

№ 4  
2013

[30]

# ИЗВЕСТИЯ

научно-технический журнал

ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ



ОЦЕНКА УРОВНЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ

СИСТЕМА ЭЛЕКТРОННОГО МОНИТОРИНГА ПОДЪЕЗДОВЫХ ПЛОЩАДОК

РАЗРАБОТКА МЕТАНО-КИСЛОРОДНОЙ ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИИ

ПЕНЕНТАЦИЯ ЛАЗЕРНОГО ИОНОСФЕРНОГО ОБРАЗОВАНИЯ





**В НОМЕРЕ**

**СРЕДСТВА И МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ**

- 2 **Ф.К. Алиев, А.В. Зайцева, И.В. Костенюк, А.Г. Сенцов, И.А. Шеремет.** Оптимальный и субоптимальный энтропийные стеганографические алгоритмы защиты сообщений, сгенерированных двоичным источником без памяти
- 10 **А.П. Галкин, Аль-Джабери Рамзи Хамид, Обади Хезам Мохаммед Али, Мохаммад Махмуд Амро, М.С. Ковалёв.** Системный уровень проектирования защищенных сетей
- 13 **Д.А. Токарев, С.В. Погребан.** Аномалии трафика в IP сетях и их обнаружение

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ**

- 18 **М.В. Орлова.** Влияние факторов новой экономики на маркетинговое управление интеллектуальным сервисом

**АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ**

- 24 **А.П. Мартынов, С.Н. Гончаров, В.В. Писецкий, В.А. Никитин, В.Н. Темненко.** Схемотехнический синтез управляющего автомата

**ИНФОРМАЦИОННО-РАСЧЕТНЫЕ СИСТЕМЫ**

- 32 **Г.А. Гордеев, А.А. Мурашко.** Оценка степени опасности технических систем, подвергшихся нерегламентированным воздействиям внешней среды
- 40 **Е.Ю. Пушкарёва, Ю.А. Пушкарёв, А.А. Алексеев.** Исследование динамики сближения космических аппаратов в телекоммуникационных системах с защитой информации
- 44 **С.Е. Кондаков.** Модель оценки обоснованности выбора варианта КСА
- 47 **А.Е. Кузнецов.** К проблеме измерения и оценки уровня террористической опасности

**ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ СИСТЕМ И КОМПЛЕКСОВ**

- 52 **С.Н. Гончаров, Н.А. Прудкой, И.Г. Машин, А.А. Скоробогатый.** Расчетные оценки и экспериментальные исследования функционирования бистабильных цифровых устройств с дублированием памяти в условиях сильных электромагнитных помех

**СИСТЕМЫ СВЯЗИ**

- 58 **Е.П. Зараменских, А.Г. Демиденко, Д.В. Смирнов.** Методика выбора рационального варианта размещения элементов системы электронного мониторинга подконтрольных лиц с применением геоинформационных технологий
- 64 **Ю.В. Зеленевский, В.В. Зеленевский, Е.В. Шмырин.** Оценка параметров радиоканалов передачи данных с замираниями сигнала
- 67 **Ю.В. Зеленевский, С.Н. Шиманов, Е.В. Шмырин.** Модели кодированных каналов радиосвязи в системах телекоммуникаций с широкополосным доступом
- 70 **А.В. Подзоров, А.Н. Новиков, А.А. Захаров.** Анализ влияния магнитодиэлектрического покрытия на характеристики излучения электрического диполя

**ЭЛЕМЕНТНАЯ БАЗА**

- 73 **О.Р. Никитин, В.Г. Рау, М.В. Руфицкий, К.В. Скворцов, Т.Ф. Рау, А.В. Осин.** Моделирование и исследование микро- и наноструктурированных материалов на основе алюмооксидов

**НАВИГАЦИЯ**

- 78 **В.П. Пашинцев, С.Ю. Коротков, С.В. Яремченко, В.И. Стрекозов, Д.В. Смирнов.** Пеленгация искусственного ионосферного образования с помощью навигационного космического аппарата

**ТЕХНИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ**

- 83 **О.Н. Андрух, М.Г. Заводчикова, М.К. Чадунели.** Техническая регламентация как установление обязательных требований к объектам технического регулирования

**ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОЕКТЫ**

- 87 **И.А. Бугаков, А.Н. Царьков.** Система управления устойчивым развитием: концептуальные идеи
- 95 **В.В. Редькин, А.А. Коробков, О.В. Кемаев, М.В. Кулик.** Разработка метано-кислородной энерготехнологии и энерготехнологической системы производства электроэнергетики, гомологов метана, этилена и пропилена из неразделенного сжиженного природного и попутного нефтяного газов

**ПОДГОТОВКА КАДРОВ**

- 103 **К.И. Меша, В.И. Харитонов.** Электронные образовательные ресурсы на web-сайте кафедры

Научно-технический журнал

**ИЗВЕСТИЯ  
Института инженерной физики**

Издается с апреля 2006 года  
Выходит ежеквартально

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

Главный редактор

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

Заместитель главного редактора

**Роман Леонидович Мусатов**  
кандидат технических наук

Выпускающий редактор

**Игорь Павлович Новожилов**

Редакционная коллегия

**Евгений Михайлович Ананьев**  
кандидат технических наук

**Олег Николаевич Андрух**  
кандидат технических наук, доцент

**Сергей Борисович Беркович**  
доктор технических наук, профессор

**Владимир Эрнестович Бородай**  
кандидат технических наук,  
старший научный сотрудник

**Игорь Александрович Бугаков**  
заслуженный изобретатель РФ,  
доктор технических наук, профессор

**Александр Михайлович Вальваков**  
доктор технических наук

**Владимир Иванович Злобин**  
заслуженный деятель науки РФ,  
доктор технических наук, профессор

**Сергей Васильевич Иванушкин**  
доктор военных наук, доцент

**Николай Николаевич Казаков**  
член Союза писателей России

**Валерий Геннадьевич Маслов**  
кандидат технических наук

**Борис Петрович Смирнов**  
доктор технических наук, профессор

**Дмитрий Вячеславович Смирнов**  
доктор технических наук, доцент

**Сергей Владимирович Смуров**  
доктор технических наук, профессор

**Владимир Анатольевич Цимбал**  
заслуженный деятель науки РФ,  
доктор технических наук, профессор

ISSN 2073-8110

Учредитель и издатель – МОУ «ИИФ»

Подписной индекс: 59190 по каталогу

«Научно-технические издания» ОАО «Роспечать»

Адрес редакции: 142210, Московская обл.,

г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а.

Тел: +7(4967)35-31-93, 35-13-71

Факс: +7(4967)35-44-20 <http://www.iifrf.ru>

e-mail: [iifrfinfo@gmail.com](mailto:iifrfinfo@gmail.com) [info@iifrf.ru](mailto:info@iifrf.ru)

Свидетельство о регистрации ПИ №ФЦ77-26650  
от 20 декабря 2006 г.

Отпечатано на полиграфической базе МОУ «ИИФ»

Подписано в печать 10.12.2013. Тираж 2000 экз.

© Межрегиональное общественное учреждение  
«Институт инженерной физики» (ИИФ), 2013

Редакционный совет

**Александр Иванович Аспидов**

*доктор технических наук, профессор*  
Заместитель директора Нижегородского филиала  
Московского гуманитарного экономического о  
института по научной работе

**Валерий Петрович Баранов**

*генерал-полковник*  
*доктор исторических наук, профессор*

**Андрей Витальевич Богословский**

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

**Борис Федорович Безродный**

*доктор технических наук, профессор*  
Главный инженер проектного  
конструкторско-технологического бюро –  
филиал ОАО «РЖД»

**Ярослав Андреевич Ваграменко**

*доктор технических наук, профессор*  
Президент академии  
информатизации образования

**Анатолий Николаевич Геращенко**

*доктор технических наук, профессор*  
Ректор Московского авиационного института

**Сергей Григорьевич Данилюк**

*доктор технических наук, профессор*  
Ведущий научный сотрудник Института  
информатизации образования (РАО)

**Валерий Евгеньевич Дидрих**

*доктор технических наук, профессор*  
Начальник учебного отдела Тамбовского  
высшего военного авиационного инженерного  
училища радиоэлектроники

**Владимир Дмитриевич Киселев**

*доктор технических наук, профессор*  
Директор Тульского филиала  
Орловской академии госслужбы

**Олег Александрович Козлов**

*доктор педагогических наук, профессор*  
Заместитель директора Института  
информатизации образования (РАО)

**Сергей Викторович Ларцов**

*доктор технических наук,*  
*старший научный сотрудник*  
Заместитель главного инженера  
ОАО "Гипрогазцентр"

**Евгений Николаевич Надеждин**

*доктор технических наук, профессор*  
Начальник кафедры Тульского военного  
инженерного артиллерийского института

**Сергей Алексеевич Редкозубов**

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

**Юрий Александрович Романенко**

*заслуженный деятель науки РФ*  
*доктор технических наук, профессор*

**Валерий Николаевич Умников**

*доктор технических наук, профессор*  
Президент Академии проблем сохранения жизни

**Сергей Николаевич Шиманов**

*доктор технических наук, профессор*  
Заместитель генерального директора  
МОУ «ИИФ» – главный конструктор



**Сергей  
Борисович  
Беркович**

*Начальник  
отдела МОУ «ИИФ»,  
доктор  
технических наук,  
профессор*



**Николай  
Иванович  
Котов**

*Ведущий научный  
сотрудник  
МОУ «ИИФ»,  
кандидат  
технических наук,  
профессор*

Казалось бы, еще совсем недавно, в 90-е годы, мы проводили в МОУ «ИИФ» первые исследования в области навигационных технологий и получали первые серьезные научные результаты. И вот в канун завершения юбилейного – двадцатого! – для МОУ «ИИФ» года, серийное изделие зав. №1 «Автоматическая система определения азимута» Ш85 сдано в эксплуатацию в/ч г. Татищево (приказом Министра обороны №315 система принята на снабжение ВС РФ). Серийное изделие – это плод многолетнего скрупулезного ежедневного труда десятков ученых и специалистов Института, организаций соисполнителей и заказчика.

За 20 лет по навигационному направлению успешно завершены и проводятся 11 ОКР, свыше 45 НИР, созданы кооперации, накоплен опыт проведения всех этапов ОКР. В итоге создано изделие Ш85; разработана базовая технология производства наземных интегрированных геоинформационных навигационных комплексов с контуром оценки надежности навигационной измерительной информации РЭС; создан опытный образец ИНГК, навигационно-геодезический полигон, подвижный навигационно-геодезический комплекс (НГК) и технологическое оборудование для обеспечения проведения всех видов испытаний ИНГК; создается метрологический комплекс для проведения аттестаций гироскопов, поверок топогеодезических средств, находящихся на снабжении в подразделении РВСН; стенд по отработке модели погрешностей, методик применения автоматической системы определения астрономического азимута Ш87 системы Ш85; проводятся работы по поставке в в/ч автоматической системы определения астрономического азимута средств прицеливания комплексов для нужд МО РФ; проводятся работы по созданию навигационных систем для перспективных комплексов на основе средств технического зрения и лазерного сканирования; ведется строительство сооружений баз эталонирования.

Результаты работ легли в основу создания лаборатории и специальной трассы для проведения испытаний наземных НГК двойного назначения, а также ОКР по разработке перспективных комплексов, в которых ИИФ выступает по многим вопросам головным разработчиком; разработки проекта «Создание ведущего в России инжинирингового центра компетенций в области навигационных технологий для научно-технического, технологического и кадрового обеспечения разработки, производства и послепродажного сопровождения конкурентоспособных на мировом рынке навигационных систем различного назначения» под эгидой Агентства стратегических инициатив.

Минобрнауки РФ наш Институт признан одним из лидеров в области создания новых навигационных технологий, что подтверждается включением ИИФ в перечень организаций, которым присвоен статус «Центр коллективного пользования уникальным научным оборудованием». Результаты нашей творческой деятельности отмечены дипломами и медалями по результатам участия в Международном военно-морском салоне, международных выставках «Интерполитех-2012» и «Интерполитех-2013».

УДК 004.056.55

## ОПТИМАЛЬНЫЙ И СУБОПТИМАЛЬНЫЙ ЭНТРОПИЙНЫЕ СТЕГАНОГРАФИЧЕСКИЕ АЛГОРИТМЫ ЗАЩИТЫ СООБЩЕНИЙ, СГЕНЕРИРОВАННЫХ ДВОИЧНЫМ ИСТОЧНИКОМ БЕЗ ПАМЯТИ

**Физули Камилевич Алиев**

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

**Анастасия Владленовна Зайцева**

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

**Игорь Викторович Костенюк**

ведущий специалист отдела разработок  
ОАО «РЖД»  
Москва

**Анатолий Григорьевич Сенцов**

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

**Игорь Анатольевич Шеремет**

доктор технических наук, профессор  
член ВПК при Правительстве РФ  
Москва

Статья посвящена разработке энтропийных стеганографических алгоритмов для защиты сообщений, сгенерированных двоичным источником без памяти. Если сообщения предварительно сжаты асимптотически оптимальным блоковым равномерным кодом, то для их защиты предложен оптимальный энтропийный стеганографический алгоритм. Для защиты сообщений, неподлежащих предварительному сжатию, предложен субоптимальный энтропийный стеганографический алгоритм.

The article is devoted to the development of entropy steganographic algorithms to protect the messages generated by the binary source without memory. To protect the pre-compressed messages asymptotically optimal bloc uniform code the optimal entropy steganographic algorithm was proposed. To protect messages without pre-compression entropy sub-optimal steganographic algorithm was proposed.

**Ключевые слова:** стеганографический алгоритм, контейнер, сжатие мультимедийных файлов, энтропия, булевская функция, математическое ожидание, комбинаторная оптимизация.

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

В стеганографических алгоритмах с контейнерами, представляющими собой сжатые образы цифровых мультимедийных файлов [7], встраивание (внедрение) сообщения  $m$  (представленного в виде двоичной конечной последовательности длины  $\ell$ ) в контейнер (из  $n$  пикселей (в случае изображений или видеосигналов) или сэмплов (в случае аудиосигналов)) после выполнения квантования стандартным ал-

горитмом сжатия цифрового мультимедийного сигнала осуществляется в соответствии с правилом, суть которого заключается в изменении квантованных коэффициентов (являющихся целыми числами)  $g_1, g_2, \dots, g_n$  и получении новых квантованных коэффициентов  $\tilde{g}_1, \tilde{g}_2, \dots, \tilde{g}_n$ , являющихся целыми числами, такими, что для некоторой функции  $H_k$  от  $n$  переменных (заранее выбранной из множества функций  $\{H_k | k \in K\}$ , яв-

ляющегося структурной компонентой стеганографического алгоритма с пространством ключей  $K$ )

$$H_k: \underbrace{Z \times Z \times \dots \times Z}_n \text{ раз} \rightarrow \underbrace{\{0;1\} \times \{0;1\} \times \dots \times \{0;1\}}_\ell \text{ раз}$$

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

$\times$  – знак декартового произведения множеств.

Как правило, изменения (при необходимости) квантованных коэффициентов при внедрении в контейнер сообщения, подлежащего скрытию, осуществляются путем прибавления или вычитания из них числа 1 в сторону, противоположную тому, что было сделано стандартом сжатия при округлении после квантования ( $\pm 1$  embedding [7]).

Извлечение сообщения  $m$  из стеганограммы осуществляется путем выбора по ключу  $k \in K$  функции  $H_k$  и вычисления значения  $m$  функции  $H_k$  на наборе целых чисел  $\tilde{g}_1, \tilde{g}_2, \dots, \tilde{g}_n$ :

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

Введем следующие дополнительные условия:

– для внедрения в контейнер одного элемента  $m_s \in \{0; 1\}$  (где  $s \in \{1, 2, \dots, \ell\}$ ) двоичного сообщения  $m = (m_1, m_2, \dots, m_\ell)$  используется  $\tau$  элементов контейнера и, следовательно, для скрытия всего сообщения  $m$  используется  $\tau \ell$  элементов контейнера;

– элементы множества функций  $\{H_k | k \in K\}$ , являющегося структурной компонентой стеганографического алгоритма с пространством ключей  $K$ , устроены таким образом, что для любого  $k \in K$  существует набор функций  $\{H_{kj} | j \in N\}$ , такой, что

$$H_{kj}: \underbrace{Z \times Z \times \dots \times Z}_\tau \text{ раз} \rightarrow \{0; 1\}$$

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

$$m = H_k(\tilde{g}_1, \tilde{g}_2, \dots, \tilde{g}_n) = (H_{k1}(\tilde{g}_{i_1}, \tilde{g}_{i_2}, \dots, \tilde{g}_{i_\tau}), H_{k2}(\tilde{g}_{i_{\tau+1}}, \tilde{g}_{i_{\tau+2}}, \dots, \tilde{g}_{i_{2\tau}}), \dots,$$

$$H_{k\ell}(\tilde{g}_{i_{(\ell-1)\tau+1}}, \tilde{g}_{i_{(\ell-1)\tau+2}}, \dots, \tilde{g}_{i_{\ell\tau}}));$$

$$\text{где } H_{k1}(\tilde{g}_{i_1}, \tilde{g}_{i_2}, \dots, \tilde{g}_{i_\tau}) = m_1;$$

$$H_{k2}(\tilde{g}_{i_{\tau+1}}, \tilde{g}_{i_{\tau+2}}, \dots, \tilde{g}_{i_{2\tau}}) = m_2;$$

...

$$H_{k\ell}(\tilde{g}_{i_{(\ell-1)\tau+1}}, \tilde{g}_{i_{(\ell-1)\tau+2}}, \dots, \tilde{g}_{i_{\ell\tau}}) = m_\ell;$$

$(\tilde{g}_{i_1}, \tilde{g}_{i_2}, \dots, \tilde{g}_{i_n})$  – некоторая перестановка множества элементов  $(\tilde{g}_1, \tilde{g}_2, \dots, \tilde{g}_n)$ ;

$(i_1, i_2, \dots, i_n)$  – перестановка множества чисел  $(1, 2, \dots, n)$ , зависящая от выбранного ключа

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

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

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

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

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

Разные варианты стеганографического алгоритма различаются только наборами булевских функций внедрения-извлечения информации

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

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

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

$$f_{kj}(x_1, x_2, \dots, x_\tau) = x_1 \oplus x_2 \oplus \dots \oplus x_\tau, \quad (1)$$

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

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

Очевидно, что можно функцию  $H_{ks}$  заменить на булевскую функцию  $f_{ks}$ , используя вместо наборов  $\tilde{g}_{i_{(s-1)\tau+1}}, \tilde{g}_{i_{(s-1)\tau+2}}, \dots, \tilde{g}_{i_{s\tau}}$  и  $\tilde{g}_{i_{(s-1)\tau+1}}, \tilde{g}_{i_{(s-1)\tau+2}}, \dots, \tilde{g}_{i_{s\tau}}$  элементов контейнера соответственно их наборы битов четности  $b_{i_{(s-1)\tau+1}}, b_{i_{(s-1)\tau+2}}, \dots, b_{i_{s\tau}}$  и  $\tilde{b}_{i_{(s-1)\tau+1}}, \tilde{b}_{i_{(s-1)\tau+2}}, \dots, \tilde{b}_{i_{s\tau}}$ , при внедрении и извлечении элемента  $m_s$ . Данный подход дает возможность вычислить характеристики случайной величины  $\xi(m)$ , равной минимальному числу изменений, вносимых в контейнер в результате вне-

дрения в него сообщения  $m$  (то есть  $\xi(m)$  – случайная величина, равная минимальному числу измененных элементов контейнера при внедрении в него сообщения  $m$ ). Так как в данной статье предполагается, что всегда при необходимости переход от набора  $g_{i_{(s-1)\tau+1}}, g_{i_{(s-1)\tau+2}}, \dots, g_{i_{st}}$  к требуемому набору  $\tilde{g}_{i_{(s-1)\tau+1}}, \tilde{g}_{i_{(s-1)\tau+2}}, \dots, \tilde{g}_{i_{st}}$  осуществляется по принципу минимума числа изменений в наборе  $g_{i_{(s-1)\tau+1}}, g_{i_{(s-1)\tau+2}}, \dots, g_{i_{st}}$ , то далее для краткости слово минимальное в определении случайной величины  $\xi(m)$  будем опускать, то есть  $\xi(m)$  – случайная величина, равная числу измененных элементов контейнера при внедрении в него сообщения  $m$ .

Предположим, что биты четности элементов пустого контейнера могут быть представлены как результат работы источника, который генерирует 0 и 1 потактно по схеме независимых испытаний с одной и той же вероятностью 0,5. А сообщение  $m$  – результат работы двоичного источника без памяти, который генерирует 0 и 1 потактно по схеме независимых испытаний соответственно с вероятностями  $p$  и  $q$ , где  $p \geq 0, q \geq 0, p+q=1$ . Тогда для математического ожидания  $E(\xi(m))$  случайной величины  $\xi(m)$  справедливо равенство

$$E(\xi(m)) = 0,5 \ell. \quad (2)$$

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

Изменения контейнера при внедрении в него сообщения, подлежащего стеганографической защите, методом ( $\pm 1$  embedding [7]) приводят к увеличению деградации мультимедийного сигнала, полученного в результате декомпрессии заполненного контейнера (стеганограммы) по сравнению с мультимедийным сигналом, полученным из пустого контейнера, что может быть использовано для несанкционированного доступа к защищаемому сообщению. Поэтому важно минимизировать количество измененных элементов контейнера при внедрении в него сообщения.

Из равенства (2) следует, что если для любого  $k \in K$  и для любого  $j \in N$  булевская функция  $f_{kj}$  задается равенством (1), то значение математического ожидания  $E(\xi(m))$  случайной величины  $\xi(m)$ , равной числу изменений, вносимых в контейнер в результате внедрения в него произвольного двоичного сообщения  $m$ , не зависит от значений чисел  $p$  и  $q$ , то есть не зависит от вероятностных параметров источника сообщений. Однако, очевидна возможность уменьшения значения  $E(\xi(m))$  путем учета значений вероятностных параметров  $p$  и  $q$  источника сообщений за счет выбора подходящих булевских функций

$f_{kj}$ ,  $k \in K, j \in N$ . Так, например, если  $P(m_s=0)=p > q = P(m_s=1)$ , то интуитивно можно предположить, что значение  $E(\xi(m))$  может быть меньше, чем значение  $0,5 \ell$ . Это происходит в том случае, когда число двоичных векторов, на которых булевские функции  $f_{ks}$ ,  $k \in K, s \in \{1, 2, \dots, \ell\}$  принимают значение 0, больше, чем число векторов, на которых те же функции принимают значение 1. Однако обоснование этого предположения требует соответствующего исследования. Так как при таком неравномерном распределении двоичных векторов по значениям 0 и 1 булевских функций  $f_{ks}$ ,  $k \in K, s \in \{1, 2, \dots, \ell\}$ , может оказаться недостаточным изменение не более одного элемента из  $g_{i_{(s-1)\tau+1}}, g_{i_{(s-1)\tau+2}}, \dots, g_{i_{st}}$  для получения требуемого набора

$\tilde{g}_{i_{(s-1)\tau+1}}, \tilde{g}_{i_{(s-1)\tau+2}}, \dots, \tilde{g}_{i_{st}}$ . При рассмотренном выше неравномерном распределении двоичных векторов могут возникнуть ситуации, требующие изменения двух и более элементов. В связи с этим имеет смысл выписать общее выражение для математического ожидания  $E(\xi(m))$  случайной величины  $\xi(m)$ , равной числу изменяемых элементов контейнера при внедрении в  $\tau$  элементов контейнера сообщения  $m$  из одного бита, сгенерированного источником сообщений с параметрами  $p$  и  $q$ .

Для упрощения записи всюду далее индексы булевской функции внедрения-извлечения  $f_{ks}$  будем опускать, и писать просто  $f$ , и положим  $\tau = n$ .

Обозначим через  $V_2^n$  – множество двоичных векторов с  $n$  координатами ( $n \in N$ ), то есть  $V_2^n = \{(\alpha_1, \dots, \alpha_n) \mid \alpha_i \in \{0, 1\}, i = \overline{1, n}\}$ ; положим  $A_f = \{v \in V_2^n \mid f(v) = 1\}$  и  $B_f = \{v \in V_2^n \mid f(v) = 0\}$ .

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

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

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

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

4) для любого  $k \in \{1, \dots, n\}$  множество векторов  $B_{kf}$ , такое, что если  $B_{kf} \neq \emptyset$ , то каждый вектор  $b^{(k)} \in B_{kf}$  обладает тем свойством, что при инвертировании любых его координат в количе-

стве меньшем, чем  $k$ , и неизменности остальных координат получается вектор, принадлежащий множеству  $B_j$ ; но существует набор ровно из  $k$  координат вектора  $b^{(k)}$ , при инвертировании которых и неизменности остальных координат получается вектор, принадлежащий множеству  $A_j$ .

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

$$E(\xi_f(m)) = \sum_{i=0}^n i \times P((\xi_f(m)=i)) = \frac{p}{2^n} \sum_{i=1}^n i \cdot y_{if} + \frac{q}{2^n} \sum_{i=1}^n i \cdot z_{if}, \quad (3)$$

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

$v$  – вектор, состоящий из битов четности элементов контейнера, в которые внедряется сообщение.

Стеганографический алгоритм, в котором процедура внедрения в контейнер сообщений осуществляется с учетом вероятностно-статистических характеристик источника сообщений, назовем **энтропийным стеганографическим алгоритмом**. При фиксированном источнике сообщений (то есть, при фиксированных значениях параметров  $p$  и  $q$ ) и фиксированном числе  $n \in N$  энтропийный стеганографический алгоритм назовем **оптимальным энтропийным стеганографическим алгоритмом**, если при данном алгоритме математическое ожидание числа изменяемых элементов контейнера при внедрении двоичного сообщения  $m$ , состоящего из одного бита (сгенерированного источником), в  $n$  элементов контейнера, равно

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

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

Таким образом, задача разработки оптимального энтропийного стеганографического алгоритма при фиксированном источнике сообщений (то есть при фиксированных значениях параметров  $p$  и  $q$ ) является задачей комбинаторной оптимизации [3] в силу конечности множеств  $F_2^n$  и  $V_2^n$ . Оптимальный энтропийный стеганографический алгоритм внедрения информации в контейнер может быть получен путем перебора всех функций  $f \in F_2^n$  и разбиения множества  $V_2^n$  на два подмножества  $A_f$  и  $B_f$  с определением чисел  $y_{if} = |A_{if}|$ ,  $z_{if} = |B_{if}|$ ,  $i = \overline{1, n}$ , а по ним величины  $E(\xi_f(m))$  с целью выявления такой функции

$f \in F_2^n$ , на которой величина  $E(\xi_f(m))$  достигает своего минимального значения. Такой перебор функций  $f \in F_2^n$  является громоздкой процедурой, применимой лишь для небольших значений параметра  $n$ .

