в следующем, согласно Уставу внутренней службы военнослужащие, проходящие военную службу по призыву, размещаются в казарменных помещениях, где на каждого военнослужащего предусматривается не менее 4 м² площади, что при высоте помещения 3 м обеспечивает объем 12 м³ воздуха. Наличие вентиляции не исключает периодического проветривания. Нарушение этого требования способствует повышенной заболеваемости военнослужащих. Также комната для умывания оборудуется следующим порядком: умывания устанавливаются умывальники из расчета один кран на 5-7 чело-

век; для мытья ног оборудуются не менее 2 ножных ванн с проточной водой, а также место для стирки обмундирования. Душевые оборудуются в ротах из расчета один кран (душевая сетка) на 15-20 человек. Военнослужащие же, проходящие службу по контракту размещаются: с семьями – вне расположения полка (части), а несемейные – в общежитиях или в отдельных помещениях (комнатах) казармы, а также на квартирах вне расположения полка (части). Соответственно различные условия проживания создают различные гигиенические условия. В соответствии с таблицей 1 среди курсантов первых курсов, проживающих в казарме заболеваемость ОРЗ и бронхитом на порядок выше, чем у курсантов вторых, третьих курсов, проживающих в общежитии.

Таблица 1
Анализ заболеваемости ОРЗ
и бронхитом за январь, февраль, март 2016 года

Подразделение	Кол-во заболевших	Подразделение	Кол-во заболевших
Первые курсы	247	Вторые курсы	84
		Третьи курсы	39
Итого: первые курсы	247	Вторые и третьи курсы	123

Из этого следует, что курсанты, проживающие в общежитии более устойчивы к болезням. Из-за того, что их санитарно-гигиенические условия лучше, чем у курсантов, проживающих в казарме. Так как проживание в одном помещении с 4-5 другими курсантами сильно отличается от проживания в одном помещении с 90-120 другими курсантами. Так, например, душевая приходится уже не из расчета 1 кабина на 15-20 человек, а на 5-6 человек.

Срок службы влияет саму культуру здоровьесбережения курсантов. Так, например, курсант второго или третьего курса уже имеет большее представление о личной и общественной гигиене, о заболеваниях ОРЗ и профилактических мероприятиях, препятствующих заболеванию, чем курсант первого курса, который совсем недавно пришел обучаться в высшее военное заведение. Так же не стоит забывать про то, что курсант второго курса уже на протяжении целого года (а курсант третьего курса уже на протяжении двух лет) ежедневно занимается утренней физической зарядкой, что способствует укреп-

ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

плению иммунитета. Так же курсанты вторых и третьих курсов более подготовлены к выполнению задач повседневной деятельности и внезапно возникающих задач, которые могут негативно сказаться на здоровье, так как у них есть приобретенный за время обучения опыт.

Таким образом, у курсантов контрактной службы культура здоровьесбережения развита гораздо лучше, чем у курсантов по призыву.

Происхождение болезни имеет два источника: состояние человеческого организма, т.е. «внутренние», и внешние причины, воздействующие на него. Следовательно, для предупреждения болезней, повышения устойчивости организма есть 2 способа: первый способ малонадежен. Человеку, живущему в обществе, практически невозможно устранить все внешние факторы болезни. Второй способ более результативен. Он заключается в способности адаптироваться к условиям внешней среды и является одним из факторов оценки здоровья человека.

Укрепление здоровья курсантов в основном определяется образом жизни. Это проявляется в доли бюджета личности, которая на них тратится; в том на какие виды жизнедеятельности личность расходует свое свободное время, каким видам отдает предпочтение в ситуациях, когда возможен выбор. Одни курсанты используют свободное время для чтения, другие – для занятия физическими упражнениями, третьи – на общение. Сознательно планируя затраты времени и усилий, курсант может либо включаться в широкую сеть таких связей, либо обособляться. Образ жизни курсанту нельзя навязывать извне. Личность имеет право выбора значимых для нее форм жизнедеятельности, типов поведения. Выражением регуляции личности в жизнедеятельности является стиль жизни. Это поведенческая система, которая характеризует постоянство составляющих ее компонентов и включающая приемы поведения, достижение целей с наименьшими физическими, психическими и энергетическими затратами. Накапливаясь в течение учебного года, негативные последствия организации жизнедеятельности наиболее ярко проявляются ко времени его окончания. Практические занятия по физическому воспитанию в вузе не гарантируют автоматически сохранение и укрепление здоровья курсантов. Его должны определять многие составляющие образа жизни, среди которых важное место принадлежит регулярным занятиям физическими упражнениями.

Теоретическое и практическое исследование проблемы показали, что наиболее важной задачей современного военного образования яв-

ляется сохранение и укрепление здоровья курсантов. Несмотря на достаточно жесткий медицинский отбор кандидатов, такая проблема существует. Она заключается, прежде всего, в том, что многие курсанты неадекватно оценивают состояние своего здоровья, не понимают сущности здорового образа жизни. Они легко поддаются влиянию рекламы, давлению среды и предлагаемых извне ценностей и норм поведения (реклама пива, алкогольных напитков, сигарет и др.), противоречащих здоровому образу жизни, приобретают вредные для здоровья привычки, не умеют регулировать свое психоэмоциональное состояние, принимать решения, обеспечивающие сохранение и укрепление индивидуального здоровья.

Педагогическая проблема формирования культуры здоровьесбережения заключается в своевременном формировании структурных компонентов культуры здоровьесбережения на всех ступенях образования поэтапно, педагогической профилактике и коррекции. Несмотря на то, что содержательный компонент системы подготовки военных достаточно объемный, нами выявлен резерв времени, который может быть использован на интенсификацию формирования культуры здоровьесбережения. Культура здоровьесбережения курсантов рассматривается в качестве фактора, активизирующего все другие направления формирования личности будущего офицера.

Главной целью внедрения технологии формирования культуры здоровьесбережения курсантов является формирование у будущих офицеров устойчивой мотивации на сохранение и укрепление здоровья, разработки личной модели здорового образа жизни применительно к условиям будущей профессиональной деятельности.