Однако возможны практические приложения, в которых задача разработки оптимального стеганографического алгоритма может быть решена менее трудоемким способом.

Действительно, рассмотрим задачу построения оптимального энтропийного стеганографического алгоритма при условии, что внедряемые в стеганографические контейнеры сообщения предварительно кодируются (сжимаются) асимптотически оптимальным блоковым равномерным кодом с двоичным алфавитом. Здесь выражение асимптотически оптимальный блоковый равномерный код означает, что, во-первых, кодированию подвергаются сообщения заданной конечной длины (блоки одинаковой длины) при ее неограниченном увеличении (асимптотика) [5]. Во-вторых, все кодовые слова в блоковом равномерном коде имеют одинаковую длину, и его оптимальность понимается в смысле минимальности этой длины [1, 4, 6].

Кроме того, известно, что каждое кодовое слово асимптотически оптимального блокового равномерного кода с двоичным алфавитом вырабатывается в течение соответствующего числа тактов источником сообщений, который генерирует 0 и 1 потактно по схеме независимых испытаний с одной и той же вероятностью 0,5 [4]. Поэтому в данной работе предполагается, что сообщения, подлежащие стеганографической защите, таковы, что в закодированном виде (путем применения асимптотически оптимального блокового равномерного кода с двоичным алфавитом) они имеют такое же распределение двоичных символов.

С учетом указанных условий относительно внедряемых в стеганографический контейнер сообщений справедливо следующее утверждение.

**Утверждение 1.** Пусть внедряемые в стеганографические контейнеры сообщения предварительно кодируются (сжимаются) асимптотически оптимальным блоковым равномерным кодом с двоичным алфавитом. Тогда для любого  $n \in N$  и для любого числа  $q$ , такого, что  $0 < q < 1$  энтропийный стеганографический алгоритм с функцией внедрения-извлечения  $g(x_1, x_2, \dots, x_n) = x_1 \oplus x_2 \oplus \dots \oplus x_n$  является оптимальным энтропийным стеганографическим алгоритмом. При этом математическое ожидание числа изменяемых элементов контейнера при внедрении одного бита сообщения равно

$$E(\xi(m)) = \min_{f \in F_2^n} E(\xi(m)) = 0,5H(X),$$

где  $X$  – случайная величина, принимающая значения 0 и 1 с вероятностями  $p=1-q$  и  $q$  соответственно;

$H(X)$  – энтропия случайной величины  $X$  (называемая также энтропией источника),

$$H(X) = -(p \log_2 p + q \log_2 q).$$

**Доказательство.** Для доказательства данного утверждения обратимся к асимптотическим методам теории информации [6], точнее к некоторой качественной интерпретации теоремы Шеннона о кодировании при отсутствии шума [1, 4]. В соответствии с ограничениями, принятыми в данной статье, займемся рассмотрением только случая двоичного источника сообщений, который генерирует 0 и 1 потактно по схеме независимых испытаний, соответственно, с вероятностями  $p$  и  $q$ , где  $p \geq 0$ ,  $q \geq 0$ ,  $p+q=1$ .

Теорема Шеннона о кодировании при отсутствии шума отвечает на следующий вопрос: какие минимальные ресурсы необходимы для того, чтобы сохранять информацию, получаемую из источника, так, чтобы впоследствии можно было восстановить ее?

Оказывается, что для хранения двоичной вектор-строки длины  $\ell$  требуется (в среднем)  $\ell H(X)$  битов, где  $X$  – случайная величина, принимающая значения 0 и 1 с вероятностями  $p$  и  $q$  соответственно;  $H(X)$  – энтропия случайной величины  $X$  (называемая также энтропией источника),  $H(X) = -(p \log_2 p + q \log_2 q)$ . Этот результат известен как теорема Шеннона о кодировании при отсутствии шума. В связи с доказательством данного утверждения полезно понять основную идею Шеннона, на которой базируется эта теорема. Она заключается в следующем.

При достаточно больших значениях натурального числа  $\ell$  все сообщения, то есть двоичные векторы-строки длины  $\ell$ , генерируемые источником, можно разбить на два класса: первый класс  $K_{1\ell}$  – это класс типичных векторов-строк, содержащих примерно  $\ell_p$  нулей и примерно  $\ell_q$  единиц; второй класс  $K_{2\ell}$  – это класс атипичных векторов-строк, то есть тех векторов-строк, которые не попали в класс  $K_{1\ell}$ . Вероятность того, что сгенерированное источником сообщение длины  $\ell$  атипично, то есть принадлежит классу  $K_{2\ell}$ , асимптотически (т.е. в пределе при  $\ell \rightarrow \infty$ ) мала. Таким образом, атипичные векторы-строки генерируются источником редко, в отличие от типичных, так как при больших значениях  $\ell$  с большой вероятностью доля символов 0 на выходе источника будет равна  $p$ , а доля символов 1 будет равна  $q$ , что согласуется с определением типичных векторов-строк. Вероятность генера-

ции источником любой одной типичной вектор-строки примерно равна  $p^{\ell_p} \cdot q^{\ell_q}$ . Значение логарифма по основанию 2 от этой величины равно  $(-\ell H(X))$ . Следовательно, вероятность генерации источником любой одной типичной вектор-строки примерно равна  $2^{-\ell H(X)}$ . Поскольку полная вероятность всех типичных векторов-строк длины  $\ell$  не может быть больше единицы, то количество типичных двоичных векторов-строк не может быть больше  $2^{\ell H(X)}$ . Идея Шеннона заключается в том, что кодированию с целью сжатия должны подвергаться только сообщения из класса  $K_{1\ell}$ . Отсюда следует довольно простая схема сжатия данных на выходе источника сообщений. Если источником сгенерировано сообщение, относящееся к классу  $K_{2\ell}$ , то оно считается ошибкой и игнорируется. При больших значениях числа  $\ell$  это случается редко, как указано выше. Если же сгенерировано сообщение из класса  $K_{1\ell}$ , то оно сжимается в соответствии с предварительно выбранной схемой кодирования путем его замены на двоичную вектор-строку из  $\ell H(X)$  битов. Поскольку существует не более  $2^{\ell H(X)}$  типичных сообщений длины  $\ell$ , то для их кодирования (с возможностью последующего однозначного декодирования) двоичных векторов-строк длины  $\ell H(X)$  достаточно; более того, установлено, что число  $\ell H(X)$  невозможно уменьшить, то есть, всех двоичных векторов-строк фиксированной длины, меньшей, чем  $\ell H(X)$ , не хватает для кодирования всех типичных сообщений длины  $\ell$ . При больших значениях  $\ell$  данная схема сжатия работает корректно (то есть, без ошибок) с вероятностью, приближающейся к единице [1, 4].

Таким образом, чтобы передать, по существу, всю информацию, переносимую вектор-строкой из  $\ell$  битов, достаточно выбрать двоичный блок-код  $V$ , присваивающий кодовое слово длины  $\ell H(X)$  битов каждой типичной вектор-строке из  $\ell$  битов. Этот блок-код равномерный код  $V$  имеет  $2^{\ell H(X)}$  слов одинаковой длины  $\ell H(X)$  битов, появляющихся с одинаковой вероятностью  $2^{-\ell H(X)}$  [3] и называется оптимальным блочным равномерным кодом [1, 4, 6]. Поскольку  $0 \leq H(X) \leq 1$  при  $0 \leq p \leq 1$  и  $H(X)=1$  только при  $p=0,5$ , то оптимальный блок-код  $V$  сжимает сообщение при любом  $p \neq 0,5$ . В силу того, что вероятность каждого слова в коде  $V$  равна  $2^{-\ell H(X)}$ , можно полагать, что каждое кодовое слово генерируется в течение  $\ell H(X)$  тактов источником сообщений, который генерирует 0 и 1 потактно по схеме независимых испытаний с одной и той же вероятностью 0,5 [4].

Теперь рассмотрим вопрос о вычислении величины  $\min_{f \in F_2^n} E(\xi(m))$  при внедрении в контей-

нер (с предварительным сжатием оптимальным блоковым кодом  $B$ ) типичного сообщения длины  $\ell$ , представляющего собой результат работы в течение  $\ell$  тактов источника, генерирующего символы 0 и 1 потактно по схеме независимых испытаний соответственно с вероятностями  $p$  и  $q$ , где  $p \geq 0$ ,  $q \geq 0$ ,  $p+q = 1$ . В результате кодирования исходного сообщения с использованием оптимального кода  $B$ , получим, как было указано выше, кодовое слово длины  $\ell H(X)$ , представляющее собой результат работы в течение  $\ell H(X)$  тактов источника, генерирующего символы 0 и 1 потактно по схеме независимых испытаний с одной и той же вероятностью 0,5. Внедряем в контейнер полученное кодовое слово. Тогда для любого натурального числа  $n$  и любой булевой функции  $f$  от  $n$  переменных справедлива цепочка соотношений

$$E(\xi(m)) = \frac{0,5}{2^n} \sum_{i=1}^n i \cdot y_f + \frac{0,5}{2^n} \sum_{i=1}^n i \cdot z_f \geq \frac{0,5}{2^n} (\sum_{i=1}^n y_f + \sum_{i=1}^n z_f) = 0,5. \quad (4)$$

Следовательно, в этом случае  $\min_{f \in F_2^n} E(\xi(m)) \geq 0,5$  и нижняя граница достигается для функции  $g(x_1, \dots, x_n) = x_1 \oplus \dots \oplus x_n$ . Действительно, для функции  $g(x_1, \dots, x_n) = x_1 \oplus \dots \oplus x_n$  справедливы равенства:

$$A_{2g} = \dots = A_{ng} = B_{2g} = \dots = B_{ng} = \emptyset,$$

$$A_g = \{v \in V_2^n \mid g(v) = 1\} = \{v \in V_2^n \mid \|v\| = 1 \pmod{2}\} = A_{1g},$$

$$B_g = \{v \in V_2^n \mid g(v) = 0\} = \{v \in V_2^n \mid \|v\| = 0 \pmod{2}\} = B_{1g},$$

где  $\|v\|$  – вес вектора  $v \in V_2^n$ .

И тогда

$$\begin{aligned} E(\xi_g(m)) &= \sum_{i=0}^n i \times P(\xi_g(m) = i) = \sum_{i=0}^n i \times P(\xi_g(m) = i) = \\ &= P(m=0) P(v \in A_{1g}) + P(m=1) P(v \in B_{1g}) = 0,5^2 + 0,5^2 = \\ &= 0,5. \end{aligned}$$

Отсюда следует, что при внедрении в контейнер всего кодового слова длины  $\ell H(X)$  оптимального блокового равномерного кода  $B$  выполняется равенство

$$\min_{f \in F_2^n} E(\xi_f(m)) \cdot \ell H(X) = 0,5 \ell H(X).$$

Таким образом, при внедрении в контейнер двоичного сообщения длины  $\ell$  (с предварительным сжатием оптимальным блоковым равномерным кодом  $B$ ), первоначально представляющего собой результат работы в течение  $\ell$  тактов источника, генерирующего символы 0 и 1 потактно по схеме независимых испытаний соответственно с вероятностями  $p$  и  $q$ , где  $p \geq 0$ ,  $q \geq 0$ ,  $p+q = 1$ , минимальное значение математического ожидания числа измененных элементов контей-

нера равно  $0,5 \ell H(X)$ . Поделив эту величину на длину  $\ell$  сообщения, получаем, что минимальное значение математического ожидания случайной величины, равной числу измененных элементов контейнера при внедрении одного бита сообщения в  $n$  элементов контейнера, равно  $0,5 H(X)$ .

Утверждение 1 доказано.

Выше было введено понятие **оптимального энтропийного стеганографического алгоритма** (значения параметров  $n$  и  $q$  фиксированы), при котором математическое ожидание числа изменяемых элементов контейнера при внедрении двоичного сообщения  $m$ , состоящего из одного бита, в  $n$  элементов контейнера, равно

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

где  $F_2^n$  – множество всех двоичных функций от  $n$  переменных. В случае, когда сообщение, подлежащее стеганографической защите, не подвергается сжатию перед внедрением в контейнер, оптимальный энтропийный стеганографический алгоритм внедрения информации в контейнер может быть получен путем перебора всех функций  $f \in F_2^n$  и разбиения множества  $V_2^n$  на два подмножества  $A_f$  и  $B_f$  с определением чисел  $y_f = |A_f|$ ,  $z_f = |B_f|$ ,  $i = 1, n$ , а по ним величины  $E(\xi(m))$  с целью выявления такой функции  $f \in F_2^n$ , на которой величина  $E(\xi(m))$  достигает своего минимального значения. Такой перебор функций  $f \in F_2^n$  является, как было указано выше, громоздкой процедурой, применимой лишь для небольших значений параметра  $n$ . По этой причине имеет смысл направить усилия на разработку не обязательно оптимальных, но приемлемых с практических позиций энтропийных стеганографических алгоритмов, допускающих значения математического ожидания числа измененных элементов контейнера при внедрении двоичного сообщения, состоящего из одного бита  $m$  в  $n$  элементов контейнера, не превосходящие некоторой верхней границы  $b \in R$ , где  $R$  – множество действительных чисел. Число  $b$  будет определено ниже. Такие, в определенном смысле, удовлетворительные алгоритмы будем называть **субоптимальными**. Различные варианты разработанных субоптимальных алгоритмов могут затем детально исследоваться для определения степени их близости к оптимальному алгоритму и определения лучшего из них по отношению к оптимальному.

При разработке субоптимальных энтропийных стеганографических алгоритмов является естественным требование выполнения следующих условий:

А) при любых фиксированных значениях параметров  $p$  и  $q$  источника сообщений и значении

## СРЕДСТВА И МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ

натурального числа  $n$  множество субоптимальных энтропийных стеганографических алгоритмов не должно быть пустым;

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

Выполнение условий А и Б с необходимостью влечет за собой справедливость равенства  $b=0,5$ .

Приступим теперь к решению задачи: построение субоптимального энтропийного стеганографического алгоритма внедрения в контейнер сообщений, генерируемых двоичным источником без памяти, на выходе которого появляются символы 0 и 1 с вероятностями, соответственно,  $p$  и  $q$ ,

$$\text{где } p \geq 0, q \geq 0, p+q=1, \frac{1}{2^t+1} < q \leq \frac{1}{2^{t-1}+1}, t \in \mathbb{N}.$$

При этом построение самого стеганографического алгоритма осуществим в той степени полноты, которая достаточна для выяснения вопроса его субоптимальности, а именно определим соответствующую булевскую функцию  $f$  внедрения-извлечения. Зададим эту булевскую функцию  $f(x_1, \dots, x_t)$ , положив

$$f(x_1, \dots, x_t) = x_1^{\alpha_1} \cdot x_2^{\alpha_2} \cdot \dots \cdot x_t^{\alpha_t}, \quad (5)$$

$$\text{где } x_i^{\alpha_i} = \begin{cases} 1, & \text{если } x_i = \alpha_i, \\ 0, & \text{в противном случае;} \end{cases}$$

$i \in \{1, \dots, t\}$ ;

$(\alpha_1, \dots, \alpha_t)$  – некоторый произвольным образом зафиксированный вектор из множества  $V_2^t$ .

Тогда имеем

$$A_{1f} = \{(\alpha_1, \dots, \alpha_t)\}, A_{2f} = \dots = A_{tf} = \emptyset,$$

$A_f = \{v \in V_2^t \mid f(v)=1\} = A_{1f} \cup \dots \cup A_{tf} = \{(\alpha_1, \dots, \alpha_t)\}$ ; для системы подмножеств  $\{B_{1f}, \dots, B_{tf}\}$  положим:  $B_i$  – это множество, состоящее из всех векторов, получающихся из вектора  $(\alpha_1, \dots, \alpha_t)$  путем инвертирования ровно  $i$  координат, где  $i = \overline{1, t}$ .

**Утверждение 2.** Стеганографический алгоритм с булевской функцией внедрения-извлечения

$$f(x_1, \dots, x_t) = x_1^{\alpha_1} \cdot x_2^{\alpha_2} \cdot \dots \cdot x_t^{\alpha_t} \quad (6)$$

является субоптимальным энтропийным стеганографическим алгоритмом.

**Доказательство.** Из равенств (3) и (6) следует, что справедливо равенство

$$E(\xi(m)) = \frac{1-q}{2^t} + \frac{tq}{2}.$$

Поэтому для доказательства утверждения 2 достаточно доказать справедливость неравенства

$$\frac{1-q}{2^t} + \frac{tq}{2} \leq \frac{1}{2}, \quad (7)$$

при условии, что

$$\frac{1}{2^t+1} < q \leq \frac{1}{2^{t-1}+1}, t \in \mathbb{N}. \quad (8)$$

Для начала отдельно рассмотрим случаи  $t=1$  и  $t=2$ .

Пусть  $t=1$ . Тогда

$$\frac{1-q}{2^t} + \frac{tq}{2} = \frac{1-q}{2} + \frac{q}{2} = \frac{1}{2}$$

и, следовательно, неравенство (7) при  $t=1$  выполняется.

Пусть  $t=2$ . Тогда из правой части двойного неравенства (8) следует, что

$$\frac{1-q}{2^t} + \frac{tq}{2} = \frac{1-q}{2^2} + \frac{2q}{2} = \frac{1}{4} + \frac{3q}{4} \leq \frac{1}{4} + \frac{3}{4} \cdot \frac{1}{3} = \frac{1}{2}$$

и, следовательно, неравенство (7) при  $t=2$  также выполняется.

Теперь рассмотрим случай  $t \geq 3$ . Из двойного неравенства (8) следует, что

$$\begin{aligned} \frac{1-q}{2^t} + \frac{tq}{2} &< \frac{1 - \left(\frac{1}{2^t+1}\right)}{2^t} + \frac{t \cdot \left(\frac{1}{2^{t-1}+1}\right)}{2} = \\ &= \frac{2^t}{2^t(2^t+1)} + \frac{t}{2^t+2} < \frac{t+1}{2^t+1}, \end{aligned}$$

то есть, справедливо неравенство

$$\frac{1-q}{2^t} + \frac{tq}{2} < \frac{t+1}{2^t+1}. \quad (9)$$

Рассмотрим функцию

$$y = \frac{t+1}{2^t+1}, \quad (10)$$

определенную на множестве всех действительных чисел  $R$ , следовательно, и при  $t \geq 3$ . Производная

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

этой функции существует всюду на  $R$  и отрицательна при  $t > \log_2 \log_2 e$ . Следовательно (см. [2]), функция (10) является убывающей функцией при  $t > \log_2 \log_2 e$ . Так как  $3 > \log_2 \log_2 e$ , то функция (10) является убывающей и при  $t \geq 3$ . Значение функции (10) при  $t=$  равно  $\frac{4}{9}$ . С учетом этого, из неравенства (9) получаем

$$\frac{1-q}{2^t} + \frac{tq}{2} < \frac{4}{9} < \frac{1}{2}$$

при  $t \geq 3$ .

Итак, доказана справедливость неравенства (7) для всех  $t \geq 1$ , то есть верно неравенство

## СРЕДСТВА И МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ

$E(\xi(m)) \leq 0,5$ , что равносильно субоптимальности энтропийного стеганографического алгоритма функцией внедрения извлечения (6).

Утверждение 2 полностью доказано.

### Литература

1. Духин А.А. Теория информации. М.: Гелиос АРВ, 2007. 248 с.  
2. Кудрявцев Л.Д. Курс математического анализа (в 2-х томах): Учебник для студентов университетов и вузов. М.: Высшая школа, 1981. Т. 1. 687 с.

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

4. Стратонович Р.Л. Теория информации. М.: Сов. радио, 1975. 424 с.

5. Чечета С.И. Введение в дискретную теорию информации и кодирования. М.: МЦНМО, 2011. 224 с.

6. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетике. М.: ИЛ, 1963. 869 с.

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

УДК 519.81

## СИСТЕМНЫЙ УРОВЕНЬ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЗАЩИЩЕННЫХ СЕТЕЙ

### Александр Павлович Галкин

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

### Максим Сергеевич Ковалёв

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

### Аль-Джабери Рамзи Хамид (Йемен)

аспирант кафедры радиотехники и радиосистем  
Тел.: +7(4967)35-31-93

### Обади Хезам Мохаммед Али (Йемен)

аспирант кафедры радиотехники и радиосистем  
Тел.: +7(4967)35-31-93

### Мохаммад Махмуд Амро (Иордания)

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

Рассматривается синтез структур с маршрутизаторами в информационных сетях. Предложен системный уровень проектирования структуры для построения маршрутизаторов в сетях с защитой информации.

Synthesis of structures with routers in information networks is considered. Structures for construction of routers with information protection are offered.

**Ключевые слова:** защита информации в сетях, маршрутизаторы, синтез маршрутизаторов.  
**Keywords:** safe information in the networks, routers, synthesis of the routers.

Существует множество систем автоматизированного проектирования (САПР), в том числе и для защищенных сетей (ЗС), призванных облегчить труд разработчика и ускорить процесс проектирования соответствующих объектов. Среди наиболее известных САПР следует выделить Altera, Mental Graphics, Cadence, SolidWorks 97, HP VEE, InTouch, каждая из которых ориентирована на класс задач определенной предметной области. Однако существующие САПР в основном ориентированы на проектировании SoC и не позволяют в полной мере спроектировать системы Network on Chip (NoC).

Мы рассматриваем САПР, предназначенную для автоматизации труда проектировщика систем защиты информации основанных на NoC.

САПР NoC состоит из различных уровней разработки и верификации СБИС NoC. Остановимся на самых основных.

Системный уровень включает два подуровня – функциональный и уровень транзакций. На функциональном уровне (уровне алгоритмов)

[1, 5] создается и верифицируется математическая модель системы в целом. На уровне транзакций можно моделировать архитектуру системы. Причем для разработки моделей можно использовать ставшие фактически промышленным стандартом языки VHDL. Очень важно, что уже на системном уровне возможно совместное моделирование аппаратной и программной частей системы, определение их оптимального соотношения [2-4].

Кроме VHDL, на системном уровне можно использовать модели с C/C++, Verilog, Matlab языками, а также задействовать уже готовые IP\_блоки. Для моделирования Verilog\_ и VHDL\_кодов предназначены симуляторы VCS и Scirocco, соответственно. В частности, это позволяет, разработав системную модель сложного устройства, довести отдельный его блок до вентиляционного и даже до топологического уровня и верифицировать системную модель, используя уже готовый блок. В этом случае может выясниться, например, что какие-либо параметры, заложенные в

# СРЕДСТВА И МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ



Рис. 1. Общий маршрут проектирования

блок на системном уровне, не реализуются, и тогда можно изменить саму систему.

Для перехода с системного уровня к непосредственному проектированию СБИС необходимо описание проекта на уровне регистровых передач (RTL). Переход от системной модели к RTL возможен двумя путями. Традиционный подход – это вручную писать соответствующий код на языках Verilog/VHDL. Другой подход, предоставляемый САПР, – это генерация соответствующих кодов автоматически. При этом формируется некая модель в виде

«черного ящика», у которой определены интерфейсы, временные характеристики, выполняемые функции, однако внутренняя структура не детализирована. Особенностью является то, что из такой модели можно синтезировать логическое описание проекта. Иными словами, система сама синтезирует внутреннюю микроархитектуру СБИС NoC в ЗС. Для этого предназначен специальный Compiler, который формирует список цепей в базе внутренней библиотеки элементов, при этом для описания этих элементов используется язык XML [3, 4].

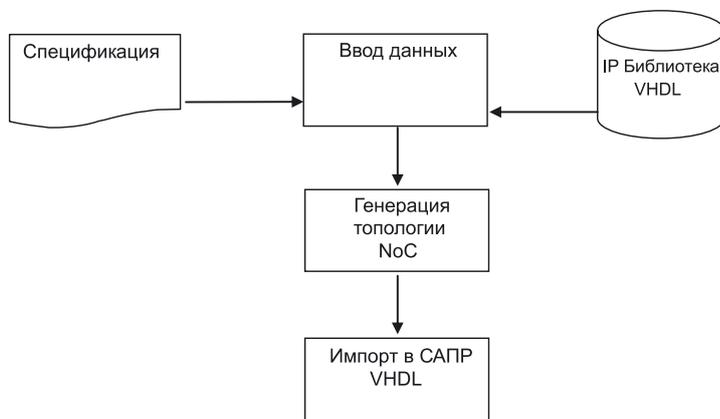


Рис. 2. Системный уровень

Технология логического синтеза на основе поведенческой RTL модели позволяет быстро получить ответ на вопрос, реализуема ли в принципе та или иная система и какие аппаратные ресурсы СБИС (число вентилях, площадь кристалла, энергопотребление, частотные характеристики и т.д.) для этого нужны. Причем синтезируемые XML структуры, если и превышают по числу вентилях разработанные вручную, то в среднем не более чем на 30% [4].

Отметим, что процесс разработки и верификации системных моделей существенно упрощают и ускоряют различные библиотеки системно-

## СРЕДСТВА И МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ

го и RTL-уровней. Для работы с ПЛИС предназначен стыкуемый с Compiler инструмент FPGA Compiler, который включает библиотеки других производителей (Altera, Xilinx, Actel, Atmel, Motorola, Intel, Lattice и т.д.).



Рис. 3. Уровень регистровых передач

По завершении логического синтеза необходимо провести верификацию проекта. Для анализа временных статических характеристик предназначен пакет Prime Time [3, 4]. Это также весьма распространенный на рынке продукт. Он позволяет получить адекватное представление о поведении схемы, проанализировать его в наилучшем и наихудших случаях, обнаружить скрытые ошибки. У этого продукта есть расширение – Prime Time SI, предназначенное для анализа топологии. Оно позволяет отслеживать взаимовлияние проводников.