Технология формирования культуры здоровьесбережения курсантов включает три блока – этапа: мотивационно-когнитивный – направленный на формирование мотивации на здоровьесбережение и ознакомление со способами этой деятельности; действенный – направленный на формирование умений и навыков здоровьесбережения; креативный – направленный на творческое применение умений и навыков здоровьесбережения в неординарных ситуациях и формирование творчески-корректирующего компонента культуры здоровьесбережения.

Критериями сформированной культуры здоровьесбережения у обучаемых являются: изменение отношения к своему здоровью, потребность и стремление проявлять заботу о собственном здоровье и здоровье близких, окружающих

ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

(мотивационный компонент); понимание сущности здорового образа жизни и знание здоровьесберегающих и профилактических программ укрепления здоровья (когнитивный компонент); следование основным требованиям, нормам и правилам здорового образа жизни в повседневной жизнедеятельности, умение управлять ситуацией и своим здоровьем (действенный компонент).

Заключение. Здоровый образ жизни характеризуется направленностью, которая выражается в том, какие ценности им производятся. Важно не только, как курсант живет, но и о, ради чего он живет, чем гордится и против чего борется. Такой образ жизни приобретает оценочное и нормативное понятие. Для курсанта с

высоким уровнем развития личности характерно не только стремление познать себя, но желание и умение изменять себя, микросреду, в которой он находится.

Литература

1. Директива МО РФ Д-10 от 12 июля 1997 года «О совершенствовании работы по обеспечению безопасности военной службы в Вооруженных силах Российской Федерации»
2. Шугалей Д.В. Доклад начальника медицинской службы ФВА РВСН по санитарному состоянию курсантских подразделений филиала и причинах формирования эпидемических очагов групповой инфекционной заболеваемости: доклад нач. мед. службы ФВА РВСН., 14 марта 2016 г.
3. Устав внутренней службы ВС РФ.
4. Руководство по медицинскому обеспечению ВС РФ.

ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

УДК 377+378.046.4

ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ В УСЛОВИЯХ ГЛОБАЛИЗАЦИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОСТРАНСТВА

ADDITIONAL VOCATIONAL TRAINING IN THE CONDITIONS OF GLOBALIZATION OF EDUCATIONAL SPACE

Игорь Александрович Бугаков

заслуженный изобретатель РФ
доктор технических наук, профессор
Вице-президент
по инновационным проектам
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов,
Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)35-31-93
E-mail: bia11@mail.ru

Пётр Иванович Медведев

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

Алексей Николаевич Царьков

заслуженный деятель науки РФ
доктор технических наук, профессор
Президент Института –
Председатель Правления Института
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская область, г. Серпухов,
Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)35-31-93
E-mail: tsarkov@iifmail.ru

Аннотация

Рассматриваются особенности реализации дополнительного профессионального образования (ДПО) в условиях глобализации образовательного пространства как следствия всеобщей тенденции информатизации жизни, связанные со все более широким использованием технологий дистанционного обучения. Анализируются потенциальные возможности сохранения в условиях глобальной конкуренции небольших центров ДПО в малых городах. Описывается опыт Института по реализации программ ДПО.

Ключевые слова: образование, глобализация, информатизация, дистанционное обучение, дополнительное профессиональное образование, повышение квалификации, конкуренция, массовые открытые онлайн-курсы, локальная образовательная сеть, дополненная реальность.

Summary

The features of the implementation of additional professional education (APE) in the context of globalization of educational space as a consequence of the general trend of informatization of life associated with the increasing use of distance learning technologies. Analyzes the potential saving in global competition APE small centers in small towns. The experience of the Institute for the implementation of the APE program.

Key words: education, globalization, informatization, distance learning, continuing professional education, professional development, competition, massive open online courses, local educational network, augmented reality.

ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

Ключевой тенденцией развития современного общества является информатизация, проявляющаяся во все большем внедрении средств и технологий обработки информации во все сферы деятельности, в том числе и в систему образования, которая при этом выступает и как потребитель этих средств и технологий, используя их при реализации образовательных программ, и как их транслятор, распространитель, обучающая людей их применению. Следствие информатизации – лавинообразный рост и доступность информации, что обеспечивает непрерывное ускорение научно-технического прогресса, появление новых материалов и технологий, новых, связанных с их созданием и использованием, профессий. Такое непрерывное ускорение влечет за собой непрерывность образования как обязательного условия «не отстать» как в общем (личностном и социальном), так и в профессиональном плане. Именно поэтому образование становится непрерывным, в котором все большую роль играет дополнительное образование, в первую очередь, профессиональное в виде повышения квалификации и профессиональной переподготовки.

Рост возможностей современных информационных технологий приводит к тому, что в самой системе дополнительного профессионального образования (ДПО) наблюдается все больший сдвиг от очного обучения к обучению дистанционному. Современное дистанционное обучение позволяет обучаться (в том числе без отрыва от основной работы) в любое удобное для пользователя время (как онлайн, так и офлайн), общаться с преподавателем, другими обучающимися, иметь доступ к необходимой литературе, другим различным образовательным ресурсам. Причем все более доступной является возможность проходить обучение по лучшим образовательным программам, возможность виртуально присутствовать на занятиях лучших преподавателей. Дистанционная форма обучения сегодня более всего подходит для реализации именно дополнительного образования для людей, уже имеющих базовую подготовку и опыт личного («живого») общения с учителями (преподавателями)¹. Несомненно, что перспективные информационные технологии, нацеленные на все большее приближение качества виртуального

¹ Очевидно, что живой контакт ученика с учителем – важнейшее условие правильного образования (как единства обучения и воспитания). Потому дистанционная форма обучения на общеобразовательных уровнях, да и на уровне получения первого профессионального образования должна быть не избыточна.

общения к общению реальному на основе максимального задействования необходимых для целостного восприятия органов чувств человека, широкого использования возможностей голографии (образ лектора, демонстрация статических и динамических сцен, процесса и результатов моделирования) будут постепенно расширять присутствие дистанционного способа обучения на всех образовательных уровнях.

Во многом развиваемая информатизацией глобализация не могла не повлиять на систему образования. В этом влиянии есть и «плюсы», и «минусы». Положительно то, что каждый желающий получает доступ к лучшим образовательным программам, причем не только национального, но и международного уровня. Очень важно и то, что все больше появляется платформ с бесплатными курсами, позволяющими населению заниматься самообразованием с учетом своих личных предпочтений. Однако глобализация образования несет и отрицательные эффекты. Это не только порождаемая ею проблема «утечки умов», но и проблема растворения национальных культур, а также проблема все большего сдвига образования от идеи «общественного блага» к основанной на товарно-денежных отношениях идее «образовательных услуг». На этом «рыночном образовательном поле» налицо постепенное вытеснение с него малых образовательных структур. Это касается в большей степени профессионального образования, реализация которого сегодня требует существенных материальных затрат. Причем с «рынка образовательных услуг» уходят не только реализующие такое образование малые вузы, но и учреждения дополнительного профессионального образования². Чтобы остаться на этом рынке, такие структуры должны предложить «потребителям» нечто востребованное и конкурентоспособное. Учитывая, что конкурировать небольшим центрам ДПО с финансово обеспеченными крупными организациями крайне сложно, их конкурентоспособность может быть связана, в основном, с их уникальностью. В чем эта уникальность может проявляться?

² Хорошо ли это или плохо? Ответ неоднозначный. Да, с одной стороны, закрытие так называемых небольших «псевдовузов» с плохим качеством образования можно только приветствовать. Но ведь закрытие зачастую не связано непосредственно с качеством образования. К тому же исчезновение собственного вуза в малом городе порождает не очень полезную внутреннюю миграцию, когда молодой человек поступает в региональный или столичный вуз и обратно уже в свой провинциальный город не возвращается. Так кто же будет его развивать?

ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

Прежде всего, в уникальности предлагаемых образовательных программ, в предложении таких программ, которые были бы на «острие» современных требований к перспективным специальностям и профессиям, отражали бы новейшие знания и достижения в области психологии и педагогики как следствия все большего постижения наукой природы человека, его мышления, обучения и развития, тенденций эволюции социо- и техносферы. Конечно, желательно, чтобы предлагаемые программы учитывали квалификационные требования профстандартов и были преемственными по отношению к ФГОС среднего профессионального и высшего образования. Однако это пожелание сегодня вряд ли может быть главным ориентиром, поскольку очевидно разумное движение от профстандарта к ФГОСу часто в жизни реализуется с «точностью наоборот»: ФГОС уже есть, а профстандарт еще нет. К тому же профстандарт отражает прошлый опыт, а конкурентоспособность связана с будущим³. Отметим, что реализация этой уникальности зависит не столько от размера организации, сколько от креативности и профессионализма сотрудников.

Второй источник уникальности – в уникальности используемых технологий реализации программ ДПО. Само дистанционное обучение уже не удивляет. Варианты с размещением в Интернете с индивидуальным доступом видеолекций, электронных книг и другого учебно-методического обеспечения с возможностью общения слушателей с преподавателями и между собой (в разных вариантах: от электронной почты до видеоконференций) сегодня являются «классикой». Интересным может быть особенность технологии его реализации. Новое может быть связано с совершенствованием эффектов виртуального присутствия (голограммы-аватары), а также методов взаимодействия слушателя с информацией (способов ее представления и восприятия, запоминания, воспроизведения) и методов формирования умений и навыков. Здесь многое определяется знанием современных достижений нейронауки и возможностями их технической реализации в виде перспективных человеко-машинных интерфейсов⁴, роботов и виртуальных тренажеров. Уникальность может состоять в предложениях передовых технологий

реализации образовательных программ для лиц с ограниченными возможностями.

И, наконец, третий источник уникальности отражает естественную географическую уникальность центра ДПО, место его расположения. В этом смысле каждый центр уникален и при некоторой активности всегда найдет своего «потребителя» из числа местных жителей. Это то, что не может отобрать у небольших центров ДПО, расположенных в районных городах, большой региональный или столичный (транснациональный) образовательный центр. Местные жители знают в лицо сотрудников центра ДПО (руководителей и преподавателей), так что успех реализации этой уникальности зависит от степени доверия к центру, его авторитета. Немаловажно и то, что при любом способе организации занятий в таком местном центре ДПО всегда будут проводиться (и это важно!) очные занятия, всегда будет возможность получить живую консультацию, что для людей, не так давно пришедших в незнакомую для них сферу Интернета (а повышать квалификацию и переучиваться чаще всего приходится пока именно таким), весьма существенно.

Что ждут слушатели от своего обучения в системе ДПО кроме соответствующего удостоверения (диплома)? Конечно, в первую очередь, действительного пополнения своих знаний и умений. Несомненно, что обучать слушателей по современным программам дополнительного профессионального образования должны преподаватели, имеющие опыт практической работы в той области, в которой они ведут обучение, и обучающие с желанием передать свой опыт. Желательно, чтобы эти преподаватели кроме положительного опыта работы в системе ДПО имели бы еще и собственные авторские программы, имели научные труды в преподаваемой области [1].

В подтверждение глобализации в системе образования следует отметить существование в настоящее время в мире ряда открытых платформ, позволяющих дистанционно освоить тот или иной курс, ту или иную дисциплину (правда, не всегда бесплатно)⁵. Реализация массовых открытых онлайн-курсов – МООК (от англ. – Massive Open Online Course, МООС) начата в 2011 году в

³ Можно утверждать, что из инновационных программ ДПО постепенно могут вырасти (в союзе с практикой) новые профессии, новые образовательные программы высшего образования.

⁴ Речь идет, прежде всего, идет о неинвазивных вариантах интерфейсов мозг-компьютер (ИМК).

⁵ Например, INTERNETUROK (<http://interneturok.ru/>), NEWTONEW (<https://newtonew.com/>), ЛЕКТОРИУМ (<https://www.lektorium.tv/>), УНИВЕРСАРИУМ (<http://universarium.org>), COURSERA (<https://www.coursera.org/>), ИНТУИТ (<http://www.intuit.ru/>), ПОСТНАУКА (<https://postnauka.ru/>), UniverTV (www.univertv.ru/).

ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

рамках проекта Coursera⁶ (<https://www.coursera.org/>). Много MOOK в США (кроме Coursera еще EdX, Udacity и др.). Собственные MOOK-платформы есть в Германии (Iversity, <https://iversity.org/>), Великобритании (OpenUniversity, <http://www.open.ac.uk/>), Евросоюзе (OpenupEd, <http://www.openuped.eu/>) [2]. В России все больший вес набирает платформа «Открытое образование», на которой к 2020 году предполагается разместить 500 бесплатных образовательных программ, позволяющих в год обучать до 300 000 человек (сайт: <https://openedu.ru/>)⁷.