Рис. 4. Уровень верификации

Уровень синтеза топологии предназначен для размещения, трассировки и оптимизации топологии. При размещении и трассировке учитывается влияние взаимных помех между отдельными проводниками и фрагментами схемы (например, можно запретить вводить длинные связи в одном слое, размещать рядом мощные буферные элементы и т.д.). Система позволяет учитывать влияние физических эффектов, проявляющихся при технологическом разрешении меньше. Предусмотрена и защита от так называемого антенного эффекта, возникающего на стадии производства, когда остаточный заряд

формирующегося проводника способен повредить уже подсоединенный к нему вентиль. Для борьбы с подобными явлениями предусмотрены определенные меры, например разбиение длинного проводника на несколько коротких и т.д.

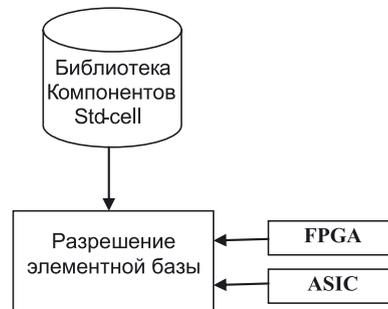


Рис. 5. Уровень синтеза топологии

На выходе получается готовая топология кристалла в формате. Однако ее надо проверить, прежде всего, на паразитные RC-параметры. Для экстракции RC-параметров из уже готовой топологии предназначен инструмент RCXT [3, 4]. Полученные с его помощью RC-характеристики реальной топологии можно проанализировать с помощью различных САПР.

Кроме анализа временных параметров проверяются соблюдения правил проектирования (DRC) и правильности электрической схемы (ERC), то есть правильность соединений, наличие несоединенных входов/выходов и т.п. Третья составляющая проверки топологии – восстановление из нее списка цепей и сравнение с исходным (LVS). Все эти проверки реализуются в системы.

### Литература

1. Галкин А.П., Тахаан Осама. Угрозы информационной безопасности и защита от них для телекоммуникационных сетей радиосистем // Проектирование и технология электронных средств, 2010. №2. С. 28-31.
2. Галкин А.П., Аль-Агбари Мохаммед, Аль-Муриш Мохаммед, Сулова Е.Г., Защита информации от несанкционированного доступа в системах обработки данных при физических экспериментах // Известия Института инженерной физики, 2008. №3(9). С. 2-4.
3. [http://catalog.onliner.by/zyxel/zybnbg334w\\_ee/](http://catalog.onliner.by/zyxel/zybnbg334w_ee/)
4. <http://nsk.terminal.ru/electronics/catalog/marshrutizatory/>
5. Галкин А.П. и др. Минимизация маршрутизаторов при обеспечении информационной защиты в сетях // Известия Института инженерной физики, 2013. №1(27). С. 2-4.

УДК 004.7.056

## АНОМАЛИИ ТРАФИКА В IP СЕТЯХ И ИХ ОБНАРУЖЕНИЕ

**Дмитрий Александрович Токарев**

заместитель начальника отдела  
УПМИ и СП Министерства обороны России  
Москва

**Сергей Валерьевич Погребан**

старший офицер отдела  
УПМИ и СП Министерства обороны России  
Москва

Обнаружение аномалий вычислительных процессов в распределенных автоматизированных системах на основе TCP/IP во многом определяет их безопасность. Данная технология дает возможность обнаруживать ранее неизвестные типы воздействий, влияющие на функциональные свойства автоматизированных систем. В настоящей статье кратко рассмотрены аномалии, методы обнаружения аномалий, их достоинства и недостатки. Рассмотрены различные методы прогнозирования временных рядов, используемые при обнаружении аномалий и предложен алгоритм прогнозирования на основе дискретного вейвлет-преобразования.

Information assurance in computer networks strongly depends on anomaly detection. This technology potentially able to find previously unknown types of attacks. This paper describes various anomalies, anomaly detection methods with concentration on smoothing of timing series. The paper presents new algorithm based on discrete wavelet transform and Holt-Winters forecasting.

**Ключевые слова:** аномалия, вычислительный процесс, трафик, безопасность, автоматизированная система, алгоритм прогнозирования, вейвлет-преобразование.

**Keywords:** anomaly, the computational process, traffic, security, automated system, prediction algorithm, wavelet transformation.

### 1. Аномалии и их обнаружение

Под аномалией понимается отклонение от нормы, от общей закономерности. Обнаружение аномалий – задача, встречающаяся во многих областях науки и техники. Примерами могут служить медицинские исследования, контроль функционирования критически важных промышленных систем, наблюдения за активностью противника в военной области.

Важное значение имеет обнаружение аномалий в приложениях информационной безопасности. Например, после снятия с карты крупной суммы денег можно ждать звонка из банка: сотрудники фиксируют аномалию в действиях клиента. Аномальный трафик, генерируемый узлом сети, может свидетельствовать о его заражении зловерным программным обеспечением.

Для обнаружения аномалий в общем случае необходимо тем или иным образом описать «нормальные» данные, создать модель, и всякие отклонения от нее считать аномальными. Однако при этом имеются существенные трудности [1]:

- сложность в определении того, что же является «нормальным», нечеткость границы между нормальными и аномальными данными;

- маскирование своих действий злоумышленником с целью придать данным «нормальный» вид;

- развитие порождающих данные систем, которое приводит к тому, что понятие «нормальности» должно модифицироваться с течением времени;

- недоступность «нормальных» и/или аномальных данных для обучения классификаторов;

- зашумленность исследуемых данных.

В силу вышеприведенных трудностей методы обнаружения аномалий должны учитывать природу и физический смысл обрабатываемых данных. Все методы обнаружения могут быть разделены на статистические, машинного обучения, теоретико-информационные, спектральные и методы «data mining».

Другая классификация методов обнаружения аномалий приведена в [2]. В данном учебном пособии методы обнаружения аномалий в трафике делятся на статистические (параметрические и непараметрические), методы кратномасштабного анализа (в том числе, вейвлет-пакетный и мультифрактальный анализ данных)

и интеллектуальные методы анализа («data mining», машины опорных векторов, нейронные сети, визуальные).

С точки зрения доступности «нормальных» и/или аномальных данных для обучения классификаторов методы обнаружения могут быть разделены на три класса:

- обученные – если доступен обучающий набор данных для обоих классов;
- полуобученные – если доступен обучающий набор данных только для одного из классов данных (обычно, для «нормального»);
- необученные – обучающего набора данных нет, аномальными считаются наборы данных, встречающиеся реже других.

Последний тип методов обнаружения наиболее часто встречается в модулях обнаружения аномалий трафика, которые обычно интегрируются в состав систем обнаружения/предотвращения вторжений (СОВ), DLP-системы, а также в межсетевые экраны.

### 2. Аномалии в компьютерных сетях и их обнаружение

Возможны различные подходы к классификации аномалий в компьютерных сетях. Например, можно выделить следующие классы аномалий:

1. Аномалии, обнаруживаемые DLP-системами, связанные с необычным поведением пользователей. Сюда относятся, например, альфа-аномалии (кратковременное резкое увеличение объема трафика между двумя IP адресами сети), передача пользователями запрещенного контента (например, криптограммы в теле письма) и т.п. Часть аномалий из этого ряда определяется по критерию нарушения некоторого правила, другая часть – по критерию нарушения некоторых статистик, рассчитанных на этапе обучения DLP-системы.

2. Аномалии, обнаруживаемые хостовыми СОВ. В этот класс относятся, например, аномалии, связанные со сканированием портов, резко возросшей нагрузкой на сайт.

3. Аномалии, обнаруживаемые сетевыми СОВ. В этот класс относятся, например, атаки, в том числе и распределенные, направленные на отказ в обслуживании (DoS и DDoS), распространение червей (вирусов) по сети.

4. Аномалии, обнаруживаемые устройствами сетевого мониторинга. В этот класс относятся различные аномалии, вызванные неполадками в сетевом оборудовании.

5. Сканирование портов обычно предпринимается злоумышленниками с целью выявления уязвимостей перед проведением атаки. Обнару-

живается эта аномалия по резко увеличившемуся трафику от одного IP адреса. Причем попытки обращения выполняются на определенный IP адрес по множеству портов. Если же сканированию подвергаются целые подсети, то в атакованной сети появляется множество пакетов с одного IP адреса сканера по множеству IP адресов исследуемой подсети.

Атаки DoS и DDoS приводят к перегрузке и недоступности информационных или сетевых ресурсов. Помимо «силовых» методов, заключающихся в массовых запросах на обслуживание, в этих атаках используются и ошибки в реализации стека протоколов TCP/IP.

Разновидности DoS атак, от которых необходимо защищаться [3]:

- Tcp flood – поток tcp пакетов;
- Tcp syn flood – поток tcp пакетов с флагом установки соединения;
- Udp flood – поток udp пакетов;
- Icmp unicast flood – поток icmp пакетов;
- Icmp broadcast flood (Smurf) – пакеты с поддельным адресом источника и широковещательным адресом назначения вызывают поток ответов на данный адрес источника;
- Ip packet fragmentation – поток фрагментированных пакетов.

Обнаружить эти атаки можно путем контроля аномалий трафика.

Аномалию, связанную с распространением червей, вирусов в сети можно обнаружить по увеличившемуся объему трафика при выраженном наличии источника эпидемии.

О неполадках в сетевом оборудовании можно судить по аномальному уменьшению трафика между отдельными сегментами сети.

Средства обнаружения аномалий являются сравнительно новым классом средств защиты информации: они появились на рынке в 2003 году и активно развиваются в настоящее время. Их можно разделить на методы обнаружений аномалий на основе модели потока данных и на основе модели системы. Достоинства и недостатки методов обнаружения аномалий по сравнению с методами поиска сигнатур приведены в таблице 1 [4].

Как видно из таблицы 1, наиболее привлекательными свойствами потенциально обладают методы обнаружения аномалий на основе модели системы. В качестве системы может рассматриваться сетевое взаимодействие служб web-сервера с клиентами, потоки сетевого трафика, проходящие через интерфейс маршрутизатора, запущенное под управлением определенной ОС приложение и др. Предполагается, что состояние системы, безопасность которой надле-

# СРЕДСТВА И МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ

Таблица 1  
Сравнение методов обнаружения вторжений

Характеристика	Поиск сигнатур	Обнаружение аномалий	
		Модель потока	Модель системы
Множество обнаруживаемых атак	Априорно задано, ограничивается известными моделями атак	вариативно, достаточно широко	вариативно, максимально широко
Вероятность ложного срабатывания	близка к нулю	высока	близка к нулю
Вероятность пропуска атаки	средняя	средняя	средняя
Требования к вычислительным ресурсам	средние	низкие	высокие

жит контролировать, характеризуется набором значений датчиков. Датчик может осуществлять контроль за доступом к некоторой области памяти, получением специально сформированной сетевой информации, принятием определенной переменной среды ОС заданного спектра значений и т.д. Комбинации состояний датчиков нумеруются, и состоянию защищаемой системы в каждый момент времени соответствует одна из таких комбинаций [5].

Методы обнаружения аномалий можно разделить также на пороговые и методы, основанные на профилях. В пороговых методах обычно выбирается два порога, верхний и нижний, и при выходе какого-либо параметра за эти пороги выносится суждение о наличии аномалии. В методах обнаружения, основанных на профилях, выполняется самообучение классификатора по мере поступления входных данных, строится модель, а при дальнейшей работе оценивается невязка измеряемых параметров по отношению к этой модели. Одной из основных проблем, связанных с построением модели по эмпирическим данным, является проблема экстраполяции получаемых временных рядов. Текущие значения сравниваются с предсказанными значениями, и если разность превышает некоторый порог, то выносится решение об аномалии.

Рассмотрим, как решается задача прогнозирования при обнаружении аномалий. При этом будем рассматривать магистральный трафик компьютерной сети, при анализе которого обращается внимание не на содержимое отдельных пакетов данных, а на некоторые глобальные характеристики. Эти характеристики (например, количество пакетов в единицу времени), являясь псевдослучайными, имеют ярко

выраженные периодические составляющие. Это позволяет говорить о том, что в статистическом смысле трафик имеет сходные характеристики для различных участков (например, для различных дней и различных ночей). Более того, известно, что трафик обладает свойством мультифрактальности, то есть статистические характеристики трафика, рассмотренные на различных масштабах, сохраняются. Это позволяет эффективно применить для анализа трафика, как будет показано далее, вейвлет-функции, являющиеся собственными базисами мультифрактальных пространств.

### 3. Прогнозирование временных рядов, образованных значениями сетевых параметров

Для прогнозирования временных рядов в методах обнаружения аномалий наибольшее развитие получили метод экспоненциального сглаживания и метод Хольта-Винтерса [3]. При экспоненциальном сглаживании последующее значение предсказывается на основе текущего значения и текущего предсказания:

$$Y_{t+1} = \alpha Y_t + (1 - \alpha)u_t, \quad (1)$$

где  $0 < \alpha < 1$  – параметр модели.

Экспоненциальное сглаживание называется потому, что в предсказание последующего значения наибольший вклад вносит текущее значение, а значимость предыдущих значений – уменьшается экспоненциально.

Основным недостатком этого метода представляется отсутствие гибкости. Например, при его использовании невозможно учесть сезонные колебания значений трафика.

Этого недостатка лишен метод Хольта-Вин-

терса. В нем наблюдаемый временной ряд делится на три составляющие (уровень, тренд и сезонный фактор):

$$\hat{y}_{t+1} = a_t + b_t + c_{t+1-m} \quad (2)$$

Здесь уровень, тренд и сезонный фактор находятся, соответственно как:

$$\begin{aligned} a_t &= k*(y_t - c_{t-m}) + (1-k)*(a_{t-1} + b_{t-1}), \\ b_t &= q*(a_t - a_{t-1}) + (1-q)*b_{t-1}, \\ c_t &= r*(y_t - a_t) + (1-r)*c_{t-1}, \end{aligned} \quad (3)$$

где  $k, q, r$  – параметры метода. Чем больше их значения, тем больше будет адаптация к недавним изменениям, чем меньше, тем больший вес будут иметь давно прошедшие значения. Параметр  $m$  есть параметр сезонных колебаний.

#### 4. Алгоритм предсказания временных рядов на основе вейвлет-преобразования

Для количественного прогноза параметров трафика необходимо сформировать модель динамической системы. В терминах нелинейной динамики задача формирования математической модели известна как задача реконструкции динамической системы. Проблема реконструкции динамических систем относится к классу обратных задач, а такие задачи, как правило, не имеют однозначного решения [5].

Поэтому проблема прогнозирования временных рядов также не имеет однозначного решения. Это означает, что при известных ошибках измерения исходных показателей, определить однозначно ошибку прогноза невозможно.

Главный фактор любой компьютерной сети – ее эволюция во времени. Тем самым, частота сезонных колебаний также зависит от времени. Поэтому, применение стандартных приемов при прогнозировании временных рядов часто не дают искомого адекватных результатов из-за постоянно растущей ошибки прогноза ( $\epsilon_t$ ) при увеличении либо генеральной совокупности ( $N \rightarrow \infty$ ) либо периода прогноза. Таким образом, перед тем как применять стандартные методы прогнозирования, необходима обработка значения исходного временного ряда для того, чтобы «фиксировать» возникающие периодические изменения со временем характеристик составляющего ряда. Представляется перспективным использовать для этих целей дискретное вейвлет-преобразование (ДВП) [7]. Коэффициенты ДВП различного уровня разложения содержат информацию об определенных составляющих временного ряда и изменении характеристик этих составляющих. Далее, по каждому уровню делается прогноз. Затем выполняется обратное ДВП и, таким образом, получается прогноз будущих значений исходного временного ряда.

Рассмотрим некоторые свойства и основные определения ДВП. Пусть  $C = \{c_n\}$  и  $D = \{d_n\}$  – масштабный и вейвлет фильтры (низкочастотный и высокочастотный). При действии фильтра  $C$  на последовательность

$$x = \{\dots, x_{-1}, x_0, x_1, \dots\}$$

получается последовательность с элементами

$$(Cx)_n = \sum_k c_{k-n} x_k.$$

После децимации в два раза (то есть отбрасывания каждого второго отсчета) получается низкочастотная аппроксимация исходной последовательности  $\beta^0$ . Аналогичная последовательность на выходе фильтра  $D$ , прореженная в два раза, называется вейвлет-коэффициентами первого уровня разложения. Далее процесс фильтрации повторяется с теми же фильтрами, но по отношению к низкочастотной аппроксимации (масштабным коэффициентам). В результате получают вейвлет-коэффициенты различных уровней  $\alpha^j$ . В конечном счете исходный сигнал представляется конкатенацией вейвлет-коэффициентов  $J$  уровней разложения и масштабных коэффициентов последнего уровня разложения:  $\beta^{J-1}, \alpha^{J-1}, \dots, \alpha^0$ . Квадрат вейвлет коэффициента  $\alpha_n^j$  характеризует сколько энергии временного ряда приходится на отрезок частот

$$\Delta f_j = \left[ \frac{f_s}{2^{J-j-1}}; \frac{f_s}{2^{J-j}} \right]$$

в момент времени  $t \approx n \cdot t_s$ , а квадрат масштабного коэффициента  $\beta_n^j$  характеризует, сколько энергии временного ряда приходится на отрезок частот

$$\left[ 0; \frac{f_s}{2^{J-j+1}} \right] \text{ в момент времени } t \approx n \cdot t_s.$$

Временной ряд  $y$  можно воссоздать по векторам коэффициентов  $\beta^{J-1}, \alpha^{J-1}, \dots, \alpha^0$  при помощи обратного SDWT. Как раз векторы  $\beta^{J-1}, \alpha^{J-1}, \dots, \alpha^0$  и являются теми компонентами, которые могут быть использованы для построения прогноза.

Процесс прогнозирования временного ряда состоит из нескольких этапов:

1. Вычисляем ДВП ряда  $y$  для целого  $J: J \geq 1$ . Далее ряд делится на отдельные отрезки:

$$J_1 = [0; j_1], J_2 = [j_1; j_2], \dots, J_l = [j_{l-1}; J].$$

2. Векторы коэффициентов  $\beta^0$  и  $\alpha^j$  при  $j \in J_1$  содержат информацию о тренде низкочастотных колебаниях временного ряда. Прогнозируем данный ряд с помощью рассмотренного ранее метода Хольта-Винтерса.

3. Векторы коэффициентов  $\alpha^j$  при  $j \in J_2$  содержат информацию о сезонных колебаниях временного ряда, поэтому прогнозируем ряды с помощью тригонометрической регрессии.

4. Векторы коэффициентов  $\alpha^j$  при  $j \in J_3$  со-

держат информацию о шумовой составляющей временного ряда, поэтому прогнозируем данный ряд коэффициентов на основе гауссовского распределения.

5. Собираем вместе все векторы коэффициентов  $\beta^{-1}, \alpha^{-1}, \dots, \alpha^0$ . Подсчитываем обратное ДВП, и полученный временной ряд является искомым прогнозным значением.

Данный алгоритм был реализован как скрипт на языке Python для программной среды с открытым исходным кодом RRDTool [8], являющейся де-факто промышленным стандартом для сбора сетевой информации и графического анализа временных рядов. Обработка имеющихся в программном пакете экспериментальных данных показала высокую эффективность алгоритма для прогнозирования временных рядов.

### Литература

1. Chandola V., Banerjee A., Kumar V. Anomaly Detection: A Survey // ACM Computing Surveys, Vol.41, №3, Article 15, July 2009.

2. Шелухин О.И., Сакалема Д.Ж., Филинова А.С. Обнаружение вторжений в компьютерные сети. М.: Горячая линия-Телеком, 2013. 220 с.

3. Афонцев Э.В. Разработка методики выявления аномалий трафика в магистральных интернет-каналах. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Екатеринбург: ГОУ ВПО «УГТУ-УПИ», 2007. 171 с.

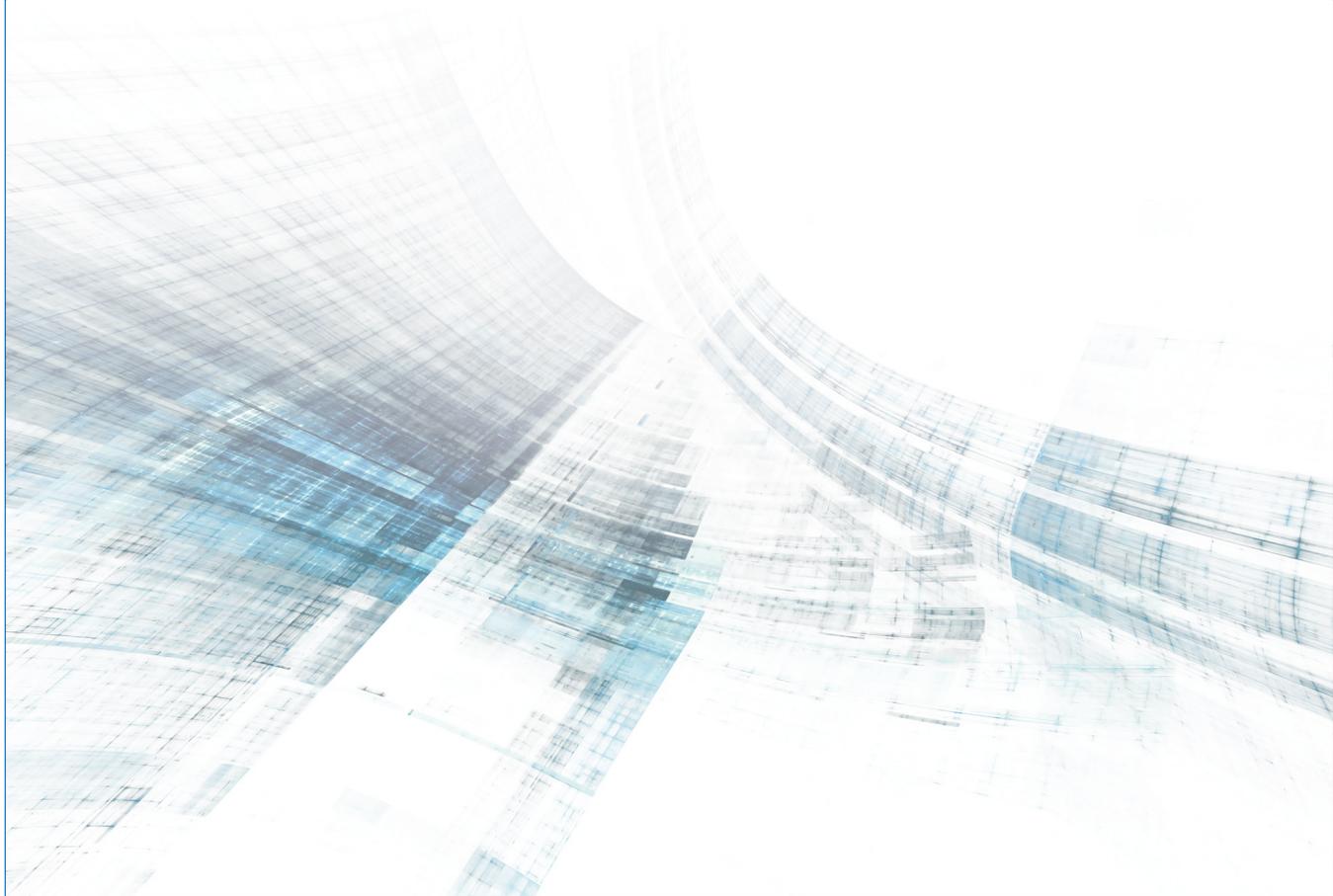
4. Беляев А., Петренко С. Системы обнаружения аномалий: новые идеи в защите информации / Экспресс-Электроника, 2004. №2.

5. Баранов П.А. Обнаружение аномалий на основе анализа однородности параметров компьютерных систем. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. СПб: ГОУ ВПО «СПГПУ», 2007. 155 с.

6. Арутюнов А.А. Применение некоторых аналитических методов в анализе и прогнозах макроэкономических временных рядов // Сборник VIII Всероссийского школы-семинара молодых ученых «Управление большими системами». М.: ИПУ РАН, 2011. С. 144-154.

7. Грибунин В.Г., Токарев Д.А. Стенографический анализ изображений, представленных в оптимальном базисе вейвлет-пакетов // Известия Института инженерной физики, 2013. №3(29). С. 6-11.

8. <http://oss.oetiker.ch/rrdtool>



УДК 339.13

## ВЛИЯНИЕ ФАКТОРОВ НОВОЙ ЭКОНОМИКИ НА МАРКЕТИНГОВОЕ УПРАВЛЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫМ СЕРВИСОМ

Марина Викторовна Орлова

управляющий директор компании «Дизайн практика»  
старший преподаватель кафедры  
маркетинга услуг и бренд-менеджмента  
ФГБОУ ВПО «Государственный университет управления»  
Адрес: 109542, Москва, Рязанский пр-т, д. 99  
Тел.: +7(903)210-52-69  
E-mail: Rubinkaira35@mail.ru

Интеллект играет главенствующую роль в создании инноваций, модернизации производства, построении «экономики знаний». Сектор интеллектуальных бизнес-услуг (KIBS – knowledge-intensive business services) становится локомотивом управленческих и технологических инноваций для предприятий различных отраслей в условиях глобализации рынков и интернационализации бизнеса.

It is impossible to build «knowledge-based economy», create innovations without intelligence. KIBS (knowledge-intensive business services) sector is going to become the generator of management and technological innovations for different branches of economy in the conditions of market globalization and internationalization of business.

**Ключевые слова:** интеллектуальные бизнес услуги, креативность, клиентоориентированный подход, интеллектуально-сервисные проекты, креативная экономика, маркетинговое управление, конкурентные преимущества.

**Keywords:** : knowledge-intensive business services, creativity, client-oriented approach, knowledge-intensive projects, creative economy, marketing management, competitive advantages.

В настоящее время сектор интеллектуальных бизнес услуг (KIBS – knowledge-intensive business services) становится ключевым сектором экономики открытых инноваций. В условиях глобализации рынков и возникновения новых источников конкуренции ему отводится роль локомотива инновационного развития [4].

В развитых странах мира рынок интеллектуальных услуг оказывает значимое влияние, как на социально-экономическое положение, так и на происходящие внутри них инновационные процессы. В ЕС за период 2008-2012 гг. инновационная активность увеличилась на 1,6% [11]. По данным CIS-3 60% европейских фирм (78% совокупного ВВП) в 2008-2011 гг. проявляли инновационную активность, при этом на 13% инноваций KIBS фирм приходится всего 5% инноваций в производственной отрасли.