Мировые тенденции дистанционного образования связаны с соединением онлайн и офлайн обучения (с постоянным сопровождением, обратной связью, проверкой заданий), все большим развитием и использованием при обучении технологий дополненной реальности [3].

Применение электронного обучения, дистанционных образовательных технологий в нашей стране основано на положениях Гражданского кодекса Российской Федерации, Федерального закона от 29 декабря 2012 г. №273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации», «Порядка организации и осуществления образовательной деятельности по дополнительным профессиональным программам», утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 1 июля 2013 г. №499, «Порядка применения организациями, осуществляющими образовательную деятельность, электронного обучения, дистанционных образовательных технологий при реализации образовательных программ», утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 9 января 2014 г. №2. В «Методических рекомендациях по использованию электронного обучения, дистанционных образовательных технологий при реализации дополнительных профессиональных образовательных программ» (письмо Минобрнауки России от 10.04.2014 №06-381) определены требования к реализации дополнительных профессиональных программ с использованием электронного обучения и дистанционных образовательных технологий.

Для Института инженерной физики реализация образовательных программ дополнитель-

ного профессионального образования является важной составляющей развития системы непрерывного образования. Большой опыт такой работы был получен в рамках функционирования на базе Института Серпуховского филиала МАГМУ, которым руководил ктн, доцент Ю.Н. Долгин⁸, и действующего Центра социальной адаптации военнослужащих, граждан, уволенных с военной службы, и членов их семей (руководитель – И.И. Алаторцев)⁹.

Новым направлением в реализации дополнительного профессионального образования Института является направление, связанное с повышением квалификации работников образовательных учреждений. Реализуемые ныне образовательные программы ДПО прошли сертификацию в Академии социального управления (Москва), а Институт инженерной физики Приказом Министра образования Московской области внесен в Региональный реестр организаций, которым дано право осуществлять обучение работников образовательных организаций в системе дополнительного профессионального образования.

Из этой категории работников в системе дополнительного образования Института за последние годы (до сентября 2016 года – в рамках учрежденного Институт инженерной физики НОУ ВПО «Институт информационных технологий и управления») повысили квалификацию более 500 человек по следующим образовательным программам:

- «Информационные технологии в образовании»;
- «Организация психолого-педагогической работы с одаренными детьми»;
- «Основы управления организацией. Основы инновационного менеджмента в образовании»;
- «Психология коммуникаций (актуальные проблемы профессионального общения педагога)»;
- «WEB-технологии: создание сайтов (создание персонального сайта учителя)»;
- «Формирование профессиональной компетентности педагогических работников в условиях реализации ФГОС дошкольного образования»;
- «Актуальные проблемы прагмалингвистики»;
- «Разговорный иностранный язык (английский)».

⁶ На март 2015 года зарегистрировано около 12 млн пользователей [2].

⁷ В настоящее время на этой платформе российские университеты (МГУ, СПбГУ, НИУ ВШЭ, НИТУ МИСиС, СПбПУ, МФТИ, УрФУ и ИТМО) сформировали более 100 бесплатных онлайн-курсов по базовым дисциплинам вузов, на которые зарегистрировано около 100 тыс. человек.

⁸ За время существования филиала в нем прошли обучение около 14 000 человек.

⁹ С 1998 года в Центре прошли обучение более 5 000 человек.

ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

Среди прошедших обучение – сотрудники общеобразовательных учреждений: МОУ СОШ №12 «Центр образования», МОУ лицей «Серпухов», Гимназия №1, МОУ СОШ №2, МОУ СОШ №5, МОУ СОШ №16, МОУ «Васильевская СОШ», МОУ «Пролетарская СОШ», МОУ «Большегрызловская СОШ», МОУ «Райсеменовская СОШ», детских садов г. Серпухова, детского сада поселка «Серпухов-15», детской музыкальной школы №1, детской школы искусств Серпуховского района, а также сотрудники Губернского профессионального колледжа и ВА им. Петра Великого. Обучение ведется с применением дистанционных образовательных технологий с использованием программной оболочки «Moodle», что позволило обучать педагогических работников образовательных учреждений из различных городов Московской области (Химки, Коломна, Балашиха, Ногинск, Подольск, Коломна, Чехов, и др.). Занятия ведут преподаватели, имеющие богатый практический опыт работы, в частности: кандидат психологических наук, доцент Т.В. Литвинова, кандидат филологических наук Ю.В. Котова, кандидат технических наук В.В. Илющенко, доктор биологических наук И.П. Белоусова, кандидат экономических наук, доцент Т.С. Романишина, кандидат философских наук, доцент П.А. Тихонович, преподаватель-психолог В.Н. Петелина, преподаватель-психолог Ю.В. Погорелко. Лица, прошедшие обучение по сертифицированным программам дополнительного профессионального образования и успешно защитившие выпускную квалификационную работу, получили удостоверение о повышении квалификации.

С 2015 года Центр ДПО Института реализует для муниципальных служащих города Серпухова и Серпуховского района образовательную программу «Основы управления организацией. Муниципальное управление». В 2016 году эта программа была усилена блоком «Антикоррупционная деятельность органов местного самоуправления». Занятия ведет старший преподаватель Учебного центра «Интеграция» МАИ Ю.И. Захарова и психолог отдела по борьбе с экономическими преступлениями Управления внутренних дел по городскому округу Серпухов и Серпуховскому муниципальному району Е.Г. Никулина. При проведении занятий используется полиграф «Барьер-14». Большую помощь в организации занятий с муниципальными служащими оказывают начальник отдела муниципальной службы и кадров Администрации городского округа Серпухов О.Н. Калмыкова и начальник общего

отдела Администрации Серпуховского муниципального района Н.И. Дормидонтова.

Учебно-лабораторная база Института обеспечивает функционирование информационно-образовательной среды, включающей в себя необходимую инфраструктуру, электронные информационно-образовательные ресурсы, совокупность информационно-телекоммуникационных технологий. Учебные классы, в которых организованы занятия, оборудованы компьютерами и подключены к сети Интернет. Свободный доступ к электронной образовательной среде предоставлен каждому обучающемуся и педагогическому работнику.

Особенностью электронной системы дополнительного образования Института является использование собственной локальной сети, к которой подключены почти все общеобразовательные учреждения города. Локальность сети позволяет иметь постоянную адресацию абонентов, обеспечить большую скорость взаимодействия по сравнению с вариантом взаимодействия через Интернет (меньше коммутационных узлов) и, что немаловажно, исключить при общении потребление Интернет-трафика, т.е. исключить плату за взаимодействие. Опыт использования этой сети (при необходимости дополняемой возможностями сети Интернет) показал эффективность ее использования при проведении массовых общегородских мероприятий. В частности, были проведены:

– онлайн-родительское собрание на тему «Профилактика детского дорожно-транспортного травматизма». Организаторы урока – ОГИБДД МУ МВД России «Серпуховское», Комитет по образованию г. Серпухова, Институт инженерной физики, Институт информационных технологий и управления. Родители учащихся девяти городских школ и Дашковской средней общеобразовательной школы – всего более 350 человек – одновременно принимали участие в открытом родительском собрании. Участники собрания могли не только видеть и слышать происходящее в учебном классе, в котором собрались родители учащихся гимназии №1, но и задавать вопросы. В собрании принимали участие сотрудники ОГИБДД МУ МВД России «Серпуховское» – старший инспектор по пропаганде БДД майор полиции С.Г. Уланова и госинспектор по пропаганде БДД капитан полиции С.Б. Семёнов, а также заместитель председателя Комитета по образованию г. Серпухова Д.М. Казбан, представители МОУ ДОД «Дом детского и юношеского технического творчества» – директор М.В. Гурова и методист С.В. Зайцева;

ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

– открытый онлайн-урок «Имею право и хочу знать! (Южное Подмосковье против наркотиков)». В нем приняли участие около 600 старшеклассников и учителей школ Серпухова, Серпуховского района, Чехова, Пушкино и Протвино. Организаторами урока выступили: Управление Федеральной службы РФ по контролю за оборотом наркотиков по Московской области, Комитет по образованию г. Серпухова, Институт инженерной физики, Институт информационных технологий и управления. Перед собравшимися выступили: сотрудник Управления ФСКН по Московской области Е.Н. Козырева, заместитель председателя Комитета по образованию г. Серпухова Н.Н. Федулова, заведующий стационарным отделением МУЗ «Серпуховский наркологический диспансер» Г.Д. Иванов;

– единый профориентационный день для обучающихся 9-11 классов школ г. Серпухова «Я и мой выбор». Организатор – МУСОМ «Центр по профориентации и трудоустройству молодежи», Институт инженерной физики, Институт информационных технологий и управления. Вела мероприятие директор Центра по профориентации Н.В. Ерёмкина. Представители вузов Серпухова и Протвино рассказали об особенностях поступления в высшие учебные заведения и обучения в них.

Все, что делал и делает в течение последних 20 лет Институт инженерной физики в области формирования и развития в Серпухове системы (непрерывного) образования¹⁰ (в том числе и в области дополнительного профессионального образования), не имело и не имеет целью получение прибыли. Образование для Института – не бизнес, а, скорее, долг, ориентированная на общественное благо обязанность руководства и сотрудников, добровольно наложенная на себя,

исходя из понимания особой важности образования для сохранения и наращивания интеллектуального потенциала региона, инновационного развития России и сохранения ее могущества [4-8].

Литература

1. Проблемы развития дополнительного профессионального образования. Информационный бюллетень. – М.: НИУ ВШЭ, 2013. – 40 с.

2. Можяева Г.В. МООК – новые возможности для развития дополнительного профессионального образования // Дополнительное профессиональное образование в стране и мире, 2015, №1(15).

3. В 2016 г. объем мирового рынка онлайн-образования превысит \$50 млрд // http://www.cnews.ru/news/line/v_2016_g.obem_mirovogo_rynka_onlajnobrazovaniya.

4. Бугаков И.А., Царьков А.Н. Совершенствование региональных систем непрерывного образования как условие инновационного и духовно-нравственного развития России // Сборник материалов III Оптинского форума. – Москва – Калуга – Оптина Пустынь, 2008. – 512 с., С. 282-290.

5. Бугаков И.А., Царьков А.Н. Интегрированная система непрерывного образования: направления интеграции и технология реализации. // «Известия Института инженерной физики», 2014, №2, С.85-88.

6. Бугаков И.А., Царьков А.Н. Система управления устойчивым развитием: концептуальные идеи // «Известия Института инженерной физики», 2013, №4, С. 87-94.

7. Бугаков И.А., Царьков А.Н. Россия и устойчивое развитие: от цивилизации потребления к цивилизации сохранения. Сборник трудов участников V Всероссийской научно-практической конференции «Современное непрерывное образование и инновационное развитие» // Под редакцией проф. А.Н. Царькова и проф. И.А. Бугакова. – Серпухов: МОУ «ИИФ», 2015. – 966 с., С. 69-74.

8. Бугаков И.А., Царьков А.Н. Непрерывное образование и устойчивое развитие: принципы обеспечения и механизмы реализации. Сборник статей докладов: 2004-2015 гг. – Серпухов: МОУ «ИИФ», 2015. – 249 с.

¹⁰ Как в рамках работы в Серпухове экспериментальной площадки ФГАУ «ФИРО» (с 2007 года, тема на 2013-2017 гг.: «Интегрированная система непрерывного образования как основа воспроизводства кадров для устойчивого инновационного развития», Институт инженерной физики – координатор проекта), так и вне ее. Традицией серпуховской земли стало инициированное Институтом ежегодное (с 2011 года) проведение Всероссийской научно-практической конференции «Современное непрерывное образование и инновационное развитие», собирающей представителей всех уровней образования, научных организаций, органов управления образованием, работодателей (информация о конференции на сайте Института: <http://iifrf.ru/%D0%A4%D0%AD%D0%9F/konferencii#indexust>).