Масштаб четвертичного сектора в развитых странах за последние 5 лет варьировался в пределах 10-15% ВВП: в Японии – 8%, в странах Евросоюза – 11%, в США – 13%. В России объем сектора за этот же период ежегодно состав-

лял не более 4-5%. В 2011 г. объем рынка интеллектуальных услуг составил 3,9% ВВП РФ. Для сравнения в данном году доля оптовой и розничной торговли составила 16,2%, обрабатывающих производств – 13,6%, добычи полезных ископаемых – 9,1% ВВП. По своим масштабам сектор оказался соизмерим с финансовой деятельностью – 3,6% и сельским хозяйством – 3,4% ВВП [3].

Правительства европейских стран видят создание своих конкурентных преимуществ в превращении экономики в наукоемкую. Как следствие, это увеличивает спрос на интеллектуально-сервисные продукты. Это подтверждается благоприятными данными о занятости. В то время как общая занятость в странах ЕС ежегодно увеличивался на 1,4% в среднем, от 2002 г. до 2007 г., KIS занятость выросла на 3,8%.

В настоящее время, по данным Евроста, лидирующие позиции по количеству занятых в секторе занимают Скандинавские страны – 39,2% от общего количества занятых. Множество взаимосвязанных факторов могут объяс-

нить эту тенденцию [8]. Специальные знания потребуются для решения разнообразных проблем, связанных с участием в сегодняшней экономической деятельности, интенсивность знаний значительно возросла.

В то же время, области специальных знаний не стоят на месте. Этот факт способствует аутсорсингу интеллектуальноемких услуг, которые являются эффективным внешним поставщиком таких знаний. Все чаще фирмы привлекают внешних партнеров к участию в инновационных процессах. Этими партнерами являются не только KIBS-фирмы, но тенденции развития экономики открытых инноваций открывают широкие возможности именно им.

К ключевым факторам, влияющим на тренды в развитии маркетинговых технологий управления интеллектуальносервисным бизнесом, следует отнести:

■ **Информатизацию всех сфер жизни.** Внедрение информационных технологий характерно не только для производства, но и для непроеизводственной сферы: образования, здравоохранения, финансов, торговли и др. Дистанционное образование, электронные платежные системы, торговля через Интернет, консультации специалистов, находящиеся за тысячи километров от клиента, являются свидетельствами кардинальных преобразований непроеизводственной сферы под воздействием информационных технологий. В связи с этим меняется и восприятие клиентом бизнеса партнеров, и подчас излишняя «компьютеризация», к которой так стремятся современные компании, обезличивает коммуникации, делает их непригодными для влияния на потребителя и создания в его сознании положительного образа.

■ **Изменения в инновационной активности.** Необходимость непрерывного инновационного развития ведет к возрастанию требований к новому типу знаний в области новых технологий, что неизменно приведет к аутсорсингу интеллектуальных бизнес услуг со стороны клиентов. Возрастают требования и к специализированным знаниям в области информационных технологий, социологии, управления. Компании все чаще приходят к необходимости понимания потребительских ожиданий и промышленных рынков, возможностей регулирования процессов в этих областях.

В центре внимания новой модели роста экономики ЕС, изложенной в «Стратегии Европейского Развития до 2020 г.», развитие инновационных услуг является особо значимым [10]. В связи с этим был предпринят ряд мер направленных на поддержку инноваций в этой сфе-

ре. Например, Проект EPISIS (European policies and instruments to support service innovation) Европейская политика и инструменты поддержки инновационных услуг) направлен на содействие международному сотрудничеству между политиками и инновационными агентствами в области инновационных услуг. С 2006 г. Проект «Europe INNOVA» является лабораторией для разработки, тестирования и продвижения новых средств и инструментов поддержки инноваций. Таким образом, он служит в качестве общеевропейской платформы для инновационной сферы, что позволяет обсуждать, разрабатывать, тестировать и обмениваться «лучшими практиками» при поддержке инновационных малых и средних предприятий, вносить свой вклад в лучшее понимание инновационных моделей в разных секторах. На втором этапе, 2009-2012, Проект был сосредоточен на трех европейских инновационных платформах (European Innovation Platforms (IPs): решение вопросов, связанных с наукоемкими услугами (KIS), сотрудничество в кластерах, эко-инновации.

Основными факторами опережающего инновационного роста российских предприятий являются, прежде всего, «эффект роста» традиционных отраслей, приводящий к изменению бизнес-среды и порождающий спрос на интеллектуальные услуги для ее «освоения»; возникновение у предприятий традиционных отраслей дополнительных финансовых ресурсов лежит в основе роста платежеспособного спроса на интеллектуальные услуги.

Сектор интеллектуальных бизнес-услуг по доле инновационных продуктов кратно опережает производственную сферу. Так, например, по данным опроса НИУ-ВШЭ и «Ромир» удельный вес инновационных товаров и услуг в объеме продаж компаний интеллектуального рынка составляет 20% в сравнении с компаниями обрабатывающего сектора, где удельный вес 10% [1].

■ **Изменения на рынках труда.** Цифры, которые приводят эксперты, характеризуют ситуацию на российском рынке труда, удручают. Количество выпускников школ год от года снижается. В 2012-м их было около 700 тыс. человек, в то время как в 2006-м – 1,3 млн. Численность студентов вузов и средних специальных учебных заведений в ближайшей перспективе будет уменьшаться примерно на 1 млн человек в год. Уже в 2013-м их всего 4,2 млн, что на 40% с лишним меньше, чем в 2009-м, когда в стране насчитывалось 7,2 млн студентов. В целом в России дефицит трудовых ресурсов составляет 1,031 млн человек, а в 2016-м, для сравнения, эта цифра вырастет до 1,194 млн.

Нельзя не принимать во внимание объективные процессы, происходящие в мире и оказывающие влияние, в том числе на рынок труда. Это глобальная миграция, возрастающее влияние интернета, превращение в основной трудовой ресурс взрослеющего поколения с его принципиально другими ценностными установками. Острый дефицит профессиональных сотрудников наблюдается не только в некоторых отраслях, но и в отдельных функциональных сферах. Это инженерные специальности, ИТ, бухгалтерия, закупки, продажи. На рынке также ощущается нехватка грамотных маркетологов.

Одной из главных характерных черт современного труда, является его интеллектуализация. В 1998 г. доля стоимости интеллектуального капитала в передовых американских компаниях, занятых в сфере высоких технологий, составляла 69%, на начало 2011 г. она превысила 80%. Примерно такой же рост показывают и остальные развитые страны. По оценкам исследователей, доля интеллектуального труда по сравнению с традиционным составляет более 60%. Это свидетельствует о том, что современная экономика, благодаря информатизации и быстрому распространению передовых технологий, действительно перешла в новое измерение, в котором главная роль отводится интеллекту человека.

Процесс интеллектуализации труда – онтогенетический процесс использования и формирования интеллектуально значимых возможностей и способностей. Он обусловлен появлением в трудовой деятельности большого количества задач с «размытой» структурой, требующих нестандартных инновационных подходов и решений в различных аспектах профессиональной деятельности. Это выдвигает на первый план интеллектуальные затраты (по производству знаний, информации), что приводит в результате к видоизменению функциональной структуры труда.

Острее встают вопросы, касающиеся рынков труда для сотрудников, занятых в интеллектуальных сферах деятельности. В условиях жесткой конкуренции российские предприятия поставлены перед необходимостью формирования новых конкурентных преимуществ. В числе последних особая роль отводится интеллектуальным ресурсам, которые рассматриваются как средства инновационного обеспечения конкурентоспособности российских предприятий.

■ **Поддержка креативных индустрий на государственном уровне.** В мире все активнее развивается новая концепция социального и экономического развития, выдвигающая культур-

ные ресурсы и творчество на первый план современной, постиндустриальной экономики. Этот инновационный сектор называют творческими, или креативными индустриями (creative industries). К творческим индустриям относят музыку, изобразительные искусства, кино, исполнительские искусства, галерейный бизнес, моду, ремесла, издательское дело, рекламу, дизайн, архитектуру, Интернет и компьютерные технологии, культурный туризм. Творческие индустрии соединяют бизнес-навыки и культурные практики, основой которых является творческая, интеллектуальная составляющая. Каноническое определение креативных индустрий, на которое опирается сегодня в большинстве исследований и специалистов по городскому развитию, было сформулировано Департаментом культуры, медиа и спорта Правительства Великобритании в 1998 году: «Креативные индустрии – это деятельность, в основе которой лежит индивидуальное творческое начало, навык или талант и которое несет в себе потенциал создания добавленной стоимости и рабочих мест путем производства и эксплуатации интеллектуальной собственности».

По данным ООН, секторы экономики, основанные на творчестве и креативности, к которым могут быть с уверенностью отнесены интеллектуальные услуги, обладают вдвое большей динамикой роста, чем традиционные секторы. Творческие ресурсы генерируют новую, исключительно ценную добавленную стоимость и становятся важнейшим фактором экономического роста и социального развития. Использование потенциала креативных индустрий в экономическом развитии становится сегодня необходимым условием развития.

Европейский Альянс Креативных Индустрий (European Creative Industries Alliance) основан в 2011 г. ЕСИА – это открытая платформа, объединяющая политиков и практиков бизнеса 28 партнерских организаций из 12 стран. Ее главная цель заключается в формировании сообщества в Европе, которое активно поддерживает творческие индустрии в качестве драйвера конкурентоспособности, создания рабочих мест и структурных изменений путем разработки и испытания более эффективных инструментов для творческих индустрий.

Сейчас в России остро стоит вопрос, как вписать творческие индустрии в экономический ландшафт страны и как их развитие в России может изменить подходы в сфере экономики.

Государственная политика Российской Федерации в области международного научно-технического сотрудничества является составной ча-

стью государственной научно-технической политики. Она призвана обеспечить соответствие международного научно-технического сотрудничества задачам развития и реформирования российской науки в условиях формирующейся рыночной экономики с учетом интересов национальной безопасности, внешнеполитического и внешнеэкономического курса страны.

В условиях глобализации и интеграции мировой экономики, широкого использования информационных технологий, формирования «экономики знаний», интернационализации исследований, разработок и наукоемкого производства, обострением глобальной конкуренции на мировых рынках инвестиций, наукоемких товаров и услуг изменяются традиционные формы и механизмы международного взаимодействия в сфере науки и технологий, а также роль государства в регулировании этих процессов. Намечается тесная взаимосвязь научно-технологической, внешней и торгово-экономической политики в сфере МНТС. Эти факторы определяют и долгосрочные стратегические цели государственной политики Российской Федерации в области МНТС, реализация которых призвана повысить уровень конкурентоспособности отечественной науки и технологий.

■ **Изменение роли дизайна в общественном сознании.** Изначально главная идея дизайна – создавать эстетичные продукты с лучшими качественными характеристиками, то есть дизайн – это, прежде всего, генерация новых технологий. Именно технология формирует облик продукта. Но сегодня такое прочтение дизайна непопулярно. С 1970-х годов американские компании стали понимать дизайн только как изменение внешних форм и использовать его для продвижения своих товаров на рынке. С тех пор дизайн превратился едва ли не в главный инструмент маркетинга. Задача дизайна – привлечь целевую аудиторию и подчеркнуть преимущества продукта. Если просто дизайн – это некая картинка, то промышленный дизайн – это творческий образ и орудие конкуренции, который приносит владельцам бизнеса реальные деньги. Интеллектуальная собственность на объекты, разработанные в рамках промышленного дизайна, может быть защищена патентом. Дизайн уже имеет и свою историю, которая пишется по шедеврам дизайнерской деятельности. Роль дизайна на Западе сегодня существенно меняется – аналитическая и исследовательская части набирают обороты, а технологичные вещи (рисование картинок, моделирование форм, создание прототипов, изготовление пресс-форм) уходят в Китай.

Рынок дизайна развивается вместе с экономикой. Промышленный дизайн может родиться без производства, но не может без него выжить. Несмотря на отсутствие рыночных отношений, дизайн в СССР существовал, но основной его чертой была оторванность от коммерции. Гуру мирового дизайна творят свои знаменитые вещи вдали от конкуренции и моды. Неудивительно, что и в советской безрыночной глуши, без капитализма и конкуренции, дизайнеры (их тогда называли художники-конструкторы) время от времени создавали достойные вещи. Примером могут служить здания в стиле конструктивизма, боевые вертолеты КБ «Камов» – знаменитые «Черная акула» и «Аллигатор», автомобиль «Победа», «командирские» часы [5].

В 60-е годы промдизайн стал делом государственным. При Торговой палате СССР организовали комнату лучших образцов современной западной продукции. Государственные заказы на разработку знаков заводов, упаковку и т.п. поступали либо в секцию промышленной графики при Союзе художников, либо в ВНИИТЭ – Всесоюзный научно-исследовательский институт технической эстетики. На заводах и фабриках создавались свои дизайнерские бюро (назывались они художественно-конструкторскими). В конце 1980-х – начале 1990-х дизайнерами в России считались люди, умеющие работать на компьютере – этот стереотип сломался не так давно. Первым в России примерно в 1992 году стал формироваться рынок графического дизайна: бизнесменам потребовались визитные карточки, а первым негосударственным предприятиям – архитектурный и интерьерный дизайн. Именно эти два сегмента рынка сейчас наиболее развиты в России. Сегмент же промышленного дизайна – самого денежного сегмента дизайнерского рынка во всех развитых странах – только начинает формироваться, заказы носят разовый характер. Лидерами же промышленного дизайна считаются Япония, Голландия и Франция.

Исследование Британского Совета по Дизайну показало, что 54% опрошенных компаний из разных отраслей экономики планируют использовать дизайн в качестве помощника в трудные экономические времена. Все большее число предприятий расценивает дизайн как важный компонент конкурентоспособности, и не считает, что на нем надо экономить в первую очередь. За последние три года количество компаний, которые определяют дизайн как «ключевой элемент бизнеса» выросло вдвое, с 15 до 30%.

Проект, в котором участвуют 1500 компаний, представляющих широкий спектр отраслей, зафиксировал рост статуса дизайна в глазах ме-

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ



**Рис. 1.** Концепция маркетингового управления интеллектуальным сервисом

неджеров и предпринимателей. 53% опрошенных сообщили, что за последние три года дизайн занял более значимую позицию в арсенале средств достижения планируемых бизнес-целей и задач. Столько же компаний согласилось с тем, что дизайн крайне важен для экономической конкурентоспособности всей страны.

По мнению главы Британского Совета по Дизайну Дэвида Кестера, «Рецессия – не время для того, чтобы затягивать пояса. Сейчас как раз тот момент, когда дизайн становится особенно важным для выживания, роста и успеха – хорошо, что все больше представителей бизнес-сообщества понимают это».

■ **Смещение внимания интеллектуальных услуг в сторону создания потребительских впечатлений.** В современных бизнес-моделях клиент становится центральным звеном стратегии, и главным вопросом становится вопрос «Какую новую ценность может фирма предложить своим клиентам, и каким образом она будет реализовываться клиентами?» Способность решать

проблемы клиентов всегда была отличительной чертой фирм KIBS. Однако, эта способность сначала привела к идее асимметрии знания, с огромным преимуществом профессионалов над клиентами [7].

Сегодня отношение к этой проблеме совершенно иное, клиенты все чаще и чаще становятся ядром процесса, в полной мере несут ответственность за определение специфики проблемы.

Реализация интеллектуально-сервисных проектов требует совместной работы. Поэтому большинство интеллектуальных услуг производится при непосредственном участии клиента [9]. Исследование, проведенное ИСИЭЗ ГУ ВШЭ совместно с Исследовательским холдингом Ромир Мониторинг, убедительно доказывает высокую степень кастомизации в производстве интеллектуальных услуг. Доля высококастомизированных услуг в среднем по сектору составляет 53%, а доля добавленной стоимости от использования интеллектуального капитала компании-поставщика услуги составляет при этом 77,2% [2].

В иерархии потребностей интеллектуальные услуги апеллируют к потребностям «высшего порядка». А именно, к потребностям принадлежать к группе, самоутверждения и самовыражения. У верхних уровней потребностей нет точки насыщения. Эти потребности характеризуются повышенной изменчивостью и рассеянностью возникающих предпочтений, что приводит к латентности спроса и к импульсивности потребительского поведения. Одним из главных интересов KIBS-фирм является привлечение более современных и эксклюзивных знаний во взаимоотношениях с их «инновационными партнерами» и добавление ценности долгосрочным отношениям.

Выстраивание системы взаимодействия с клиентом через создание впечатления неизбежно ведет к изменению самой практики предоставления интеллектуальной услуги.

В связи с этим непрерывные инновации и творчество становятся необходимым условием коммерческого успеха. Зачастую новый проект возникает без дорогостоящих и тщательных маркетинговых исследований. Их заменяют интуиция и опыт менеджера инновационного проекта. Исследования не приносят большой пользы еще и потому, что состояние «эмоционального потребительского счастья» с трудом поддается оцифровке и протоколированию. В связи с тем, что успех проектов в значительной степени зависит от креативного решения, именно интеллектуальные услуги накапливают передовой опыт в управлении талантами, в распределенной работе временных коллективов, проектных команд.

Наличие креативности команды, талантов и отсутствие «зацикленности» на долгосрочной стратегии позволяют создавать абсолютно новые краткосрочные потребности «с нуля».

Сегодня ясно одно – стремительное развитие должны получить клиентоориентированные системы управления бизнесом (рисунки 1).

Клиентоориентированным считается подход к развитию организации обеспечивающий повышение ее конкурентоспособности и рост доходности, подразумевающий мобилизацию всех ее ресурсов на выявление, вовлечение, привлечение клиентов и удержание наиболее прибыльных из них, за счет повышения качества обслуживания клиентов и удовлетворения их потребностей. Базовыми принципами такой компании должны быть: достаточная и сверхдостаточная информированность клиентов о компании и ее услугах, удобный и ориентированный на клиента сервис, комфортные условия обслуживания, квалифицированный персонал [6].

К клиентоориентированным стратегиям необходимо относить все бизнес-стратегии, которые базируются на понятии индивидуализации отношений с клиентами.

Рассматривая проекты как форму реализации инновационной деятельности KIBS-фирм, необходимо отметить, что именно они дают возможность определять и структурировать процессы взаимодействия, оценивать качественные изменения.

В интеллектуальносервисных проектах необходима интеграция в общесистемное развитие принципиально новых коммуникационных форм, основанных не только на технологических, но и на социальных и психологических факторах. Совершенствование методов маркетингового управления интеллектуальносервисными проектами предполагает использование методов когнитивного, эмотивного и профессионального взаимодействия участников проекта.

Все это послужит прочным фундаментом для создания концептуального подхода к формированию конкурентоспособности организации в интеллектуальном сервисе.

### Литература

1. Статистический сборник, М.: НИУ ВШЭ, 2011.
2. Дорошенко М.Е. Интеллектуальные услуги в России. // М.Е. Дорошенко (рук.) и др.; Гос. ун-т – Высш. шк. экономики. М.: Беловодье, 2010.
3. Кровяков А.А. Масштабы сектора интеллектуальных деловых услуг в российской экономике / 4(15)-я международная научная конференция «Роль финансово-кредитной системы в реализации приоритетных задач развития экономики» (Санкт-Петербург, 17-18 фев. 2011): сборник докладов / под ред. В.Е. Леонтьева, Н.П. Радковской. СПб.: Изд-во СПбГУЭФ, 2011. С. 318–319.
4. Орлова М., Челенков А. Интеллектуальный сервис: рыночная концепция KIBS // Маркетинг. 2011. №5.
5. Пресс М. Власть дизайнера: Ключ к сердцу потребителя. Майк Пресс, Рэйчел Купер.-Минск: Гревцов Паблишер, 2008.
6. Челенков А., Сони́на Т. Клиентоориентированный подход в маркетинге взаимоотношений // Маркетинг, 2012. №1. С. 115-125.
7. Bettencourt R., Ostrom A.L, Brown S.W., Roundtree R. Client co-production in knowledge-intensive business services. California Management Review 2002; n. 44: 100-128, p. 100-101.
8. Dachs, B. (2009): Sectoral Innovation Foresight: Knowledge-Intensive Services: Europe Innova InnovationWatch).
9. Den Hertog P. Co-produces of innovation: on the role of knowledge-intensive business services in innovation. 2002, Productivity, Innovation and Knowledge in services: New Economic and Socio-Economic Approaches, Cheltenham and Northampton: Edward Elgar.
10. European Commission (2010a): An Integrated Industrial Policy for the Globalisation Era Putting Competitiveness and Sustainability at the Centre Stage. Brussels.
11. Hollanders H., Es-Sadki N., Maastricht Economic and Social Research Institute on Innovation and Technology UNU-MERIT. Innovation Union 14 Scoreboard 2013 [http://ec.europa.eu/enterprise/policies/innovation/files/ius-2013\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/enterprise/policies/innovation/files/ius-2013_en.pdf)
12. Орлова М.В. Когнитивизм в управлении интеллектуальным сервисом. // Маркетинг, 2013. № 5.

## СХЕМОТЕХНИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ УПРАВЛЯЮЩЕГО АВТОМАТА

### Александр Петрович Мартынов

доктор технических наук, профессор  
начальник отдела  
ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»  
Адрес: 607181, Нижегородская обл.,  
г. Саров, пр-т Мира, д. 37  
Тел.: +7(3130)2-94-94

### Вадим Владимирович Писецкий

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

### Сергей Николаевич Гончаров

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

### Вячеслав Анатольевич Никитин

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

### Виталий Николаевич Темненко

начальник 8 отдела 8 Управления  
ГШ ВС РФ

В статье рассматриваются способы схемотехнического синтеза управляющих автоматов. Авторы предлагают простую методику синтеза автомата по его графу состояний, хранящемуся в микросхеме ПЗУ.

The ways of circuit synthesis of the controlling automaton are considered in the article. The authors propose simple procedure to synthesize of the automaton based on its condition graph, held in ROM microchip.

**Ключевые слова:** управляющий автомат, сигнал, схема, связь, граф.

**Keywords:** controlling automaton, signal, scheme, connection, graph.

Очень часто перед разработчиком устройств управления и интеллектуальных датчиков возникает проблема создания блока управления. Блок должен быть достаточно простым – не сложнее объекта управления, иначе теряется смысл разработки. Чаще всего такой блок строят на базе младших семейств микроконтроллеров, запрограммировав функцию управления, что вполне оправдано по соотношению функционал-стоимость. Однако такое решение требует от разработчика профессионального умения программировать микроконтроллеры и, что еще более важно, корректно верифицировать программы.

В то же время подобный управляющий автомат может быть сделан и на жесткой логике, что в ряде случаев существенно снижает трудоемкость изготовления макета и отладки устройства. Частично эта проблема была затронута в [1].

### Синтез аппаратной компоненты

Как известно из [2, 3], функциональная схема автомата Мура может быть представлена в виде, показанном на рисунке 1.



Рис. 1. Функциональная схема автомата Мура

С точки зрения схемотехники и выполняемой функции элементы этой схемы могут быть реализованы в виде трех блоков:

■ блок  $\delta$  – блок логики, вычисляющий на основании номера текущего состояния  $s(t)$  и текущей комбинации входных сигналов  $x(t)$  номер следующего состояния  $s(t+1)$ ;

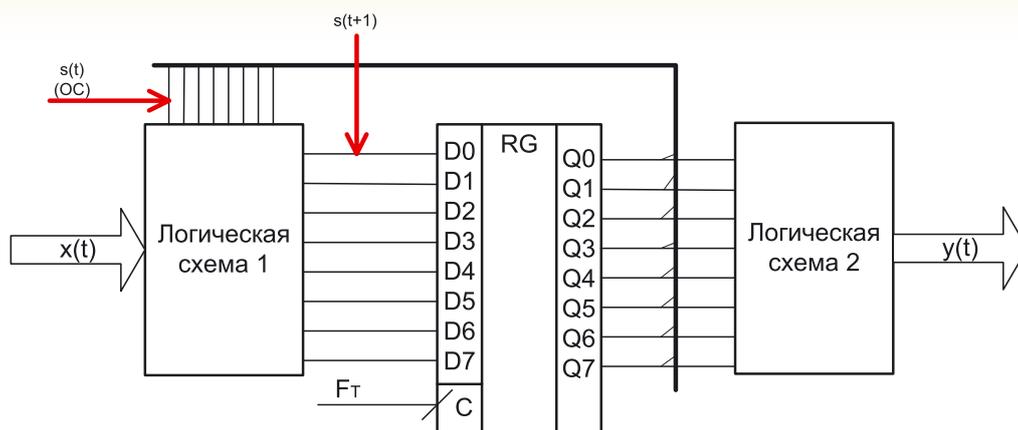


Рис. 2. Преобразованная схема автомата

■ блок «Память», хранящий в себе номер текущего состояния, однозначно реализуется с помощью параллельного регистра, однако следует учесть, что выбирать следует регистр, построенный на базе двухтактных триггеров, поскольку сквозное прохождение сигнала недопустимо;

■ блок  $\mu$  – блок логики, вычисляющий выходные сигналы на основании номера текущего состояния  $s(t)$ .

С точки зрения схемотехники функциональную схему, показанную на рисунке 1, можно преобразовать в другую, показанную на рисунке 2.

В схеме автомата, показанной на рисунке 2, регистр выполняет, в первую очередь, функцию элемента памяти синтезируемого автомата, хранящего номер текущего состояния. Блок «Логическая схема 1» является схемотехническим эквивалентом графа автомата, выполняющего вычисление номера следующего состояния на ос-

нове номера текущего состояния и актуальной комбинации входных переменных. Блок «Логическая схема 2» синтезирует комбинацию выходных переменных на основании номера текущего состояния, что специфично для автомата Мура.

В случае если синтезируемый автомат должен быть автоматом Мили, схема, показанная на рисунке 2, может быть несущественно модифицирована, например, как показано на рисунке 3.

Следует отметить, что регистр, показанный на рисунках 2 и 3, должен состоять из MS-триггеров. Применение в этих схемах регистров, базирующихся на одноктактных триггерах, приводит к последствиям, аналогичным запрещенному состоянию у RS-триггера при подаче активного уровня сигнала на оба входа одновременно.