AUTHORS

- Eugenia S. Abazina.** Cand.Tech.Sci. Lecturer. Military space academy in the name of A.F. Mozhaysky. St.-Petersburg, Zhdanovskaya st., 13.
- Temir H. Ahmedov.** Cand.Tech.Sci., senior scientist. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarly I., 1a.
- Sergey V. Antonov.** Cand.Tech.Sci., docent. Head of department. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarly I., 1a.
- Anton I. Bocharov.** Junior scientist. Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.
- Igor A. Bugakov.** Dr.Sci.Tech., professor. Honoured devisor of Russia. Vice-President of Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarly I., 1a.
- Gennadiy S. But.** Cand.Tech.Sci., docent. The Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.
- Victor P. Dunilin.** Senior scientist. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarly I., 1a.
- Anatoliy A. Erunov.** Adjunct. Military space academy in the name of A.F. Mozhaysky. St.-Petersburg, Zhdanovskaya st., 13.
- Vadim A. Gaponenko.** Cand.Tech.Sci. The Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.
- Irina O. Glotova.** Student. Moscow state university of mechanical engineering (MAMI). Moscow, Bolshaya Semionovskaya st., 38.
- Genrikh R. Ivanitskiy.** Doctor of physical and mathematical sciences, professor, scientific head. The Institute of Theoretical and Experimental Biophysics. Moscow reg., Pushchino, Institutskaya st., 3.
- Eugeniy P. Khizhniak.** Doctor of physical and mathematical sciences, leading researcher. The Institute of Theoretical and Experimental Biophysics. Moscow reg., Pushchino, Institutskaya st., 3.
- Larisa N. Khizhniak.** Candidate of medical sciences. The Institute of Theoretical and Experimental Biophysics. Moscow reg., Pushchino, Institutskaya st., 3.
- Alexander A. Kobzev.** Dr.Sci.Tech., professor. Head of Department Vladimir State University. Vladimir, Gorky st., 87.
- Eugeniy V. Kolombet.** Junior scientist. Head of the laboratory. The Institute of Theoretical and Experimental Biophysics. Moscow reg., Pushchino, Institutskaya st., 3.
- Valeriy A. Kolombet.** Candidate of Physical and Mathematical Sciences. Head of the laboratory. The Institute of Theoretical and Experimental Biophysics. Moscow reg., Pushchino, Institutskaya st., 3.
- Alexey A. Korobkov.** Cand.Tech.Sci., docent. Senior scientist. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarly I., 1a.
- Maxim V. Kulik.** Scientist. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarly I., 1a.
- Nikolay S. Kukin.** Cand.Tech.Sci. Senior scientist. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarly I., 1a.
- Valeriy K. Kurochka.** Honored doctor of Russia, candidate of medical sciences, professor. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarly I., 1a.
- Anastasiya V. Lekareva.** Postgraduate student. Vladimir State University. Vladimir, Gorky st., 87.
- Vadim N. Lesnykh.** Junior scientist. Head of the laboratory. The Institute of Theoretical and Experimental Biophysics. Moscow reg., Pushchino, Institutskaya st., 3.
- Andrey V. Luchin.** Cand.Tech.Sci. The Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.
- Alexey S. Lychagov.** Military student. Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.
- Sergey A. Lychagov.** Cand.Tech.Sci. Head of department. Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.
- Alexander A. Maslikov.** Candidate of physical and mathematical sciences. Senior scientist. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarly I., 1a.
- Eugeniy I. Maevskiy.** Dr.Sci.Tech., professor. Vice-director for research. The Institute of Theoretical and Experimental Biophysics. Moscow reg., Pushchino, Institutskaya st., 3.
- Alexander P. Martynov.** Dr.Sci.Tech., professor. Chief of department. Russian Federal Nuclear Center – All-russian Research Institute of Experimental Physics. Nizhny Novgorod reg., Sarov, Mira av., 37.
- Inna A. Martynova.** Student. Moscow Institute of Physics and Technology. Moscow reg., Dolgoprudny, Institutskiy I., 9.
- Piotr I. Medvedev.** Docent, senior scientist. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarly I., 1a.
- Yuriy E. Mishulin.** Cand.Tech.Sci., associate professor. Vladimir State University. Vladimir, Gorky st., 87.
- Anna R. Muradova.** Student. Moscow State University of Mechanical Engineering (MAMI). Moscow, Bolshaya Semionovskaya st., 38.
- Alexey O. Naumov.** Head of the software development team. AO "SHZSA". Chuvash Republic, Shumerlya, Scherbakova st., 60.
- Vladimir A. Nemontov.** Cand.Tech.Sci., professor. Vladimir State University. Vladimir, Gorky st., 87.
- Andrey K. Nikitin.** Software engineer. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarly I., 1a.
- Dmitriy B. Nikolayev.** Cand.Tech.Sci., docent. Lead scientist. Russian Federal Nuclear Center – All-russian Research Institute of Experimental Physics. Nizhny Novgorod reg., Sarov, Mira av., 37.
- Anastasia A. Novikova.** Student. Perm National Research Polytechnic University. Perm, Komsomolsky av., 29.
- Nikita V. Pakov.** Military student. The Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.
- Vladimir P. Pashintsev.** Honored Worker of Higher School of Russia. Dr.Sci.Tech., professor. Senior scientist. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarly I., 1a.
- Elena V. Poezhayeva.** Cand.Tech.Sci., professor. Perm National Research Polytechnic University. Perm, Komsomolsky av., 29.
- Kristina N. Polikarpova.** Student. Perm National Research Polytechnic University. Perm, Komsomolsky av., 29.
- Alina S. Ponomariova.** Candidate of physical and mathematical sciences, senior scientist. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarly I., 1a.
- Alexey G. Popov.** Cand.Tech.Sci. Chief of department. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarly I., 1a.
- Victor V. Red'kin.** Cand.Tech.Sci., Senior scientist. Institute of Engineering Physics. Bolshoy Udarly I., 1a.
- Alexey M. Riazantsev.** Cand.Tech.Sci. Chief of department. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarly I., 1a.
- Denis S. Rudnev.** Postgraduate student. Chief of department. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarly I., 1a.
- Veronika A. Saykinova.** Student. Perm National Research Polytechnic University. Perm, Komsomolsky av., 29.
- Denis V. Shugaley.** Lecturer. Chief medical officer. The Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.
- Viatcheslav A. Shevchenko.** Cand.Tech.Sci. Ministry of Defence of the Russian Federation. Moscow.
- Alexander D. Skorik.** General director. JSC «NPP "Project-Technique"». Moscow, Svobody st., 35, b. 22.
- Sergey V. Smurov.** Dr.Sci.Tech., professor. Deputy director general. General designer. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarly I., 1a.
- Sergey V. Stepanov.** Cand.Tech.Sci. The Branch of the military academy of the strategic missile forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.
- Semion V. Sukhanov.** Postgraduate student. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarly I., 1a.
- Pavel A. Susakin.** Software engineer. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarly I., 1a.
- Eugeniy A. Stroganov.** Cand.Tech.Sci. The Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.
- Alexey N. Tzar'kov.** Honoured scientist of Russia, Dr.Sci.Tech., professor. President of Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarly I., 1a.
- Kirill Y. Tsvetkov.** Dr.Sci.Tech., professor. Head of department. Military space academy in the name of A.F. Mozhaysky. St.-Petersburg, Zhdanovskaya st., 13.
- Eugeniy V. Umnikov.** Lead engineer. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarly I., 1a.

АРМИЯ – 2016

По решению Министерства обороны Институт инженерной физики выступил официальным партнером Международного военно-технического форума «Армия-2016».

Нынешний Форум собрал представителей оборонных ведомств, руководителей международных организаций, ведущих российских и зарубежных экспертов. Свои военные делегации прислали свыше 80 государств. Среди них страны ОДКБ, ШОС, СНГ и БРИКС, а также Азиатско-Тихоокеанского региона, Америки, Африки, Ближнего Востока, Европы.

Гостями Форума стали более полумиллиона человек. Экспозицию Института инженерной физики посетил министр обороны С.К. Шойгу, заместители министра обороны, первый заместитель командующего РВСН И.Ф. Рева, заместитель командующего РВСН В.М. Мазуров, начальник ГВМУ Минобороны РФ А.Я. Фисун, начальник ГУНИД А.М. Миронов, другие руководители силовых ведомств, а также делегации Сербии, Беларуси, Палестины, стран Африки и многие другие.



О новейших разработках министру обороны доложил Президент Института – Председатель Правления Института А.Н. Царьков.

Институт представил на форуме не имеющие мировых аналогов разработки, которые уже приняты на вооружение или проходят государственные испытания. Среди них:

- система локального обогрева, которая позволяет комфортно работать и оказывать эффективную медицинскую помощь пострадавшим в условиях низких температур, что доказано целым рядом полевых испытаний;

- линейка охранных извещателей серии «TRAVERS». Модельный ряд реализован в трех приборах, которые обеспечивают охрану зоны длиной до 500 метров. Извещатели помехоу-



стойчивы, оснащены грозозащитой, могут эксплуатироваться на открытом воздухе. Приборы проходят испытания в Министерстве обороны, ФСБ и пограничных войсках;

- база эталонирования для проведения аттестации гирокомпасов и поверок топогеодезических средств. Все приборы базы уникальны своей точностью. Среди них – астровизир – высокоточный прибор, который определяет эталонное значение азимута хранителя направления. Астропавильоны с астровизиром созданы Институтом и сданы в эксплуатацию в дивизиях и на полигонах ракетных войск;

- аппаратно-программные проксипреобразователи технологического уровня управления средствами связи, которые обеспечивают сопряжение и приведение к единому протоколу обмена информацией широкий спектр связной аппаратуры, построенной на унаследованных технических и протокольных решениях, что позволяет организовать каналы и строить сети связи на базе имеющегося парка средств, адаптируя их к современным требованиям организации цифровой связи в АСУ войсками и оружием.

Вице-президент Института А.Г. Мурашов принял участие в работе круглого стола «Основные направления развития военно-медицинской техники», где выступил с докладом об инновационных разработках ученых Института: комплексе оборудования, оснащенного системой электрообогрева, для работы медиков в условиях экстремально низких температур. За активное участие в мероприятиях научно-деловой программы форума «Армия-2016» А.Г. Мурашов награжден дипломом.

В рамках работы Инновационного клуба форума начальник отдела информационных проектов МОУ «ИИФ» А.В. Шестаков удостоен диплома «За лучшую инновационную разработку» автоматизированной информационно-аналитической системы поддержки принятия решений Главного управления научно-исследовательской деятельности Минобороны РФ.

По итогам Форума МОУ «ИИФ» награжден Почетным знаком и дипломом «За вклад в организацию и проведение форума».

МОУ «ИИФ» НА «INTERPOLITEХ-2016»

В октябре на территории главной выставочной площадки России – ВДНХ в соответствии с распоряжением Правительства РФ состоялась юбилейная XX Международная выставка средств обеспечения безопасности государства «INTERPOLITEХ – 2016». Организаторами выступили МВД, ФСБ и ФСВТС России.

В работе выставки приняли участие 463 компании, 53 экспонента из 11 стран. Экспозиции посетили представители 62 силовых структур иностранных государств.

МОУ «Институт инженерной физики» традиционно принял активное участие в выставке и представил свои новейшие разработки руководителям силовых министерств и ведомств, специалистам, производителям, поставщикам и потребителям современных специальных технических средств и вооружения. В частности: инновационные нагревательные ледолит-технологии, применяемые в космической отрасли, в строительстве спецобъектов и т.д.; тепловизионные мишени, предназначенные для обучения и тренировки личного состава стрельбе с использованием тепловизионных прицелов; систему локального обогрева, которая позволяет комфортно работать и оказывать эффективную медицинскую помощь пострадавшим в условиях низких температур; охранные извещатели серии «TRAVERS».

Экспозицию Института инженерной физики посетили руководители МВД, ФСБ, ФСВТС России, иностранные делегации, представители оборонных предприятий, научно-исследовательских институтов, специалисты и потенциальные заказчики, а также представители родственных предприятий: ООО «ЭТИС», группа компаний «ЭлектроПрофиль», ООО «Пентакон», группа компаний «СИГМА», НПП «Автоматика-С» и многие другие. По результатам работы Институт награжден дипломом участника юбилейной XX Международной выставки средств обеспечения безопасности государства «INTERPOLITEХ – 2016».