Поскольку выход блока логики 1 строго синхронен по выходу (благодаря регистру), то этот

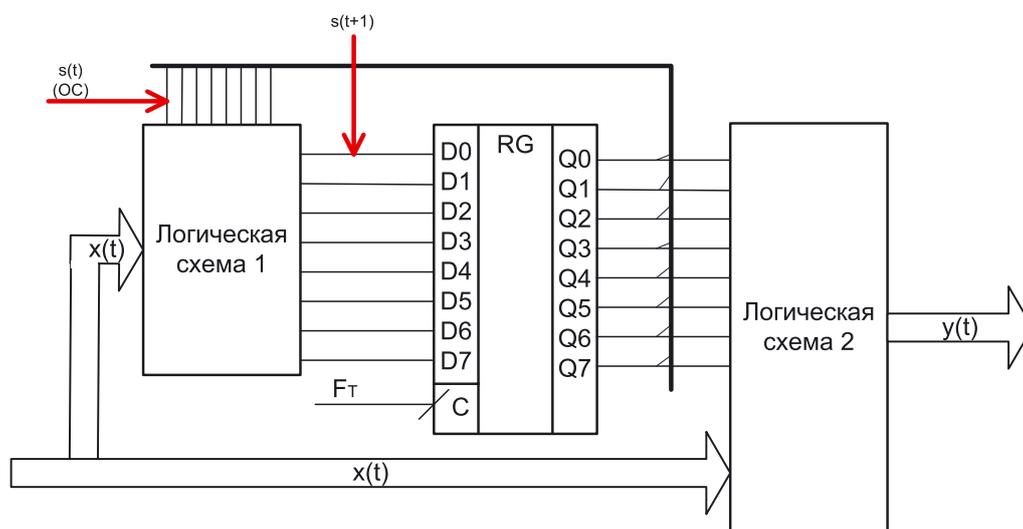


Рис. 3. Преобразованная схема, реализующая автомат Мили

# АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

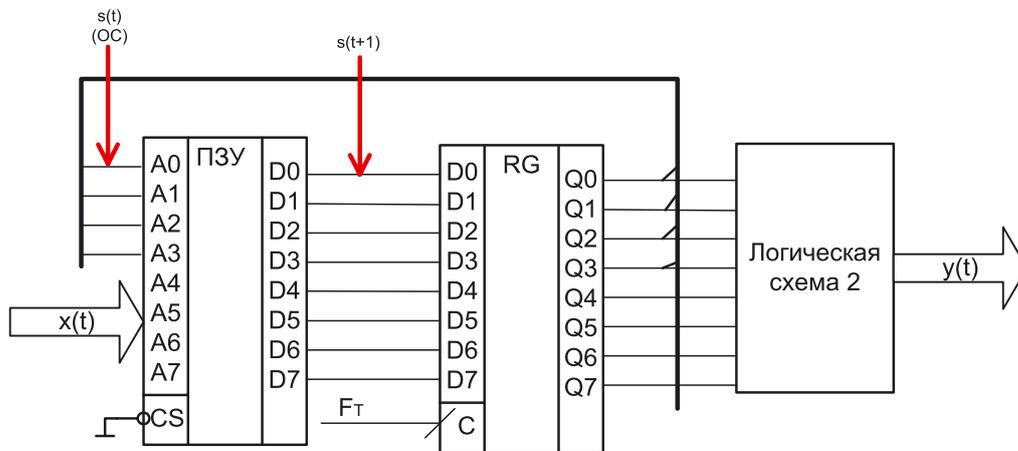


Рис. 4. Схема автомата Мура с таблицей в ПЗУ

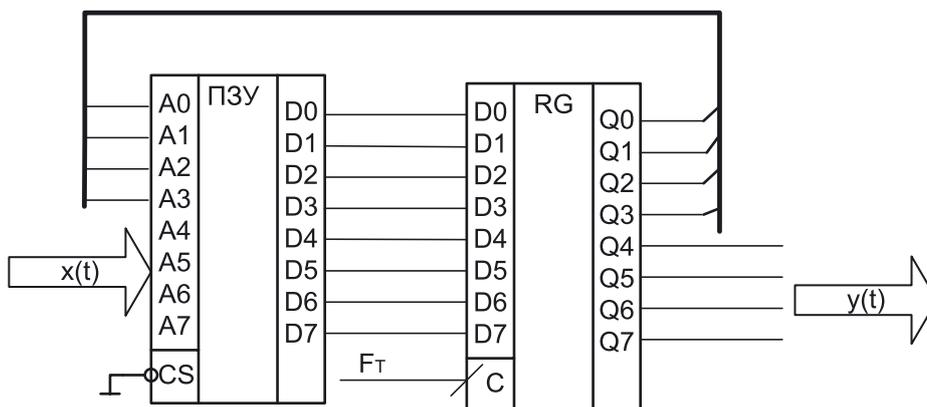


Рис. 5. Схема автомата Мура с небольшим количеством состояний и выходов

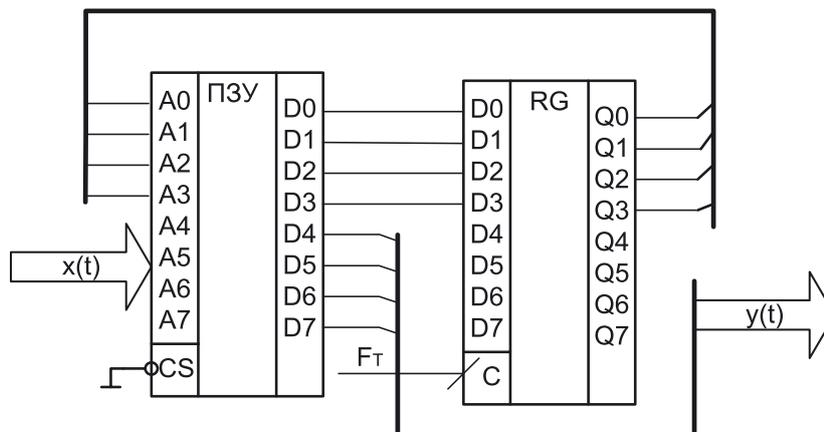


Рис. 6. Схема автомата Мили с небольшим количеством состояний и выходов

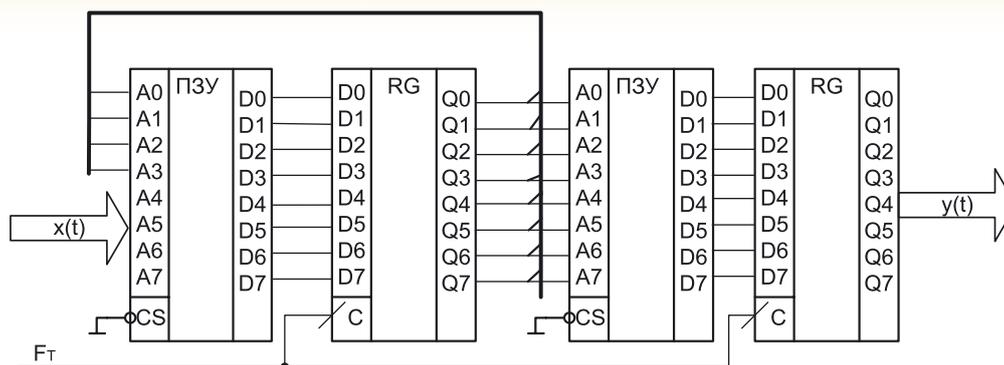


Рис. 7. Схема автомата Мура до 256 состояний и 8 выходов

блок логики может быть заменен на микросхему ПЗУ, в которую занесена таблица истинности логического блока 1. Результат замены показан на рисунке 4.

К сожалению, так же поступить с логической схемой 2 не позволяет отсутствие регистра на ее выходе. Однако в наиболее часто встречающемся случае количество состояний автомата не превосходит 16, а выходных сигналов требуется не более 4. В этом случае логическую схему 2 можно переместить в то же ПЗУ, что и автомат, воспользовавшись для синхронности выходным регистром автомата. То, что получается в таком случае, можно увидеть на рисунке 5.

Для автомата Мили в этом случае получится схема, показанная на рисунке 6.

В случае если такие ограничения являются недопустимыми, на рисунке 7 показана схема автомата Мура, имеющего до 256 состояний и 8 выходов. Количество выходов можно еще увеличить, добавив каскадно дополнительные пары ПЗУ и регистров. Количество же состояний – 256 является предельным для данного метода схемотехнической реализации.

Для автомата Мили, отсутствует требование синхронности выходов. В этом случае для более сложного автомата Мили получится схема, показанная на рисунке 8.

Итоговая схема, полученная в результате синтеза, должна быть согласована в соответствии с правилами схемотехники [4].

### Синтез таблицы прошивки ПЗУ

Граф состояния автомата должен быть предварительно оптимизирован.

Для составления таблицы прошивки ПЗУ удобнее всего использовать таблицу, пример которой показан на рисунке 10. В нее из графа заносятся все состояния по следующим правилам:

- поля, соответствующие входным сигналам, заносятся все возможные значения; во избежание ошибок удобнее всего воспользоваться двоичным кодом;
- поля  $s(t)$ , в количестве равном всем возможным значениям входных сигналов, заполняются номером описываемого состояния;
- в каждое поле  $s(t+1)$  заносится номер следующего состояния – в соответствии с графом,

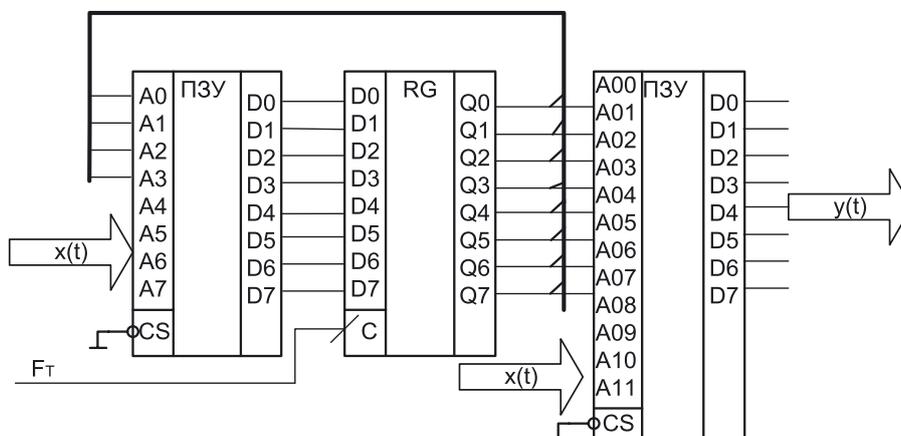


Рис. 8. Схема автомата Мили до 256 состояний и 8 выходов

# АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

для каждой комбинации входных сигналов; в случае, если данная комбинация невозможна физически, строка может быть исключена из таблицы;

■ в поля, соответствующие выходным сигналам, записывается комбинация выходных сигналов, соответствующая содержанию поля  $s(t+1)$  данной строки и графу.

После того, как все состояния, указанные в графе, занесены в таблицу, ее целесообразно отсортировать по адресам (поля, соответствующие входным сигналам в соответствии с разрядами адреса ПЗУ), и трактуя содержимое выходных полей, как двоичные числа, получить таблицу прошивки ПЗУ.

На *рисунке 10* показан пример заполнения такой таблицы для фрагмента графа, показанного на *рисунке 9*.

Из примера видно, что для того, чтобы закодировать состояние №12, необходимо в ячейки ПЗУ, лежащие по адресам 0С, 1С, 2С, 3С, 4С и 6С, занести число 0С, в ячейку 5С – число 5D, а в ячейку 7С – число 3E (адреса и значения даны в шестнадцатеричном виде).

## Синтез системы синхронизации

Прежде, чем дальше доводить функциональную схему автомата Мура до схемного решения, целесообразно обсудить проблему выбора тактовой частоты автомата ФТ. Самый простой случай – когда эта частота жестко задана в техническом задании (ТЗ). Однако гораздо чаще ее вынуж-

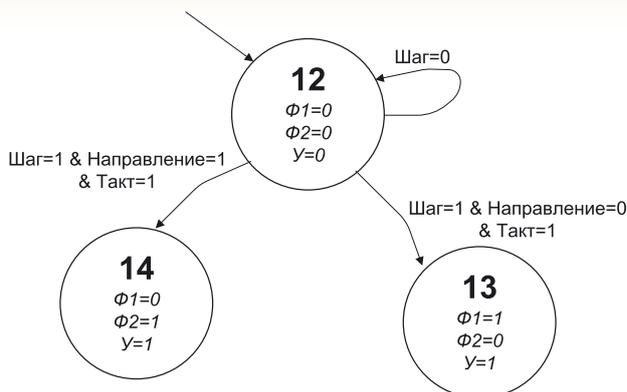


Рис. 9. Пример фрагмента графа

ден выбирать сам разработчик. Для корректного выбора необходимо сформулировать критерии ограничения этой частоты сверху и снизу.

### Ограничение снизу

Автомат способен реагировать на изменение входных сигналов только в том случае, если сигнал длится более одного периода тактовой частоты (см. *рисунок 11*). Однако этот эффект можно использовать для фильтрации неинформативных изменений входного сигнала, например, для подавления дребезга.

### Ограничение сверху

В реальном автомате, так или иначе, оказываются несколько циклов ожидания. Например, если в ТЗ задано «...выдать сигнал 1, выдержать время предустановки, выдать сигнал 2, выдер-

A7	A6	A5	A4	A3	A2	A1	A0	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7
Не используется	Такт	Направление	Шаг	Обратная связь $s(t)$				Следующее состояние $s(t+1)$				$\Phi 1$	$\Phi 2$	Уровень	Не используется
~															
0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
0	1	0	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	0	1	0
0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	1	1	0
~															

Рис. 10. Пример заполнения таблицы для состояния №12 (см. рисунок 9)

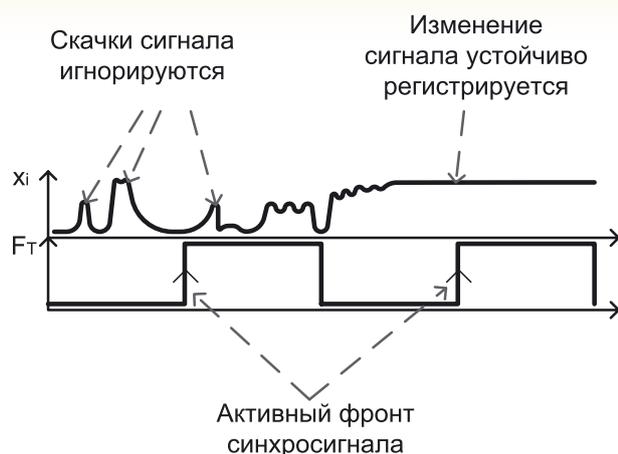


Рис. 11. Регистрация автоматом сигналов различной длительности

жать время записи, снять сигнал 2, выдержать время удержания и снять сигнал 1...», то задержки организуются введением в граф дополнительных вершин (вершины N+1, N+2, N+4, N+5 на рисунке 12), задача которых – выдержка паузы в один такт. **Излишне высокая частота** увеличивает количество таких вершин и, как следствие, количество требуемых битов обратной связи.

Для оптимизации схемы и алгоритма в этом случае можно использовать переменную частоту тактирования, как показано на рисунке 13.

В показанном примере среди выходных сигналов в каждом состоянии должна содержаться информация о выбранной частоте тактирования автомата: сигналы F1 и F2 в примере задают одну из заранее определенных частот –  $F_{T1}$ .. $F_{T4}$ . Такой подход представляется авторам слишком сложным и, чаще всего, неоправданным. Гораз-

до чаще автомату приходится обрабатывать одинаковые задержки (или слишком мало отличающиеся). В таком случае гораздо эффективнее использовать одновибраторы, как показано на рисунке 14.

Добавленный в схему одновибратор G1 (в примере использовано УГО микросхемы К555АГ3 [4]) запускается выходным сигналом автомата F1. Его выходной импульс подается на вход автомата Г1. Длительность этого импульса определяется цепочкой R1C1. Это решение удобно для обработки автоматом интервала, существенно большего, чем период тактовой частоты  $F_T$ . В граф при использовании одновибратора должны быть внесены изменения, приводящие к запуску одновибратора и ожидающие окончания его импульса. Например, цикл ожидания (рисунок 12) приобретет в этом случае вид, показанный на рисунке 15.

В приведенном примере одновибратор запускается в состояниях N и N+4, а в состояниях N+1 и N+5 автомат ожидает окончания импульса. Интересная ситуация возникает, когда требуется максимально быстрая реакция автомата на изменение входных сигналов при априорной неопределенности их поведения. Например, следует выполнить со скоростью в сотни наносекунд ряд действий по приходу комбинации сигналов, притом, что время повторения этой комбинации варьируется от единиц миллисекунд до единиц часов. В этом случае рекомендуется выделить из входных сигналов ключевые, изменение которых порождает событие, а затем воспользоваться схемой, показанной на рисунке 16. Тактовая частота такого автомата будет переменной, но, как правило, в подобных ситуациях это не критично.

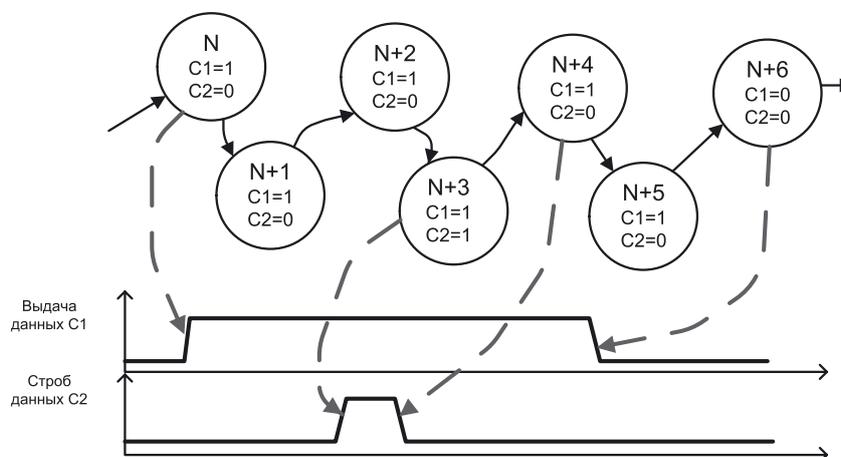


Рис. 12. Пример цикла с ожиданиями

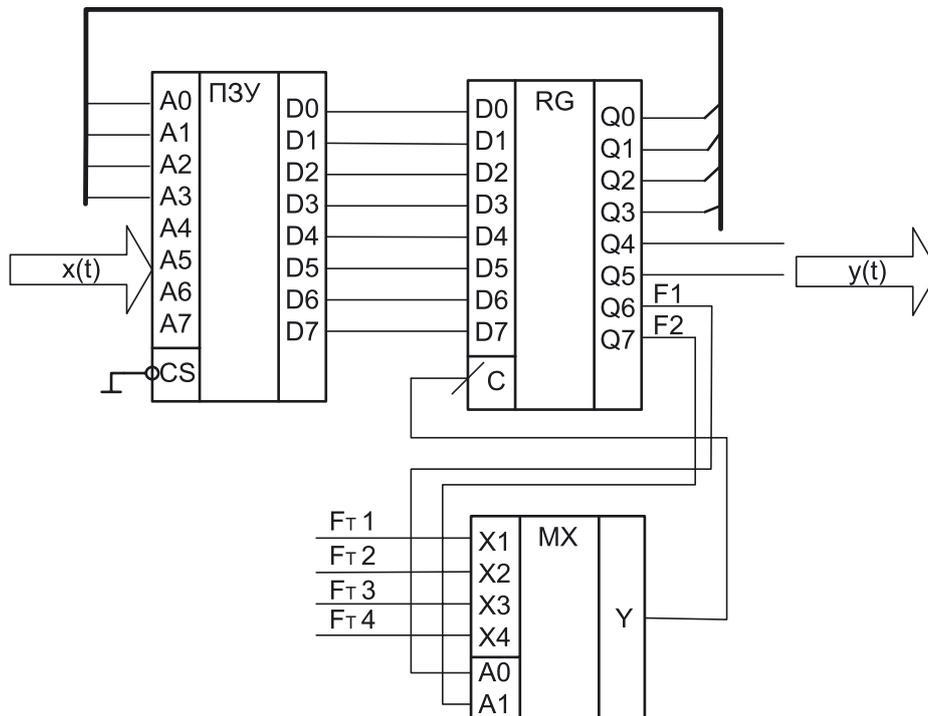


Рис. 13. Пример автомата с переключаемой тактовой частотой

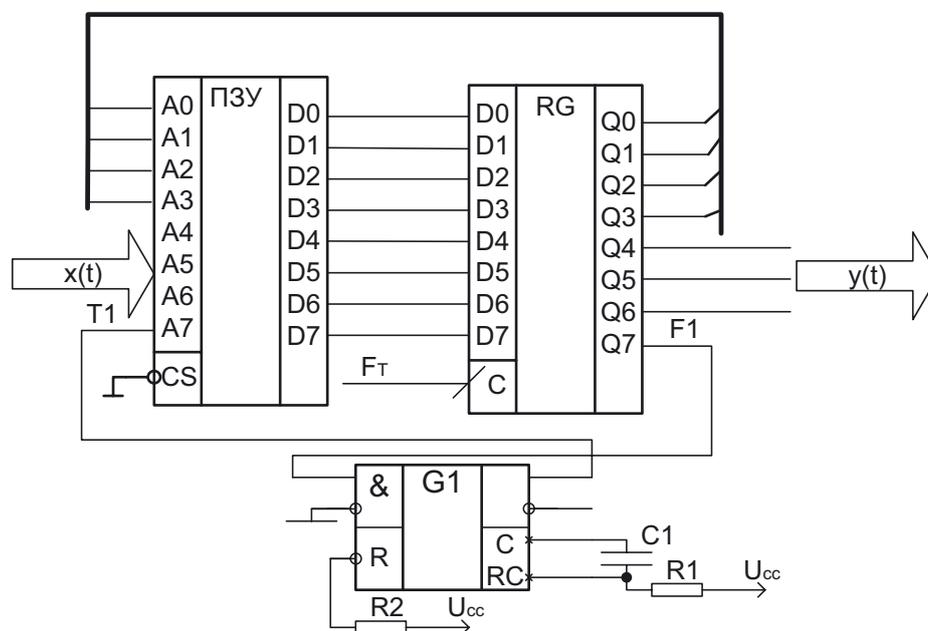


Рис. 14. Пример автомата с задержкой на одновибраторе

# АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

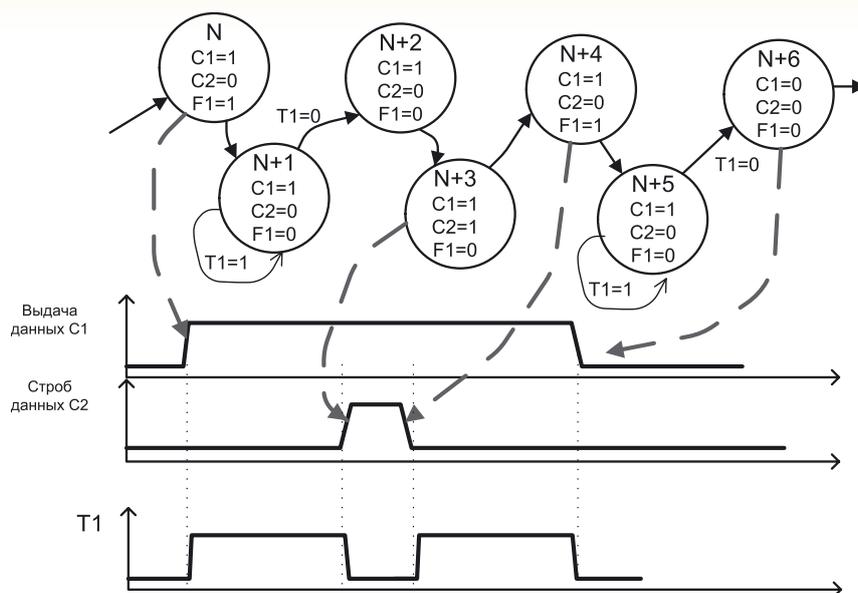


Рис. 15. Пример графа автомата с задержкой на одновибраторе

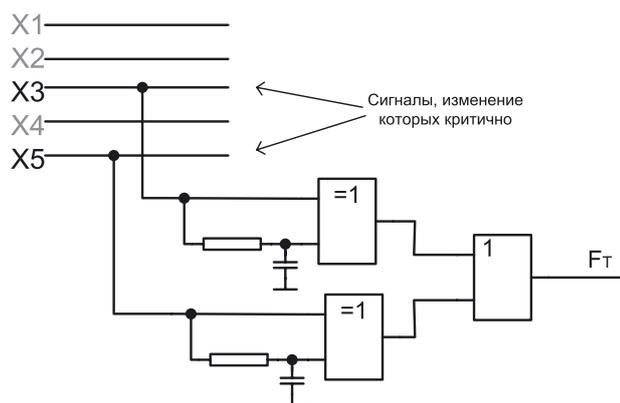


Рис. 16. Активация автомата по наступлению события

## Литература

1. Гончаров С.А., Никитин В.А., Николаев Д.Б., Писецкий В.В. Схемотехническая реализация автомата // Компоненты и технологии, 2013. №2.
2. Новиков Ф.А. Дискретная математика для программистов. СПб.: Питер, 2001.
3. Карпов Ю.Г. Теория автоматов. СПб.: Питер, 2003.
4. Угрюмов Е.П. Цифровая схемотехника. СПб.: БХВ, 2004.

## ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ОПАСНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ, ПОДВЕРГШИХСЯ НЕРЕГЛАМЕНТИРОВАННЫМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ

**Александр Анатольевич Мурашко**

заместитель директора Департамента ядерной и радиационной безопасности, организации лицензионной и разрешительной деятельности

Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом»  
Адрес: 119017, Москва, Большая Ордынка, д. 24  
Тел.: +7(499)949-29-16

**Геннадий Алексеевич Гордеев**

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

Статья посвящена определению математической меры безопасности проведения аварийных работ с системами, подвергшимися нерегламентированным воздействиям внешней среды, в результате которых они могут перейти в крайне опасные состояния, угрожающие жизни людей (и) или нанесением другого ущерба в больших масштабах.

Article describes mathematical security steps for emergency work with systems after unexpected and nonscheduled dangerous actions. After this actions system may get critical threat of human life or large-scale damage.

**Ключевые слова:** опасность, воздействие, неопределенность, лингвистическая переменная, неисправность, энтропия.

**Keywords:** hazard, exposure, uncertainty, linguistic variable, the fault condition, the entropy.

Цель статьи в такой постановке вопроса направлена на уменьшение риска проведения работ с системами повышенной потенциальной опасности (ППО), подвергшимися нерегламентированным воздействиям внешней среды (ВВС), за счет повышения достоверности определения их аварийного состояния: увеличения вероятности  $P_x$ . Результатом определения аварийного состояния системы ППО является оценка степени ее опасности с точки зрения возможных последствий предсказуемой реакции на внешние воздействия, связанные с изменением ее текущего состояния.

Мерой объективности заключения о текущем состоянии системы ППО, подвергшейся нерегламентированным воздействиям внешней среды, является вероятность  $P_x$ . Чем больше значение вероятности  $P_x$ , тем меньше риск перехода чрезвычайной ситуации (ЧС) в фазу неконтролируемого катастрофического хода развития событий (т.е. меньше риск перехода аварийной системы в состояние  $x$ ). Уменьшение риска при увеличении вероятности  $P_x$  связано с уменьшением неопределенности реакции аварийной си-

стемы на действия специалистов, участвующих в понижении степени ее опасности.

Неопределенность реакции аварийной системы ППО на мероприятия по понижению степени ее опасности, как правило, связана с большим числом  $N$  возможных состояний, в которых она может оказаться в результате нерегламентированных воздействий на нее внешней среды (ВС). Для каждого состояния характерна своя комбинация опасностей и возможного при их реализации ущерба, которого следует ожидать в случае перехода аварийной системы в состояние  $x$ . Уменьшая мощность множества  $N$  можно снизить неопределенность реакции аварийной системы ППО на мероприятия по понижению степени ее опасности.

Значение мощности множества  $N$  может варьироваться от 1 до  $\infty$ . В каждом конкретном случае оно зависит от степени детализации понятий опасностей, которые для данной системы ППО являются базовыми. В свою очередь, степень детализации базового понятия опасности определяется синтаксическим правилом, определяющим способ порождения частных поня-

тий опасности. Правило может быть представлено в виде следующей вербальной формулы:

## Способ порождения

источник опасности + способ реализации

## Форма записи

слово «опасность» + способ реализации + источник опасности

Таким образом, с математической точки зрения множество  $N$  состояний может быть представлено в виде объединения и пересечения подмножеств  $N_i$  состояний, связанных с характерными для рассматриваемой системы, базовыми понятиями опасности.

При этом

$$N_i = \{n_{i,k}\}_1^{a_i},$$

где  $n_{i,k}$  –  $k$ -ое частное опасное состояние системы для  $i$ -го базового понятия ее опасности;  $a_i$  – показатель мощности подмножества  $N_i$ .

Задача уменьшения мощности множества  $N$  сводится к идентификации текущего состояния аварийной системы с некоторым подмножеством  $N^* \in N$ . Очевидно, что в идеальном случае мощность  $N^*$  должна быть равна 1.

Также необходимо исходить из того, что существует определенный набор или некоторое множество  $M_{\text{фн}}$  формальных признаков (параметров), по значениям которых каждое из состояний множества  $N$  с определенной степенью достоверности может быть связано с текущим состоянием аварийной системы.

Множество  $M_{\text{фн}}$  определяется с помощью информационной модели рассматриваемой системы. В общем случае эта модель представляет собой совокупность конструктивно заложенных в систему свойств отображаться в пространственно-временном континууме в четко определенных материальных, энергетических и информационных формах.

С учетом вышеизложенного, обобщенная логическая схема рассуждений для оценки вероятности  $P_x$  может быть представлена в следующем виде:

## Исходное обстоятельство

Система ППО подверглась нерегламентированным воздействиям внешней среды

## Текущее обстоятельство

Система ППО находится в опасном состоянии

## Задача

Определить и нейтрализовать опасность аварийного состояния системы ППО

Что необходимо учитывать при решении задачи?

Неизвестна реакция системы ППО на действия по понижению степени ее опасности

Что нужно сделать для уменьшения неопределенности реакции?

Уменьшить мощность множества  $N$ :  $N \rightarrow N^*$

Как количественно оценить уменьшение неопределенности реакции?

$$P_x = f(N; N^*)$$

Вероятности  $P_x$  при этом рассматривается как относительная (имеется в виду относительно мощности множества  $N$ ) мера уменьшения неопределенности состояния аварийной системы. В таком понимании ее физического смысла количественно она может быть определена на базе понятий и отношений теории информации [6, 2].

В качестве меры априорной неопределенности аварийной системы (дискретной случайной величины  $S$ , принимающей конечное множество состояний:  $s_1, s_2, \dots, s_N$ ) используется специальная характеристика – энтропия [6]:

$$H(S) = -\sum_{j=1}^N p_j \log p_j, \text{ при этом } \sum_{j=1}^N p_j = 1, \quad (1)$$

где  $p_j$  – вероятность нахождения аварийной системы в  $s_j$ -ом опасном состоянии.

До момента определения состояния аварийной системы и отсутствия внешних признаков, по которым возможна идентификация связанной с ним опасности, система с одинаковой вероятностью может оказаться в любом из  $N$  состояний:

$$p_1 = p_2 = \dots = p_j = \dots = p_N = \frac{1}{N}. \quad (2)$$

Подставляя равенство (2) в формулу (1):

$$H(S) = \log N, \quad (3)$$

где  $H(S)$  – энтропия аварийной системы – мера ее неопределенности до момента проведения оценки текущего состояния этой системы.

В результате идентификации текущего состояния аварийной системы с некоторым подмно-

жеством состояний  $N^* \in N$  ее неопределенность уменьшается. Это достигается за счет получения по формальным и эвристическим признакам (параметрам) системы сведений, составляющих основу оценки ее аварийного состояния. По аналогии с теорией информацией, естественным будет количество информации  $I_s$ , получаемое при оценке аварийного состояния системы, измерять уменьшением энтропии ее состояния.

Информация  $I_s$ , получаемая в результате того, что, в определенном выше смысле, состояние аварийной системы становится полностью известным (имеется в виду, что до получения сведений (априори), энтропия системы была  $H(S)$ ; после получения сведений состояние системы полностью определилось, т.е. энтропия стала равной нулю) равна уменьшению энтропии

$$I_s = H(S) - 0 \text{ или } I_s = H(S). \quad (4)$$

Анализ ЧС, связанных с нерегламентированными воздействиями внешней среды на системы ППО [4, 7], показывает, что, как правило, условий и возможностей для точного определения их аварийного состояния нет. Поэтому решения на проведение аварийных работ приходится принимать в условиях некоторой неопределенности.

В этом случае, количество информации, которой располагают на момент принятия такого решения, может быть определено как разность

$$I_{\approx} = H(S) - H(S)_\delta, \quad (5)$$

где  $H(S)_\delta$  – энтропия аварийной системы после проведения оценки ее текущего состояния (в условиях ограниченных возможностей).

Рассматривая вероятность  $P_x$  как относительную меру уменьшения неопределенности аварийной системы, в результате выяснения ее текущего состояния можно записать

$$P_x = \frac{I_{\approx}}{I_s} = \frac{H(S) - H(S)_\delta}{H(S)} \quad (6)$$

или, с учетом равенства (3),

$$P_x = 1 - \frac{H(S)_\delta}{\log N}. \quad (7)$$

При проведении оценки состояния аварийной системы равенство (2) теряет свою силу. В идеальном случае апостериорное значение одной из вероятностей  $p_j$  будет равно 1, а всех остальных – нулю. В условиях ограниченных возможностей получения информации необходимой для точного определения состояния аварийной системы можно получить только лишь приближенные оценки значений вероятностей  $p_j$ , для которых будет справедливо неравенство

$0 \leq p_j < 1$ . Энтропия  $H(S)_\delta$  будет определяться формулой

$$H(S)_\delta = - \sum_{j=1}^N p_j^\delta \log p_j^\delta, \quad (8)$$

где  $p_j^\delta$  – апостериорное значение вероятности нахождения аварийной системы в  $s_j$ -ом опасном состоянии.

Относительно возможности формального представления вероятности необходимо отметить, что рассматриваемая ситуация является столь сложной и неопределенной, что в принципе не может быть описана точными количественными методами. Кроме того, с математической точки зрения значения параметров (формальных признаков) множества  $M_{\text{фн}}$ , по комбинации значений которых каждое из  $s_j$ -ых состояний с *определенной степенью достоверности* может быть связано с текущим состоянием системы, являются четкими величинами только до момента начала воздействия на нее аварийных факторов. После окончания воздействия возможность точной оценки значений параметров множества  $M_{\text{фн}}$  практически отсутствует. Это обстоятельство приводит к необходимости рассматривать множество  $M_{\text{фн}}$  как совокупность нечетких величин, представляя его при этом в виде некоторого множества лингвистических переменных (ЛП). С учетом выше изложенного представляется целесообразным использовать для формального представления вероятностей  $p_j^\delta$  аппарат теории нечетких множеств [3].

ЛП используются для характеристики таких предметов или их свойств, для которых переход от принадлежности к какому-то классу не принадлежности не скачкообразен, а непрерывен. Примерами ЛП применительно к теме настоящих исследований могут быть высказывания: «сигнал в точке А», «состояние оболочки заряда взрывчатого вещества», «состояние узла крепления элемента В», «положение упора В» и т.д. Эти переменные называются базовыми. Соответственно примерами значений этих ЛП (нечетких переменных) являются словосочетания: «слабый сигнал», «сильное повреждение», «незначительная деформация», «небольшое смещение» и т.д.

Лингвистические значения интерпретируются как названия некоторых нечетких ограничений на значения базовой переменной. В свою очередь, эти ограничения являются смыслом лингвистических значений и характеризуются функциями принадлежности  $\mu(x)$  [3], которые каждому численному значению базовой переменной ставят в соответствие число из интервала  $[0; 1]$ , символизирующее совместимость этого значения с нечетким ограничением.

По аналогии с известными подходами к формализации диагностической информации для экспертных систем на базе ЛП «параметр», схема построения рассуждений относительно формального представления вероятности  $p_j^d$  может быть представлена в следующем виде.

Интерпретация множества  $M_{\phi n} = \{p_e\}_1^q$  параметров (формальных признаков) системы в виде некоторого множества  $M_m = \{y_e\}_1^q$  ЛП предполагает рассмотрение каждой  $y_e$  переменной в виде набора:

$$\{\beta, T, U, G, M\}_{e},$$

где  $\beta$  – наименование ЛП;

$T$  – множество значений или термов ЛП, представляющих собой наименование нечетких переменных, областью определения каждой из которых является множество  $U$  – базовое терм множество ЛП;

$G$  – синтаксическая процедура (синтаксическое правило), описывающая процесс образования из множества  $T$  новых значений ЛП;

$M$  – семантическая процедура (семантическое правило), позволяющая приписывать каждому значению, образуемому процедурой  $G$ , некоторую семантику (смысл) путем формирования соответствующего нечеткого множества, т.е. отобразить новое значение в нечеткую переменную.

Числовыми значениями термов ЛП являются числовые значения интервалов  $C_m$ , на которые разбивается множество числовых значений  $u \in U$ .

Предполагается, что для каждого параметра  $p_e \in M_{\phi n}$  выполнены процедуры  $G$  и  $M$ . Для каждой, полученной при этом, ЛП,  $e = \overline{1, q}$  построено базовое терм-множество  $T_e = \{T_{e,m}\}_1^M$ , а для каждого терма  $T_{e,m}$ ,  $m = \overline{1, M}$  определены функции принадлежности.

Значение физической величины, связанной с параметром  $p_e$  (формальным признаком системы) и фиксируемой в контрольной точке  $z_e$  при проведении оценки текущего состояния аварийной системы, считается численным значением нечеткой переменной ЛП, возникающей в результате воздействия на систему нерегламентированных факторов внешней среды.

Контрольными точками системы называются места измерения числовых значений базовых ЛП. Множество контрольных точек обозначается  $M_z = \{z_e\}_1^q$ .

Особенностью формального представления множества  $M_{z_e}$  является тот факт, что для каждой ЛП  $y_e \in M_m$ ,  $e = \overline{1, q}$  может быть определено свое множество  $M_{z_e}$  контрольных точек  $z_{e,\gamma}$ :  $M_{z_e} = \{z_{e,\gamma}\}_1^{\phi}$ . Так, например, для измерения лингвистического значения ЛП «деформация

корпуса в области ВВ» могут быть обозначены 4 контрольные точки, расположенные с верхней, с нижней, с правой и с левой сторон корпуса системы в месте расположения заряда. В этом случае множество  $M_z$  запишется в виде:  $M_z = \{z_e\}_1^q$ .

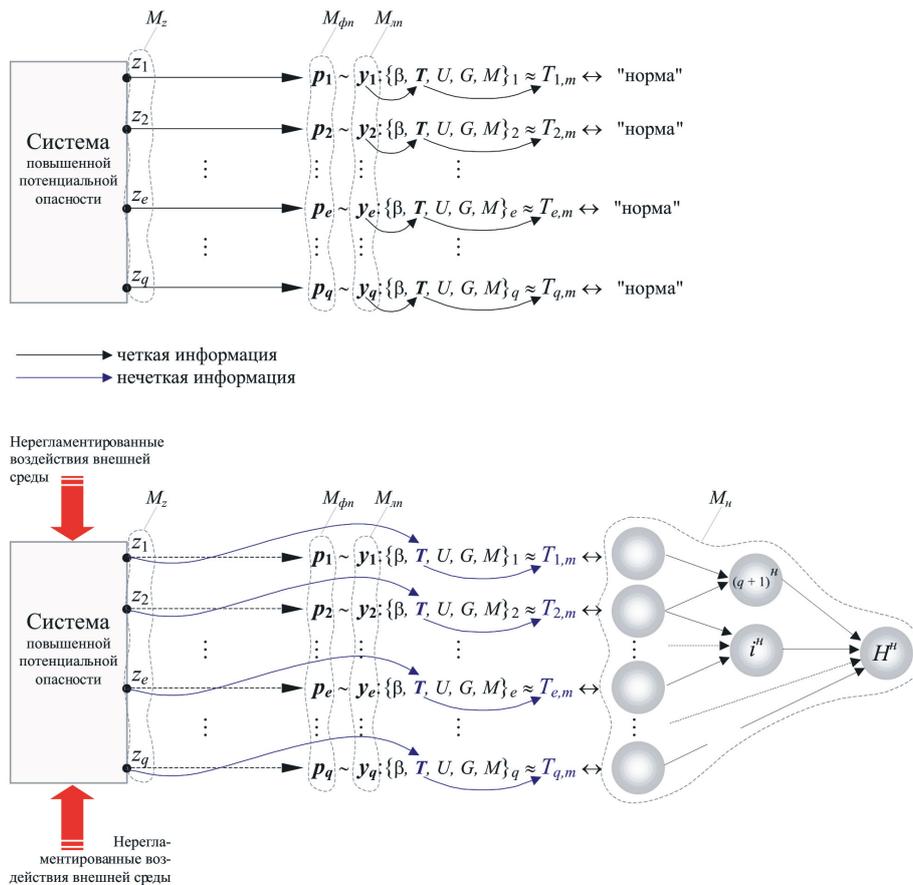
С другой стороны, вместо одной ЛП, например, ЛП «деформация корпуса в области ВВ» могут быть рассмотрены четыре: «деформация нижней части корпуса в области ВВ», «деформация верхней части корпуса в области ВВ», «деформация корпуса в области ВВ с правой стороны», «деформация корпуса в области ВВ с левой стороны».

Таким образом, за счет увеличения мощности множества  $M_m$  можно отказаться от оперирования понятием множества  $M_{z_e}$  и перейти к понятию множества  $M_z$ , представляющего общее число контрольных точек системы, каждая из которых связана только с одним параметром  $p_e$ , измеряемым лингвистическим значением ЛП  $y_e$ .

Изменение значения физической величины, связанной с параметром  $p_e$  есть результат изменения исходного состояния системы вследствие возникновения в ней различного рода физических повреждений, а также семантических и синтаксических нарушений на информационно-энергетическом уровне. В рамках настоящей работы все повреждения и нарушения такого рода в системе называются *неисправностями*.

Рассматривается множество  $M_n = \{i^n\}_{i=1}^I$ , элементами которого являются  $i^n$  – условные номера комбинаций неисправностей системы, каждая из которых (имеется в виду комбинация) связана с угрозой несанкционированной или самопроизвольной реализацией системой одной или нескольких базовых опасностей. Каждое лингвистическое значение  $T_{e,m} \in T_e$ ,  $e = \overline{1, q}$ ,  $m = \overline{1, M}$  лингвистической переменной  $y_e \in M_m$ , фиксируемое в контрольной точке  $z_e \in M_z$ , сопоставляется с комбинацией неисправностей  $i^n \in M_n$ , следствием или причиной одной из неисправностей которой оно является. С учетом изложенного лингвистическое значение  $T_{e,m} \in T_e$ ,  $e = \overline{1, q}$ ,  $m = \overline{1, M}$  ЛП  $y_e \in M_m$ , фиксируемое в контрольной точке  $z_e$  есть содержание понятия признака опасного состояния системы, определяемого  $i^n$ -ой комбинацией неисправностей, возникающей в системе в результате воздействия на нее нерегламентированных факторов ВС.

В исходном состоянии (до воздействия внешней среды) лингвистические значения  $y_e \in M_m$  в контрольных точках  $z_e \in M_z$  идентифицируются с лингвистическим значением «норма», каждое из которых является функцией  $f_{0,p_e}^{z_e}$ . Функция вида  $f_{0,p_e}^{z_e}$  называется *нулевой лингвистической функцией неисправности* (ЛФН), сопоставленной параметру  $p_e$  в контрольной точке  $z_e$ .



**Рис. 1.** Формальная схема представления нечеткой информации о состоянии системы, подверженной нерегламентированным ВВС

Множество нулевых ЛФН, реализуемых системой в контрольных точках  $z_e$ , записывается в виде

$$M_{f,0} = \{ f_{0,p_1}^{z_1}, f_{0,p_2}^{z_2}, \dots, f_{0,p_q}^{z_q} \}. \quad (9)$$

При возникновении в системе  $i^u$ -ой комбинации неисправностей, на ее контрольных точках  $z_e$  реализуются функции  $f_{i^u,p_e}^{z_e}$ , при которых ЛП, характеризующие неисправности этой комбинацией, принимают любые значения из базового терм-множества кроме лингвистического значения «норма», соответственно. Функция вида  $f_{i^u,p_e}^{z_e}$  называется ЛФН, сопоставленной параметру  $p_e$  в контрольной точке  $z_e$  при возникновении  $i^u$ -ой комбинации неисправностей.

Множество ЛФН, реализуемых системой в контрольных точках  $z_e \in M_z$ ,  $e = \overline{1, q}$ , при наличии  $i^u$ -ой комбинации неисправностей записывается в виде

$$M_{f,i^u} = \{ f_{i^u,p_1}^{z_1}, f_{i^u,p_2}^{z_2}, \dots, f_{i^u,p_q}^{z_q} \}. \quad (10)$$

Графическая интерпретация рассмотренной выше формальной схемы представления нечет-

кой информации о состоянии системы (в виде  $i^u$ -ой комбинации неисправностей), представлена на рисунке 1.

Сопоставление каждому элементу множества  $M_n = \{i^u\}_{i=1}^l$  множества ЛФН, реализуемых в системе в контрольных точках  $z_e \in M_z$ ,  $e = \overline{1, q}$ , приводит к образованию множества  $M_{f,H}$  функций неисправностей, реализуемых в системе в результате воздействия на нее нерегламентированных факторов ВС:

$$M_{f,H} = \{ M_{f,0}, M_{f,1^u}, M_{f,2^u}, \dots, M_{f,I^u} \}. \quad (11)$$

С учетом выражений (9) и (10), в общем виде множество ЛФН системы записывается в виде

$$M_{f,H} = \left\{ f_{0,p_1}^{z_1}, f_{0,p_2}^{z_2}, \dots, f_{0,p_q}^{z_q}, f_{1^u,p_1}^{z_1}, f_{1^u,p_2}^{z_2}, \dots, \right. \\ \dots, f_{1^u,p_q}^{z_q}, f_{2^u,p_1}^{z_1}, f_{2^u,p_2}^{z_2}, \dots, f_{2^u,p_q}^{z_q}, \\ \left. \dots, f_{I^u,p_1}^{z_1}, f_{I^u,p_2}^{z_2}, \dots, f_{I^u,p_q}^{z_q} \right\}. \quad (12)$$

На основании проведенного описания формальной схемы представления нечеткой информации о состоянии системы, подвергшейся нерегламентированному ВВС, строится логико-лингвистическая модель ее неисправностей – таблица ЛФН (таблица 1).

Запись  $[T_{e,m}]_{p_e, z_e}^{i^m}$ , где  $T_{e,m} \in T_e$ ,  $p_e \in M_{\Phi m}$ ,  $z_e \in M_z$ ,  $i^m \in M_n$ ,  $e=1, q$ ,  $m=1, M$  расшифровывается как  $m$  значение  $e$ -ой ЛП (ЛФН), сопоставленной параметру  $p_e$  в контрольной точке  $z_e$  при наличии неисправности  $i^m$ .

Множество  $M_{f, i^m} \in \{f_{i^m, p_e}^{z_e}\}_{e=1}^q$  называется  $i^m$ -ой составной ЛФН, которая обозначается символом  $f_{i^m}^c$ .

Таблица 1, содержащая все возможные функции неисправностей, называется полной таблицей ЛФН.

С учетом смысла определяемого последней строкой таблицы (сопоставление  $i^m$ -ой комбинации неисправностей  $s_j$ -му состоянию системы) сумма ее столбцов, за исключением первых трех, есть число  $N=I_n$  возможных опасных состояний системы, в которых она может оказаться в результате нерегламентированных воздействий на нее внешней среды.

Если две и более составные ЛФН принимают одинаковые лингвистические значения на всех

наборах аргументов, что соответствует наличию неразличимых неисправностей, то они называются эквивалентными и объединяются в один класс.

Решение задачи определения эквивалентных ЛФН заключается в разбиении множества  $M_f, N$  на ряд непересекающихся классов и в определении принадлежности каждого из  $s_j$ -ых состояний системы одному из классов.

Таким образом, решаемая задача по существу представляет собой задачу построения на множестве  $M_{f, H}$  совокупности нечетких разбиений  $M_r \in M_{f, H}$ ,  $r=1, l$ .

Для получения нечеткого разбиения  $M_r$ ,  $r=1, l$  используется правило

$$M_r = \begin{cases} f_{i^m}^c \cup f_{i^m}^c, & \text{если } f_{i^m}^c \approx f_{i^m}^c \\ f_{i^m}^c, & \text{если } f_{i^m}^c \approx f_{i^m}^c \end{cases}, \quad (13)$$

которое означает, что две различные составные ЛФН попадают в один класс нечеткого разбиения в случае их равенства, при этом они объединяются.

Если же для составной ЛФН не существует равной другой составной функции, то она сама является классом нечеткого разбиения.

В качестве меры для определения степени эквивалентности составных ЛФН  $f_{i^m}^c, f_{i^m}^c \in M_r$

**Таблица 1**  
ЛФН системы, подвергшейся нерегламентированному ВВС

		Значения лингвистических функций неисправностей					
		$f_{0, p_e}^{z_e}$	$f_{i^m, p_e}^{z_e}$	$f_{i^m, p_e}^{z_e}$	$f_{i^m, p_e}^{z_e}$	$f_{i^m, p_e}^{z_e}$	
$p_e$	$z_e$	$i^m$	0	1 <sup>n</sup>	2 <sup>n</sup>	...	I <sup>n</sup>
$p_1$	$z_1$		$[T_{1,m}]_{p_1, z_1}^0$	$[T_{1,m}]_{p_1, z_1}^{1^i}$	$[T_{1,m}]_{p_1, z_1}^{2^i}$	...	$[T_{1,m}]_{p_1, z_1}^{I^i}$
$p_2$	$z_2$		$[T_{2,m}]_{p_2, z_2}^0$	$[T_{2,m}]_{p_2, z_2}^{1^i}$	$[T_{2,m}]_{p_2, z_2}^{2^i}$	...	$[T_{2,m}]_{p_2, z_2}^{I^i}$
⋮	⋮		⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
$p_q$	$z_q$		$[T_{q,m}]_{p_q, z_q}^0$	$[T_{q,m}]_{p_q, z_q}^{1^i}$	$[T_{q,m}]_{p_q, z_q}^{2^i}$	...	$[T_{q,m}]_{p_q, z_q}^{I^i}$
			0	1	2	...	N
Условные номера $s_j$ -ых состояний системы, определяемых $i^m$ -ми комбинациями неисправностей							

используется степень нечеткого равенства функций, которая обозначается  $\mu(f_{i_n}^c, f_{i_j}^c)$ .

В общем случае для двух нечетких множеств  $A$  и  $B$  в  $U$  степень нечеткого равенства  $\mu(A, B)$  определяется в соответствии с выражением

$$\mu(A, B) = \& (\mu_A(u) \leftrightarrow \mu_B(u)), \quad (14)$$

где « $\leftrightarrow$ » – операция эквивалентности; « $\&$ » – операции конъюнкции по всем  $u \in U$ , определяемые в соответствии со следующими выражениями:

$$A \leftrightarrow B = \min((\max(1 - A, B)), (\max(1 - B, A))), \quad (15)$$

$$A \& B = \min(A, B). \quad (16)$$

При выполнении условия

$$\mu(A, B) \geq t_{inc} \in [0.6, 1] \quad (17)$$

нечеткие множества  $A$  и  $B$  являются нечетко равными:  $A \approx B$ . В противном случае нечеткие множества  $A$  и  $B$  нечетко не равны:  $A \not\approx B$  друг другу. Порог  $t_{inc}$ , используемый при определении нечеткого равенства, является ограничением на требуемую степень достоверности определения нечеткого равенства. Чем выше порог  $t_{inc}$ , тем выше степень достоверности решений о нечетком равенстве.

Таким образом, процедура определения эквивалентных ЛФН, каждая из которых представляет собой нечеткое множество, основана на вычислении для каждой пары составных ЛФН степени нечеткого равенства и сравнении ее с заданным уровнем достоверности  $t_{inc}$ .