НАГРАДЫ ПОБЕДИТЕЛЯМ

● Лауреатом премии Губернатора Московской области в сфере науки и инноваций для молодых ученых и специалистов стал старший научный сотрудник отдела навигационных систем и комплексов МОУ «ИИФ», доктор технических наук, доцент Р.Н. Садеков. Тема его работы – «Разработка высокоточных интеллектуальных навигационных систем для автомобильного транспорта». Спецификой работы является создание высокоточной навигационной системы для автопилотируемого автомобиля. Технология автопилотирования – это ключевая технология будущего. По оценкам экспертов ее массовое внедрение наступит в 2025 году. Этой темой Р.Н. Садеков занимается с 2005 года и защитил по ней докторскую диссертацию в 33 года, что само по себе большая заслуга молодого ученого.

● Лауреатом ежегодной премии Губернатора Московской обл. «Наше Подмосковье» стал начальник отдела планирования НИОКР МОУ «ИИФ», заместитель председателя Совета молодых ученых г. Серпухова, кандидат технических наук, доцент А.А. Коробков, который представил на конкурс проект «Совет молодых ученых города Серпухова» в номинации «Молодежь Московской области». В настоящее время число членов Совета молодых ученых составляет 100 человек, среди них 30 докторов и кандидатов наук. В рамках проекта проведено более 40 мероприятий. Молодыми учеными опубликовано более 200 научных статей, получено свыше 50 патентов на изобретения и полезные модели, создано более 20 опытных образцов, реализовано более 20 проектов.

● Министр обороны РФ генерал армии С.К.Шойгу наградил медалями «За достижения в области развития инновационных технологий» Президента Института – Председателя Правления Института А.Н. Царькова и Советника Президента Института В.А. Грачёва за значительный вклад в осуществление инновационной деятельности, технологическое сопровождение прорывных и высокорискованных исследований и разработок в области обороны.

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 (Word 2003). 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 с переводом на английский язык;

○ имя, отчество, фамилия автора (авторов), ученая степень, ученое звание, должность и место работы.

Список литературы (Литература) размещается в конце статьи.

После литературы помещаются:

○ список ключевых слов, краткая аннотация (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»

Постоянные рубрики

- **Приборостроение, метрология и информационно-измерительные приборы и системы.**
- **Радиотехника и связь.**
- **Информатика, вычислительная техника и управление.**

Разовые рубрики

- **Техника специального назначения.**
- **Инновационные проекты.**
- **Техническое регулирование.**
- **Профессиональное образование.**
- **Искусственный интеллект и робототехника.**
- **Медицина и фармацевтика.**
- **Диагностические системы.**
- **Научные обзоры. Научные рецензии. Отзывы.**

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.



CONTENTS

INSTRUMENT MAKING, METROLOGY AND INFORMATION-MEASURING DEVICES AND SYSTEMS

A.V. Luchin, G.S. But, E.A. Stroganov, S.V. Stepanov. The distribution of active load in the system of autonomous power tunable structure of primary sources of electrical energy..... 2

V.M. Dunilin, A.G. Popov, A.A. Maslikov. The mathematical model is evidence of the effect of the monotonous accumulation of charge on the differential capacitor during the passage through it of alternating current..... 6

S.A. Lychagov, S.V. Antonov, A.S. Lychagov. Guidance of the aircraft on the basis of the analytical line of sight with the requirement for corner dive 10

RADIO ENGINEERING AND COMMUNICATIONS

V.P. Pashintsev, V.A. Shevchenko, A.O. Naumov, A.D. Skorik. Modified Rao-Cramer bounds for variance estimation delay of navigation signals with BOC-modulation..... 14

V.A. Kolombet, V.N. Lesnykh, E.V. Kolombet. Feature of presentation of fractal system of tripled periods in television and mobile telephony 20

K.Y. Tsvetkov, E.S. Abazina, A.A. Erunov. Algorithm of code consolidation of the hidden channels with the account priorities of subscribers..... 25

INFORMATION SCIENCE, COMPUTING AND MANAGEMENT

A.K. Nikitin, N.S. Kukin. Algorithm for object identity by images made under constant conditions 32

A.R. Muradova, N.S. Kukin. Motion detection less than a pixel size by series of object images..... 36

A.I. Bocharov, V.A. Gaponenko. The development of criterion of a choice of a rational set of the ITSO types for basic structure TSO 40

S.V. Sukhanov, A.M. Riazantsev, P.A. Susakin, I.O. Glo-tova. Algorithm for generating random sequences with a gapping physically Nonclonability function based on SRAM..... 45

E.V. Umnikov. Virtual robotic test site from robot kinematics modeling systems to a virtualized environment

managed simulate robots changing environment and natural processes 50

D.B. Nikolayev, A.P. Martynov, I.A. Martynova. Cryptographic systems and factorial data compression method 54

A.A. Kobzev, Y.E. Mishulin, V.A. Nemontov, A.V. Le-kareva. The formulation of predictive control mobile crawler robot 58

T.Kh. Ahmedov, A.S. Ponomariova. Features of swift waving wing boundary layer 65

INNOVATIVE PROJECTS

V.V. Red'kin, A.A. Korobkov, M.V. Kulik. The empirical equations of state to determine thermodynamic parameters and phase equilibrium mixtures of methane with its homologues in calculating the regasification of liquefied natural gas systems..... 71

ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND ROBOTICS

E.V. Poezhayeva, A.A. Novikova, K.N. Polikarpova, V.A. Saykinova. Robot for diagnosis harmful impurities in the air 76

MODERN MEDICINE AND PHARMACEUTICS

V.K. Kurochka, A.N. Tsar'kov. From the present medicine to the personalized medicine of the future..... 79

G.R. Ivanitckiy, E.I. Maevskiy, S.V. Smurov, E.P. Khizh-niak, L.N. Khizhniak. Rising of diagnostic informational content of infrared images using methods of nonlinear contrast enhancement 83

PROFESSIONAL EDUCATION

D.V. Shugaley, N.V. Pakov. Building a culture of health saving cadets of military schools, the factors affecting the preservation of their health preservation culture... 90

I.A. Bugakov, P.I. Medvedev, A.N. Tsar'kov. Additional vocational training in the conditions of globalization of educational space..... 95

Authors 101

Events 102

Requirements to authors 104