Если степень нечеткого равенства функций  $f_{i_n}^c$  и  $f_{i_j}^c$  удовлетворяет условию  $\mu(f_{i_n}^c, f_{i_j}^c) \geq t_{inc}$ , то они нечетко равны со степенью достоверности не меньше  $t_{inc}$ .

В результате разбиения эквивалентных ЛФН на  $l$  классов и объединения их в рамках каждого класса, число столбцов таблицы 1 уменьшается до значения  $l$ . При этом происходит объединение и условных номеров  $s_j$ -ых состояний системы, определяемых  $i^n$ -ми комбинациями неисправностей, описываемых соответствующими лингвистическими функциями.

Рассмотренная выше превентивная процедура формального представления нечеткой информации о возможных состояниях системы, подвергшейся нерегламентированному ВВС, является основой для построения следующего алгоритма апостериорной приближенной количественной оценки значений вероятности  $p_j^\delta$  нахождения системы в каждом из  $s_j$ -ых состояний.

1. По результатам обследования системы, подвергшейся нерегламентированному воздействиям внешней среды формируется множество

исходных данных о текущих значениях  $u_e^t$  параметров  $p_e$  в соответствующих контрольных точках  $z_e$ .

2. Для каждого значения  $u_e^t \in U_e$  определяются  $T_{e,m}$ -ое лингвистическое значение ЛП  $y_e$  и значение функции принадлежности  $\mu_{C_{e,m}}(u_e^t)$ , символизирующее степень принадлежности фиксируемого значения  $u_e^t$  нечеткому ограничению  $C_{e,m}$ , определяемому смыслом лингвистического значения  $T_{e,m}$ .

3. Формируется идентификационное множество признаков опасного состояния системы:

$$M_u^t = \left\{ (T_{e,m})_{p_e, z_e}^t \right\}_{e=1}^q.$$

4. По степени нечеткого равенства

$\mu(M_r, M_u^t) \geq t_{inc} \in [0.6, 1]$ ,  $r = \overline{1, l}$  определяется принадлежность множества  $M_u^t$  одному из  $r$  классов множества  $M_{fH}$  (ограничение  $t_{inc}$  на требуемую степень достоверности определения нечеткого равенства  $M_r \approx M_u^t$  равно значению  $t_{inc}$ , задаваемому при разбиении множества  $M_{fH}$  на классы). При этом возможна ситуация, когда  $M_u^t \notin M_{fH}$ .

5. По объединению в  $r$  классе  $i_n$ -ых комбинаций неисправностей и соответствующих им  $s_j$ -ых состояний системы, определяется число  $N^*$  возможных опасных состояний, в одном из которых реально может находиться аварийная система (с учетом того, что при различных значениях порога достоверности  $t_{inc}$  величина  $N^*$  может варьироваться, целесообразно использовать для ее обозначения символ  $N^*(t_{inc})$ ).

6. Вероятности состояния  $s_j \notin N^*(t_{inc})$  приравниваются нулю. Вместо множества состояний с размерностью  $N$  рассматривается множество с размерностью  $N^*(t_{inc}) < N$ .

7. Считая, что в первом приближении система с одинаковой вероятностью может оказаться в одном из  $N^*(t_{inc})$  состояний, для любой вероятности  $p_j^\delta (N^*(t_{inc}))$  записывается

$$p_j^\delta (N^*(t_{inc})) = (N^*(t_{inc}))^{-1}. \quad (18)$$

Мерой объективности заключения о возможном уменьшении неопределенности реакции аварийной системы на действия по снижению ее опасности, в случае уменьшения мощности множества  $N$  до значения  $N^*(t_{inc})$  является вероятность  $P_x$ . С учетом формул (7), (8) и заданного порога достоверности  $t_{inc}$

$$P_x(t_{inc}) = 1 - \frac{\sum_{j=1}^{N^*(t_{inc})} p_j^\delta (N^*(t_{inc})) \log p_j^\delta (N^*(t_{inc}))}{\log N}, \quad (19)$$

или, с учетом выражения (18),

$$P_x(t_{inc}) = 1 - \frac{\log(N^*(t_{inc}))}{\log N}. \quad (20)$$

В заключение следует отметить, что перспектива решения данной задачи имеет целью не столько определить математическую меру безопасности проведения аварийных работ с системами ППО, сколько найти конкретные практические меры предупреждения неконтролируемого катастрофического хода развития событий в ЧС, связанных с необходимостью проведения таких работ.

В такой постановке задача, в первую очередь, ориентирована на сопровождение исследований, лежащих в плоскости решения вопросов выбора и обоснования способов и методов проведения оценки состояния аварийных систем, подвергшихся нерегламентированным воздействиям внешней среды.

### Литература

1. Борисов А.И., Алексеев А.В., Меркулов Г.В. и др. Обработка нечеткой информации в системах принятия решений. М.: Радио и связь, 1989. 384 с.
2. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. М.: Наука, 1969. 576 с.
3. Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. Пер. с англ. Н.И. Ринго / Под ред. Н.Н. Моисеева и С.А. Орловского. М.: МИР, 1976. 168 с.
4. Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. Обзорная информация. М.: ВИНТИ, вып. 1-12, 1994-1999.
5. Справочник по инженерной психологии // Под ред. Б.Ф. Ломова. М.: Машиностроение, 1982. 368 с.
6. Тарасенко Ф.П. Введение в курс теории информации. / Томск, 1963. 240 с.
7. Шахраманьян М.А., Акимов В.А., Козлов К.А. Оценка природной и техногенной безопасности России: теория и практика. М.: ФИД «Деловой экспресс», 1998. 218 с.
8. Яцкевич А.И., Дещеревский И.В. Технологии представления информации об изделии. Система управления конструкторскими данными о машиностроительном изделии на основе стандарта ISO 10303 (STEP) / Информационные технологии в проектировании и производстве. М.: ГУП «ВИМИ», 2000. №2. С. 13-18.



УДК 62.50

## ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ СБЛИЖЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ С ЗАЩИТОЙ ИНФОРМАЦИИ

### Юрий Александрович Пушкарёв

*Заслуженный деятель науки РФ,  
доктор технических наук, профессор*

профессор кафедры

Филиал Военной академии РВСН  
им. Петра Великого (г. Серпухов)  
Адрес: 142210, Московская обл.,  
г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17  
Тел.: +7(4967)72-19-11  
E-mail: calgon350@yandex.ru

### Елена Юрьевна Пушкарёва

*доктор технических наук, профессор*

профессор кафедры

Филиал Военной академии РВСН  
им. Петра Великого (г. Серпухов)  
Адрес: 142210, Московская обл.,  
г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17  
Тел.: +7(4967)72-19-11 E-mail: calgon350@yandex.ru

### Александр Александрович Алексеев

начальник отдела

Департамент вооружения МО РФ  
Москва

Представлено обоснование необходимости управления относительной скоростью сближения космических аппаратов исходя из требований защиты передаваемой информации по радиоканалу между обоими аппаратами. Кроме того, приведена методика расчета параметров управления процессом сближения и результаты моделирования.

Presented by the rationale for the control of the relative speed of convergence of the spacecraft on the basis of the requirements of the protection of information transmitted over the air between the two devices. In addition, the method of calculation carried out the process control parameters convergence and simulation results.

**Ключевые слова:** угловая скорость сближения, относительная линейная скорость сближения, ширина диаграммы направленности антенны, закон изменения ускорения, требуемое ускорение, терминальное управление.

**Keywords:** angular speed of convergence, the relative linear speed of convergence, the width of the antenna, the law of change of acceleration, the required acceleration, terminal management.

### Введение и обоснование решаемой задачи

В космических телекоммуникационных системах радиосвязи важное место отводится способам и аппаратным средствам защиты передаваемой информации. При большом удалении космических аппаратов (КА) друг от друга и при необходимости установления двухсторонней радиосвязи между ними с целью обмена информацией возникает реальная ситуация, при которой служебная и специальная информации могут быть приняты другими радиотехническими станциями (РТС), установленными на других КА и даже на наземных пунктах приема и передачи информации (ППИП).

Известны работы [1-4], направленные на защиту информации, передаваемой от одного абонента другому абоненту или же на уменьшение риска перехвата информации.

Например, в [1] предлагаются сложные двоичные циклические коды для каналов радиосвязи, которые уменьшают риск перехвата передаваемой информации, но требуют для своей реализации сложной аппаратуры кодирования и декодирования. В [2] для повышения помехозащищенности и скрытности передачи информации по каналам радиосвязи рассматриваются широкополосные сигналы, формируемые на основе псевдослучайных последовательностей.

Однако при значительном удалении КА друг от друга обнаружение таких сигналов затрудняется из-за малого отношения сигнал/шум, вследствие равномерного распределения энергии этих сигналов по спектру частот.

В [3], например, предлагается защиту информации организовывать как управляемый процесс, зависящий от поведения стороны, которая стремится к перехвату информации. В [4] предлагается методика обоснования параметров системы защиты информации от несанкционированного доступа.

Последние два предложения, по сути, являются организационными мерами, направленными на скрытность информации от других абонентов.

Другим подходом решения задачи защищенности и скрытности передачи и приема информации между двумя космическими аппаратами может быть увеличение отношения сигнал/шум, путем уменьшения расстояния  $r$  между ними, а также уменьшения скорости сближения  $V_{сбл}$ , которая должна быть достаточной для наведения антенны РТС на КА. При этом угловая скорость сближения КА  $\omega_{ка}$  будет определяться выражением

$$\omega_{ка} = V_{сбл}/r \text{ (рад/с)}. \quad (1)$$

В первом приближении, можно полагать, что угловая скорость перемещения диаграммы направленности (ДН) антенны бортовой РТС  $\omega_{дн}$  примерно соответствует угловой скорости  $\omega_{ка}$ , т.е.

$$\omega_{дн} = \omega_{ка} \quad (2)$$

Тогда угловая ошибка по скорости [6]

$$\varepsilon_{\omega} = \frac{\omega_{ка}}{K_V}, \quad (3)$$

где  $K_V$  – коэффициент усиления по скорости системы управления антенной.

На практике данная ошибка по скорости должна быть в «К» раз меньше ширины диаграммы направленности антенны  $\theta_{дн}^0$  по половинной мощности, т.е.

$$\varepsilon_{\omega} = \frac{\omega_{ка}}{K_V} < \frac{\theta_{дн}^0}{K \cdot 57,3}, \quad (4)$$

где число 57,3 переводит «градусы» ДН в радианы углового перемещения КА.

При подстановке правой части выражения (1) в левую часть неравенства (4) имеем

$$V_{сбл} < \frac{K_V}{K} \frac{r \theta_{дн}^0}{57,3} \quad (5)$$

Для угловых следящих систем  $K_V \approx 4 \dots 6 \text{ с}^{-1}$ . Примерно такого же порядка и коэффициент К.

Поэтому выражение (5) примет вид

$$V_{сбл} < \frac{r \theta_{дн}^0}{57,3} \quad (6)$$

Результаты расчета необходимой скорости сближения для расстояний  $r$  между КА 20 км, 10 км, 5 км и ширине диаграммы направленности антенны бортовой РТС  $\theta_{дн}^0$ , равной  $0,2^0 \dots 1^0$  приведены в *таблице 1*

**Таблица 1**

$r_{км}$	$\theta_{дн}^0$				
	0,2	0,4	0,6	0,8	1
20	69,8	139	209,4	279	349
10	34,9	69,8	104,7	139,6	174,5
5	17,45	34,9	52,35	69,8	87,2

В данной таблице скорость сближения имеет размерность м/с. Из таблицы также видно, что при ширине диаграммы направленности, близкой к одному градусу, скорость сближения для  $r=10 \dots 20$  км составляет сотни м/с, а при ширине ДН, близкой к  $0,2^0$  – десятки м/с.

Обеспечить такую потребную скорость сближения в условиях, когда собственная скорость движения КА 8 км/с (например, для околоземных орбит) очень сложно.

### Методика расчета параметров управления процессом сближения и результаты моделирования

Для обеспечения необходимых расстояний и скоростей сближения двух КА в конечный момент встречи следует использовать терминальное управление [6-8].

Терминальное управление по В.Б. Бородавскому опирается на математический аппарат вариационного исчисления и гарантирует перевод динамического объекта из начального состояния в заданное конечное состояние в заданный момент времени.

Несмотря на сложную процедуру построения терминального регулятора этот вариант вполне применим. Однако при приближении к терминальной точке коэффициент усиления системы возрастает и система становится неустойчивой. В [7] используется метод терминального комбинированного управления, опирающейся на аппарат теории инвариантности и тоже дает возможность решения данной задачи, снимая недостаток, связанный с потерей устойчивости при приближении к терминальной точке.

Наиболее наглядным и удобным является метод требуемых ускорений [8], который вполне корректно решает данную задачу, если объект управления описывается дифференциальным уравнением второго порядка.

При его использовании необходимо задать дифференциальные уравнения ОУ (т.е. космического аппарата) в виде двух систем в переменных состояниях:

$$\begin{aligned} \dot{X}_1(t) &= X_2(t), & X_1(0) &= X_0, & X_1(T) &= X_k, \\ \dot{X}_2(t) &= a_{\text{хтр}}, & X_2(0) &= V_{x0}, & X_2(T) &= V_{\text{хк}} \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \dot{Y}_1(t) &= Y_2(t), & Y_1(0) &= Y_0, & Y_1(T) &= Y_k, \\ \dot{Y}_2(t) &= a_{\text{утр}}, & Y_2(0) &= V_{y0}, & Y_2(T) &= V_{\text{ук}} \end{aligned} \quad (8)$$

где  $X_1$  и  $X_2$  – прямоугольные относительные координаты движения КА в орбитальной системе координат ОХУ, начало которой практически совпадает с точкой встречи;  $\dot{X}_1$  и  $\dot{Y}_1$  – их относительные скорости движения;  $X_0$  и  $Y_0$  – начальные значения координат;  $X_k$  и  $Y_k$  – конечные значения;  $V_{x0}$  и  $V_{y0}$  – начальные значения скоростей;  $V_{\text{хк}}$  и  $V_{\text{ук}}$  – конечные значения;  $T$  – время управления;  $t$  – текущее время управления;  $a_{\text{хтр}}$  и  $a_{\text{утр}}$  – требуемые ускорения по координатам  $X$  и  $Y$  соответственно.

Для того чтобы система управления конечными параметрами реализовывала заданные конечные скорости сближения необходимо, чтобы ускорение изменялось по линейному закону. В соответствии с методом требуемых ускорений необходимые (требуемые) ускорения в продольном ( $X$ ) и поперечном ( $Y$ ) каналах, при которых реализуются не только заданные конечные координаты, но и заданные конечные скорости имеют вид

$$a_{\text{хтр}} = \frac{6(x_k - x_0)}{T^2} - \frac{2(V_{\text{хк}} + 2V_{x0})}{T} + \left[ -\frac{12(x_k - x_0)}{T^3} + \frac{6(V_{\text{хк}} + 2V_{x0})}{T^2} \right] t, \quad (9)$$

$$a_{\text{утр}} = \frac{6(y_k - y_0)}{T^2} - \frac{2(V_{\text{ук}} + 2V_{y0})}{T} + \left[ -\frac{12(y_k - y_0)}{T^3} + \frac{6(V_{\text{ук}} + 2V_{y0})}{T^2} \right] t. \quad (10)$$

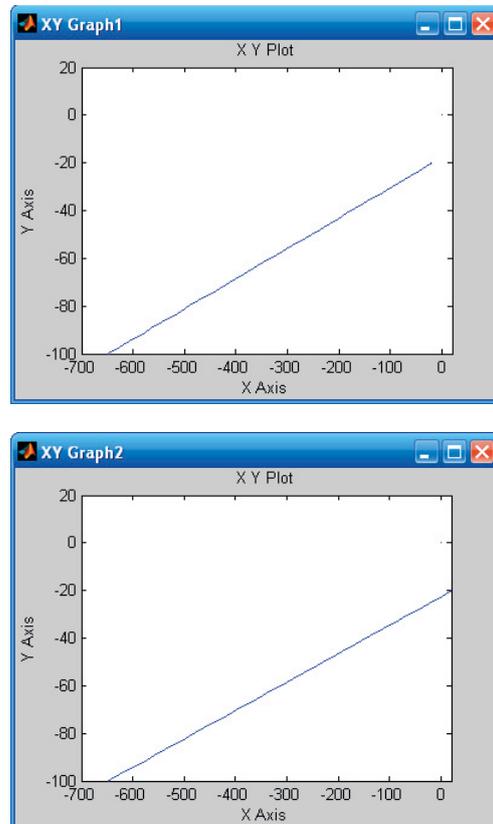
Для оценки потребных значений линейных ускорений и характеристической скорости, а также максимальной угловой скорости относительного движения космических аппаратов произведено цифровое моделирование в системе визуального программирования «SIMULINK». Начальные значения координат и скоростей, а так-

же их требуемые конечные значения приведены в *таблице 2*

**Таблица 2**

усл. сбл.	$X_0$ км	$V_{x0}$ км/ мин	$X_k$ км	$V_{\text{хк}}$ км/ мин	$Y_0$ км	$V_{y0}$ км/ мин	$Y_k$ км	$V_{\text{ук}}$ км/ мин
1	-648	0	-20	0,6	-100	0	-20	0,1
2	-648	0	20	0,6	-100	0	-20	0,1

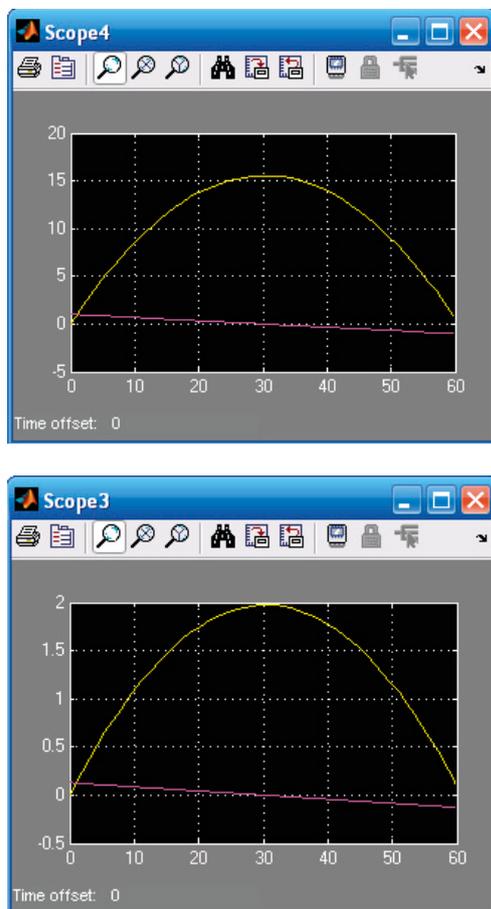
Размерность скоростей сближения в данной таблице приведена как км/мин, что облегчает пользование результатами моделирования в виде соответствующих графиков. Графики изменения параметров процесса сближения при использовании линейно изменяющегося ускорения (выражения (9) и (10)) показаны на *рисунках 1* и *2*. Значения координат на *рисунке 1* показано в км, время управления  $T$  составляет 60 мин, а положение второго космического аппарата, к которому приближается первый космический аппарат, совпадает с началом координат (на пересечении прямых ОХ – абсцисса и ОУ – ордината).



**Рис. 1.** Графики процессов сближения космических аппаратов на плоскости орбиты (ОХУ) с использованием линейных ускорений по осям  $X$  и  $Y$  (разомкнутое управление; условия сближения 1 и 2 соответственно).

Анализ графиков *рисунка 1* показывает, что их начальные и конечные условия выполняются достаточно хорошо.

Для этих же условий сближения на *рисунке 2* показаны графики изменения скорости и ускорения процессов сближения.



**Рис. 2.** Скорость и ускорение (прямая линия) сближения космических аппаратов по оси X (левый рисунок) и по оси Y (правый рисунок) с достижением заданных конечных координат и скоростей (первое условие сближения).

Из *рисунка 2* видно, что скорость представляет собой параболу ветвями вниз, а ускорение изменяется по линейному закону и меняет свой знак с положительного на отрицательный при достижении половины времени на управление.

Для более плавного (мягкого) сближения космических аппаратов можно использовать сочетание разомкнутого управления (например, по оси OX) и замкнутого закона управления (по оси OY). Так как управление движением центра

масс производится в декартовой системе координат, то оно может быть реализовано с помощью крестообразной схемы из 4-х двигателей, а требуемые линейные ускорения могут быть определены путем расчета величины тяги двигателей при известной массе КА.

Реализация заданных значений скоростей сближения (0,6 км/мин по оси OX и 0,1 км/мин по оси OY) соответствует результирующей скорости сближения  $V_{сбл} \approx 10,1$  м/с, что соответствует требованиям, показанным в таблице 1 (наименьшая скорость в которой 17,45 м/с).

Таким образом, при заданных расстояниях между космическими аппаратами и заданной ширине диаграммы направленности антенны бортовой РТС можно получить существенное отношение сигнал-шум, при котором осуществляется скрытность и защита передаваемой информации, если КА совершает маневр с достижением требуемой скорости сближения.

## Литература

1. Зеленевский В.В., Зеленевский Ю.В., Наконечный Б.М. Статистический анализ двоичных циклических кодов при мягком декодировании их недвоичных представлений. // Известия Института инженерной физики, 2012. №2(24). С. 2-7.
2. Цимбал В.А., Дегтярев В.Б., Богатырев А.Н. Поиск псевдослучайных последовательностей для систем связи с широкополосными сигналами на основе иррациональных чисел и геномных последовательностей // Известия Института инженерной физики, 2011. №1(19). С. 61-64.
3. Куприянов А.И., Шевцов В.В. Оптимизация мер по защите с учетом ценности информации. // Известия Института инженерной физики, 2012. №3(25). С. 2-6.
4. Смирнов Д.В., Иванушкин С.В., Пушкарёв Ю.А. Методика обоснования параметров системы защиты информации от несанкционированного доступа. // Известия Института инженерной физики, 2012. №3 (25). С. 15-21.
5. Пушкарёва Е.Ю., Сергеева Н.А. Синтез регулятора системы автоматического управления антенной в режиме целеуказания на основе метода двухконтурных систем, эквивалентных комбинированным системам // Известия Института инженерной физики, 2012. №2(24). С. 22-26.
6. Пушкарёв Ю.А. Аналитическое конструирование терминальных регуляторов систем управления конечными параметрами по В.Н. Бородавскому // Полет, 2003. №2. С. 40-43.
7. Пушкарёв Ю.А., Родыгин В.А. Критерий достижения инвариантности в детерминированных системах управления движением объектов. М.: Наука. Изв. РАН. Теория и системы управления, 2011. №4. С.20-28.
8. Разоренов Г.Н., Самарин А.А. Теория и системы оптимального управления. М.: МО РФ, 2007. 472 с.

УДК 623.618

## МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ОБОСНОВАННОСТИ ВЫБОРА ВАРИАНТА КСА

Сергей Евгеньевич Кондаков

главный эксперт отдела  
8 управление ГШ ВС РФ  
Тел.: +7(495) 696-30-90

В статье предлагается модель обоснованности выбора варианта КСА для получения количественной оценки показателя обоснованности выбора варианта КСА в условиях неопределенности его создания.

The paper proposes a model of propriety of the CAT option for quantifying indicator validity select option CAT under uncertainty of its creation.

**Ключевые слова:** комплекс средств автоматизации, автоматизированная система военного назначения, процесс принятия решения, модель обоснованности выбора, показатели и функционал качества.

**Keywords:** complex automation tools, automated system for military purposes, the process of deciding the validity of the model selection, performance and functional quality.

При оценке качества принятого решения @ по созданию комплекса средств автоматизации (КСА) в условиях неопределенности используется выражение вида [1]

$$@ = b_{\text{овк}} P_{\text{овк}} + b_{\text{ОКР}} K_{\text{ОКР}}, \quad (1)$$

где  $P_{\text{овк}}$  – показатель обоснованности выбора варианта КСА;

$K_{\text{ОКР}}$  – показатель качества опытно-конструкторской(их) работы (ОКР) по созданию КСА;

$b_{\text{овк}}, b_{\text{ОКР}}$  – нормирующие коэффициенты (обеспечивающие),  $b_{\text{овк}} + b_{\text{ОКР}} = 1$  и  $0 \leq @ \leq 1$  при  $0 \leq K_{\text{ОКР}} \leq 1$ .

В настоящей статье рассматривается модель для получения количественной оценки показателя обоснованности выбора варианта КСА  $P_{\text{овк}}$  в условиях неопределенности его создания. При этом предлагается новый, более простой в отличие от энтропийного, подход к оценке.

Разрабатываемая модель выполняет роль подмодели при оценке качества решения [1] и имеет самостоятельное значение при оценке уровня обоснованности выбора варианта создания КСА в условиях неопределенности.

На рисунке 1 представлена блок-схема модели и ее описание.

Модель состоит из пяти блоков.

Блок 1 фиксирует место показателя обоснованности выбора варианта КСА  $P_{\text{овк}}$  в общей модели качества.

Блок 2 определяет назначение модели (определение показателя  $P_{\text{овк}}$ ) и шкалу искомого показателя. В блоке 3 выявляются и декомпозируются факторы  $\Phi_{\text{оц}}$ , характеризующие обосно-

ванность. Логический анализ показывает, что необходимо иметь две группы факторов: целевые (системные)  $\Phi_{\text{оц}}$  и методические  $\Phi_{\text{ом}}$ . К целевым предлагается отнести такие факторы, как альтернативность –  $\Phi_{\text{оц}a}$ , критериальную базу –  $\Phi_{\text{оц}b}$  и сложность –  $\Phi_{\text{оц}c}$ . Действительно, обоснованность выбора выше, если вариант КСА выбирается из нескольких альтернативных, если используется группа критериев, а не один, если объект описывается несколькими показателями (сложность), характеризующими его различные свойства.

При необходимости множество  $\Phi_{\text{оц}}$  может пополняться. В предполагаемом составе целевых факторов альтернативность характеризуют:  $n_{ai}$  – количество альтернатив при выборе  $i$ -го варианта КСА и  $n_{aimax}$  – максимальное (или желаемое) количество альтернатив при сравнении нескольких решений с условием

$$n_{aimax} \geq n_{ai}.$$

Критериальную базу характеризуют:  $n_{ki}$  – количество используемых критериев, и  $n_{kv}$  – максимальное количество критериев, получаемое путем операции объединения  $U$  множеств критериев при сравнении нескольких решений ( $n_{kv}$  – может быть определено директивно).

Факторы сложности определяют:  $n_{pi}$  – количество показателей, описывающих КСА и процесс принятия решений и  $n_{pu}$  – максимальное количество таких показателей решениях, получаемое путем операции объединения  $U$  множеств показателей (далее это пояснение будет опускаться).

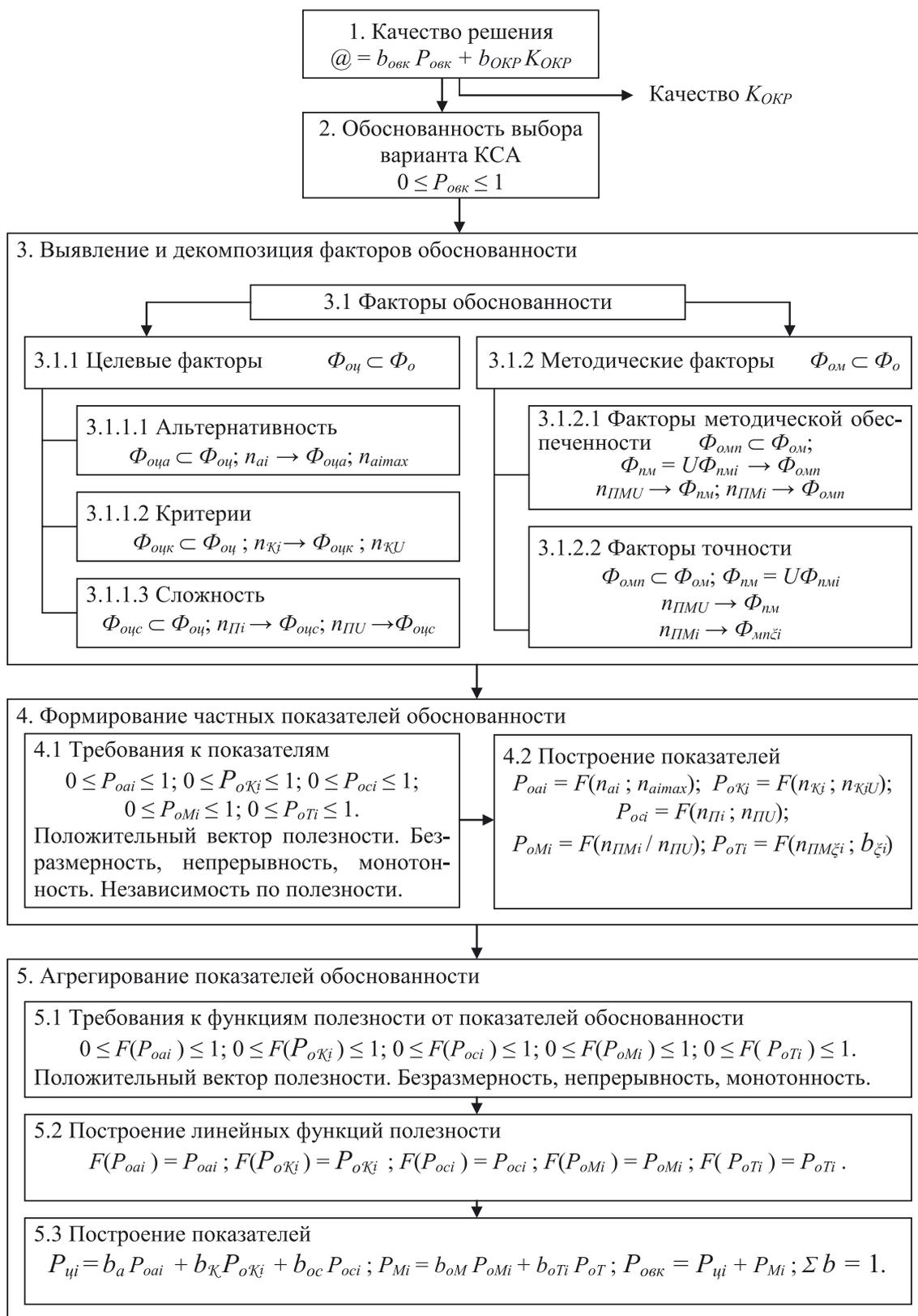


Рис. 1. Блок-схема модели оценки обоснованности при выборе варианта КСА

Множество  $\Phi_{ом}$  методических факторов декомпозируется на  $\Phi_{омн}$  – факторы методической обеспеченности и  $\Phi_{омт}$  – факторы точности.

По аналогии с целевыми факторами  $\Phi_{омн}$  характеризуются:  $n_{пмi}$  – количество показателей, определяемых по методикам при выборе  $i$ -го варианта КСА;  $n_{пму}$  – максимальное количество показателей, определяемых по методикам.

Множество факторов точности  $\Phi_{омт}$  характеризуют:  $n_{пм\xi}$  – количество показателей, определяемых по методикам с точностью (погрешностью)  $\xi$  при выборе  $i$ -го варианта КСА;  $n_{пму}$  – максимальное количество показателей, определяемых по методикам. Основными из них является: положительный вектор полезности; безразмерность, непрерывность, монотонность, независимость по полезности (это относится к показателям одного уровня иерархии). Важным является требование по шкале измерения от 0 до 1.

В подблоке 4.2 конструируются частные показатели обоснованности в виде отношений факторов, определенных в блоке 3. Показатели являются отображениями целевых факторов и имеют вид:

- показатель альтернативности:  $P_{оai} = n_{ai} / n_{aimax}$  ;

- показатель критериальной базы:

$$P_{оKi} = n_{Ki} / n_{Ku}$$

- показатель сложности:  $P_{оPi} = n_{Pi} / n_{пу}$  .

Отображениями методических факторов являются показатели:

- показатель методической обеспеченности:

$$P_{оmi} = n_{пmi} / n_{пму}$$

- показатель точности:

$$P_{оTi} = \sum_{\xi=1}^{\zeta} \frac{n_{пm\xi i}}{n_{пму}} b_{\xi}, \quad (2)$$

где  $b_{\xi}$  – вес методики, по которой определяется показатель;  $\xi$  – определяет класс точности (погрешности) методики,  $\xi=1, \zeta$ .

Например, для  $\xi=1$  погрешность равна 5%, для  $\xi=2$  погрешность равна 10% и т.д. Соответственно для  $b_{\xi} = 1/5$  для 5% погрешности и для  $b_{\xi} = 1/10$  для 10% погрешности, т.е. чем выше точность, тем больше значение  $b_{\xi}$  .

Фактически частные показатели характеризуют уровень разрешения соответствующих неопределенностей выбора варианта КСА  $P_{оок}$  . Для этого агрегируются частные показатели обоснованности. Идея, реализуемая в блоке 5, сводится к следующему. Для агрегирования показателей примем полезностный подход. В [2] показано, что если агрегируемые показатели и функции полезности от них удовлетворяют определенным требованиям, то функционал полезности, в нашем случае показатель  $P_{оок}$ , может быть представлен в аддитивном виде – в виде суммы

произведений функций полезности от частных показателей на их весовые (или нормирующие) коэффициенты.

Под функцией полезности от показателя понимается полезность (ценность) свойства, характеризующего данным показателем.

В этой связи блок содержит три подблока. В подблоке 5.1 формируются основные требования к функциям полезности от показателей  $P_{оai}$  ,  $P_{оKi}$  и  $P_{оCi}$  (требования к самим показателям приведены в блоке 4). Основными требованиями к  $F(P_{оai})$ ,  $F(P_{оKi})$  и  $F(P_{оCi})$  являются:  $F(.)$  должна быть функцией показателя, иметь одинаковый вектор (положительный) полезности с вектором полезности показателя и ряд других (указаны на блок-схеме модели).

В подблоке 5.2 реализуется построение линейных функций полезности от частных показателей обоснованности.

Если к показателям и другим функциям полезности предъявлены одни и те же требования и их области существования и определения совпадают, то существует класс линейных функций полезности для которых их значения и значения самих показателей совпадают [3]. Отсюда  $F(P_{оai}) = P_{оai}$ ,  $F(P_{оKi}) = P_{оKi}$  и т.д.

В подблоке 5.3 непосредственно определяется агрегированный показатель  $P_{оок}$  . На основании [3] в случае линейных функций полезности функционал полезности (в случае  $P_{оок}$ ) может быть определен как

$$P_{оок} = b_{ц} P_{цi} + b_{м} P_{mi}, \quad (3)$$

где  $b_{ц}$  и  $b_{м}$  – весовые (нормирующие) коэффициенты соответствующих показателей обоснованности ( $b_{ц} + b_{м} = 1$ ).

Значения  $P_{цi}$  и  $P_{mi}$  определяются аналогично.

Таким образом, определен один из основных показателей качества решения принимаемого в условиях неопределенности создания КСА, – показатель обоснованности выбора КСА  $P_{оок}$  . Предложенная модель позволяет определить значение этого показателя, адекватное уровню остаточной энтропии  $\mathcal{E}_{ост}$ , не применяя энтропийный подход [4].

## Литература

1. Кондаков С.Е. Модель оценки качества решения в условиях неопределенности на основе использования функций полезности // Известия Института инженерной физики, 2012. №1(23). С. 28-30.
2. Фишберн П. Теория полезности для принятия решений. М.: Наука, 1978.
3. Рассохин Г.Н., Кондаков С.Е., Попов И.А. Способ построения оценочного функционала качества комплекса средств автоматизации // Сборник трудов XXVI Межрегиональной научно-технической конференции. Серпухов: СВИ РВ, 2007.
4. Федулов А.А., Федулов Ю.Г., Цыгичко В.Н. Введение в теорию статистически ненадежных решений. М.: Статистика, 1979.

УДК 004.891.3

## К ПРОБЛЕМЕ ИЗМЕРЕНИЯ И ОЦЕНКИ УРОВНЯ ТЕРРОРИСТИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ

**Андрей Евгеньевич Кузнецов**

*кандидат технических наук, доцент*

старший преподаватель аспирантуры  
МОУ «ИИФ»

Адрес: 142210 Московская область,  
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а

Тел.: +7(4967)35-31-93

E-mail: copran@bk.ru



В статье впервые предложен новый подход к оценке и измерению уровня террористической опасности на основе технологии контент-прагматического анализа информации.

In article for the first time is offered the new approach to an assessment and measurement of a level of terrorist danger on the basis of technology a content-pragmatical of the analysis of the information.

**Ключевые слова:** уровень террористической опасности, оценка уровня террористической опасности, технология контент-прагматического анализа информации.

**Keywords:** level of terrorist danger, assessment of a level of terrorist danger, technology a content-pragmatical of the analysis of the information.

В соответствии с Указом Президента Российской Федерации от 14 июня 2012 г. №851 «О порядке установления уровней террористической опасности, предусматривающих принятие дополнительных мер по обеспечению безопасности личности, общества и государства» [1] на отдельных участках территории Российской Федерации (объектах) предусмотрена возможность устанавливать три уровня террористической опасности: повышенный («синий»), высокий («желтый») и критический («красный»). Также определен круг должностных лиц, уполномоченных принимать подобные решения, и установлены критерии для информации, на основании которой вводятся уровни террористической опасности.

Анализ содержательности критериального отбора информации показывает, что законодателем предложено учитывать ряд ее качественных свойств (относимость, достоверность, полнота и др.), что, по мнению автора, не вполне достаточно для принятия обоснованного решения при установлении уровня террористической опасности.

При выборе критериев не учтена **информативность**<sup>1</sup> признаков выявляемой террористической угрозы, отражающая особенности совершения террористического акта. К таким признакам необходимо отнести, например, характеристику личности преступника, его мотивы, вооруженность, способы совершения террористического акта, стадии (этапность) и др.

Кроме того, для установления уровней террористической опасности уполномоченные должностные лица при реализации своих полномочий должны располагать не только информацией о террористическом акте, но и учитывать размеры территории, количество и характер объектов, подвергающихся террористической атаке, а также вероятные последствия террористического акта и его масштабы.

Поэтому имеется актуальная задача поиска подходов в измерении и оценке уровня терро-

<sup>1</sup> Информативность – 1) насыщенность содержанием; 2) плотность информации; 3) количество сведений, данных, знаний (см.: Новый словарь иностранных слов. М.: Ву EdwART, 2009; Словарь лингвистических терминов: изд. 5-е, испр. и доп. Назрань: Изд-во «Пилигрим». Т.В. Жеребило, 2010).

ристической опасности, устанавливаемого в интересах обеспечения безопасности личности, общества и государства, а также различных объектов инфраструктуры Российской Федерации, которые бы учитывали как можно больше данных, позволяющих уполномоченным должностным лицам принять правильное и обоснованное решение.

Под **уровнем террористической опасности** необходимо понимать степень угрозы жизненно важным интересам личности, общества и государства в результате террористической деятельности<sup>2</sup>.

В качестве количественной характеристики уровня террористической опасности предлагается определить **показатель степени возможности** совершения террористического акта и наступления в результате его осуществления опасных последствий для жизненно важных интересов личности, общества и государства.

Математическая формализация уровня террористической опасности  $L_{td}$  [Level of terrorist danger] может быть представлена кортежем:

$$L_{td} \sim \left\langle \begin{matrix} P_{at} \\ L_c \end{matrix} \right\rangle, \text{ при этом } L_{td} = \overline{0;1}, \quad (1)$$

где  $P_{at}$  [Probability of realization of act of terrorism] – показатель вероятности осуществления террористического акта ( $P_{at} = 0;1$ );

$L_c$  [Level consequence] – показатель вероятности (уровня, степени, масштаба) наступления последствий для личности, общества и государства в результате совершения террористического акта ( $L_c = 0;1$ ).

<sup>2</sup> Термин «террористическая деятельность» определен в статье 3 Федерального закона от 6 марта 2006 г. №35-ФЗ «О противодействии терроризму». Основу террористической деятельности составляют действия по осуществлению террористического акта в той или иной форме на различных стадиях и этапах. К ним отнесены: организация, планирование, подготовка, финансирование, подстрекательство, непосредственная реализация террористического акта; информационное или иное пособничество в планировании, подготовке или реализации террористического акта; организация незаконного вооруженного формирования, преступного сообщества (преступной организации), организованной группы для реализации террористического акта, а равно участие в такой структуре. Кроме того, террористическая деятельность включает в себя вербовку, вооружение, обучение и использование террористов (лиц, занимающихся террористической деятельностью), а также пропаганду идей терроризма, распространение материалов или информации, призывающих к осуществлению террористической деятельности либо обосновывающих или оправдывающих необходимость осуществления такой деятельности.

Поскольку показатели  $P_{at}$  и  $L_c$  носят вероятностный характер, то показатель уровня террористической опасности  $L_{td}$  может быть рассчитан с использованием формулы полной вероятности суммы совместных событий [2]. При этом учитывается, что рассматриваемые события состоят в том, что те или иные их признаки (свойства) принимают те или иные значения.

Тогда показатель уровня террористической опасности  $L_{td}$  может быть определен по формуле:

$$L_{td} = P_{at} + L_c - P_{at}L_c. \quad (2)$$

Показатели  $P_{at}$  и  $L_c$  могут определяться экспертным путем. При этом показатель вероятности наступления последствий  $L_c$  однозначно может быть принят за единицу ( $L_c = 1$ ) в случае, если совершаемый террористический акт влечет за собой:

- гибель хотя бы одного человека;
- значительный экономический (материальный) или экологический ущерб.

Для определения степени наступления возможных материальных и экологических последствий могут использоваться методики прогнозирования последствий для чрезвычайных ситуаций. Такие методики имеются в ряде федеральных органов исполнительной власти, например, МЧС России.

Большое значение для определения показателя уровня террористической опасности  $L_{td}$  имеет правильная оценка вероятности осуществления террористического акта  $P_{at}$ .

Показатель вероятности осуществления террористического акта  $P_{at}$  может быть определен на основе контент-прагматического анализа поступившей информации, т.е. анализа ее комплексного свойства ценности, аккумулирующего в себе множество других качественных свойств информации. В соответствии с технологией контент-прагматического анализа данных (CoPrAn) [3] каждое  $n$ -ое качественное свойство информации может характеризоваться **оценочным показателем информативности**  $A_n$  ( $A_n = \overline{0;1}$ ,  $n = \overline{1;N}$ ).

Оценочный показатель информативности  $A_n$  – это вероятностный коэффициент проявления для потребителя  $n$ -ого качественного свойства информации в определенных условиях, который показывает, **насколько это качественное свойство реально отражает свое заявленное смысловое (мысленное) содержание**.

Если считать, что любое качественное свойство информации полностью отвечает своему смысловому содержанию, то показатель вероятности осуществления террористического акта  $P_{at}$  будет определяться показателем ценности информации  $V_I$  и может быть выражена кортежем:

$$P_{at} \xrightarrow{\text{CoPrAn}} V_I \sim \left\langle A_n \middle| N \right\rangle, \quad (3)$$

где  $V_I$  – показатель ценности информации, характеризующий насколько она определяет свое целевое содержание с точки зрения наступления возможных последствий от террористической угрозы;  $A_n$  – оценочный показатель информативности выбранного  $n$ -ого качественного свойства информации;  $N$  – количество оценочных показателей (выбранных качественных свойств информации).

При установлении уровней террористической опасности законодателем предложено учитывать такие качественные свойства информации, как:

- относимость  $A_o$  (свойство информации иметь отношение к проблеме, объекту, свойству, процессу, явлению, в частности, к совершению террористического акта);
- достоверность  $A_d$  (свойство информации быть правильно воспринятой или отражать реально существующие объекты с необходимой точностью);
- своевременность  $A_c$  (свойство информации, обеспечивающее возможность ее использования в заданный момент времени);
- важность  $A_g$  (свойство информации, характеризующее ее большое значение для потребителя);
- полнота  $A_n$  (свойство информации, характеризуемое мерой её достаточности для решения определенного круга задач);
- актуальность  $A_a$  (свойство информации сохранять свою начальную ценность для использования во времени).

С учетом этого показатель вероятности осуществления террористического акта  $P_{at}$  будет определяться как:

$$P_{at} \xrightarrow{\text{CoPrAn}} \langle A_o, A_d, A_c, A_g, A_n, A_a \rangle, \quad (4)$$

где  $A_o, A_d, A_c, A_g, A_n, A_a$  – соответственно оценоч-

ные показатели информативности выбранных качественных свойств информации: относимости, достоверности, своевременности, важности, полноты и актуальности.

Поскольку заявленные качественные свойства информации должны проявляться все вместе и одновременно, показатель вероятности осуществления террористического акта  $P_{at}$  будет определяться по формуле вероятности произведения совместных событий [2]:

$$P_{at} = A_o \cdot A_d \cdot A_c \cdot A_g \cdot A_n \cdot A_a. \quad (5)$$

Если принять правомерные допущения, что полученные данные действительно относятся к исследуемому явлению ( $A_o \rightarrow 1$ ), своевременны ( $A_c \rightarrow 1$ ), важны ( $A_g \rightarrow 1$ ) и актуальны ( $A_a \rightarrow 1$ ), то формула (5) примет вид:

$$P_{at} = A_d \cdot A_n, \quad (6)$$

где  $A_d$  – оценочный показатель, показывающий насколько сведения достоверны;  $A_n$  – оценочный показатель, показывающий насколько сведения достаточны (полны) для решения поставленной задачи.

Для определения достоверности информации  $A_d$  существуют частные методики, основанные на экспертных оценках. Например, в 60-х годах XX века известный американский специалист в области оценки информации Ш. Кент предложил таблицу, переводящую интуитивную оценку достоверности информации в «процент достоверности» (см. таблицу 1).

Исследуя другое качественное свойство информации, ее полноты ( $A_n$ ), исходим из того, что полнота – это определяющая сторона целого, совокупность его частей. Отсюда полнота информации есть не что иное, как достаточная совокупность различных сведений, прямо относящихся к исследуемому событию. При оценке такого события, как совершение террористического акта, полноту информации будут составлять сведения о признаках состава преступления, предусмотренного статьей 205 Уголовного кодекса Российской Федерации (террористиче-

**Таблица 1**

Оценка	% достоверности	Показатель $A_d$
Уверен	100 %	1,0
Почти уверен	93 % ± 6 %	0,87 - 0,99
Вероятно	75 % ± 12 %	0,63 - 0,87
Шансы примерно равны	50 % ± 10 %	0,4 - 0,6
Маловероятно	30 % ± 10 %	0,2 - 0,4
Почти уверен в обратном	7 % ± 5 %	0,02 - 0,12
Уверен в обратном	0 %	0

ский акт)<sup>3</sup>, как общественно опасного, наказуемого деяния, совершенного умышленно лицом (группой лиц).

При этом необходимо учитывать, что террористический акт является особо тяжким преступлением, и в соответствии с Уголовным кодексом Российской Федерации уголовная ответственность за его совершение наступает с момента приготовления<sup>4</sup>.

Исходя из этого, полнота информации о совершении террористического акта будет определяться содержанием информации на всех стадиях совершения преступления, т.е. о приготовлении, покушении и оконченом преступлении, а также объемом и информативностью имеющихся признаков его состава (об объекте, объективной стороне, субъекте и субъективной стороне).

Тогда оценочный показатель полноты информации о совершении террористического акта можно рассчитать по формуле полной вероятности суммы совместных событий:

$$A_n = A_{об} + A_{сб} - A_{об}A_{сб}, \quad (7)$$

где  $A_{об}$  – оценочный показатель информативности сведений об объекте посягательства и объективной стороне террористического акта, начиная со стадии приготовления ( $A_{об} = 0;1$ );

$A_{сб}$  – оценочный показатель информативности сведений о субъекте и субъективной стороне террористического акта ( $A_{сб} = 0;1$ ).

С учетом зависимостей (2), (6) и (7) показатель уровня террористической опасности  $L_{ид}$  будет определяться как:

$$L_{ид} = L_c + (A_{об} + A_{сб} - A_{об}A_{сб})A_d - (A_{об} + A_{сб} - A_{об}A_{сб})A_dL_c. \quad (8)$$

<sup>3</sup> Террористический акт – совершение взрыва, поджога или иных действий, устрашающих население и создающих опасность гибели человека, причинения значительного имущественного ущерба либо наступления иных тяжких последствий, в целях воздействия на принятие решения органами власти или международными организациями, а также угроза совершения указанных действий в тех же целях (см. статью 205 Уголовного кодекса Российской Федерации / Собрание законодательства Российской Федерации, 1996, № 25, ст. 2954).

<sup>4</sup> Приготовлением к преступлению признаются присяжание, изготовление или приспособление лицом средств или орудий совершения преступления, присяжание соучастников преступления, сговор на совершение преступления либо иное умышленное создание условий для совершения преступления, если при этом преступление не было доведено до конца по не зависящим от этого лица обстоятельствам (см. часть 1 статьи 30 Уголовного кодекса Российской Федерации).

Если считать, что наличие сведений о совершении террористического акта в отношении какого-либо объекта, высокая степень их достоверности и высокий уровень возможных последствий будет соответствовать показателю, близкому к 1, а отсутствие информации или невысокий уровень последствий – показателю, близкому к 0, то такие условия могут быть заданы в виде *таблицы 2*.

*Таблица 2* представляет собой матрицу частных оценочных показателей, характеризующих уровни террористической опасности:

$$L_{ид}^k = \left\| R_j^k \right\|, \quad (9)$$

где  $R_j^k$  – частные оценочные показатели  $A_{об}^k, A_{сб}^k, A_d^k, L_c^k$  для каждого из  $k$ -го уровня террористической опасности;

$k = \overline{0;K}$  – количество уровней террористической опасности;

$j = \overline{0;J}$  – количество оценочных показателей.

Пример расчета показателя уровня террористической опасности по формуле (8) показан в *таблице 3*.

Количество оценочных показателей  $j = \overline{0;J}$  может варьироваться, в зависимости от необходимой точности оценки уровня террористической опасности. Очевидно, что, чем больше оценочных показателей, тем выше точность.

В частности, оценочный показатель информативности сведений о субъекте и субъективной стороне террористического акта  $A_{сб}$  может быть выражен дополнительно через показатели, характеризующие информативность сведений о субъекте преступления  $A_1$  и о его субъективной стороне  $A_2$  ( $A_{сб} \sim \langle A_1, A_2 \rangle$ ).

Аналогично может быть выражен оценочный показатель информативности сведений об объекте и объективной стороне террористического акта  $A_{об}$ , например, показателями, характеризующими информативность сведений об объекте  $A_3$ , предмете посягательств  $A_4$ , а также о приискании средств  $A_5$  и приискании соучастников совершения преступлений  $A_6$  ( $A_{об} \sim \langle A_3, A_4, A_5, A_6, \dots \rangle$ ).

В этом случае в *таблице 2* количество столбцов, относящихся к полноте полученных данных, увеличится. Это позволит лицу, принимающему решение на установление уровня террористической опасности, контролировать поступление информации, оценивать ее качество и количество.

Наиболее эффективно решение задач, связанных с установлением уровней террористической опасности на основе технологии *CoPrAn*, может проводиться с помощью **экспертных систем**. При этом экспертная система должна формиро-

Таблица 2

Вероятность осуществления террористического акта		Достоверность полученных данных $A_o$	Уровень последствий $L_c$	Совершение террористического акта (серии терактов)	Уровень террористической опасности
Полнота полученных данных					
Сведения об объекте и объективной стороне преступления $A_{об}$	Сведения о субъекте и субъективной стороне преступления $A_{сб}$				
Не имеются $A_{об} = 0$	Не имеются $A_{сб} = 0$	-	-	-	<b>Низкий</b>
Не имеются $A_{об} = 0$ или имеются $A_{об} \rightarrow 1$	Имеются $A_{сб} \rightarrow 1$	Любая	Не высокий $L_c \rightarrow 0$	-	<b>Повышенный</b>
Имеются $A_{об} \rightarrow 1$	Имеются $A_{сб} \rightarrow 1$	Большая $A_o \rightarrow 1$	Высокий $L_c \rightarrow 1$	-	<b>Высокий</b>
Имеются $A_{об} \rightarrow 1$	Имеются $A_{сб} \rightarrow 1$	Очень большая $A_o \rightarrow 1$	Очень высокий $L_c = 1$	Совершен или не совершен	<b>Критический</b>
Имеются $A_{об} \rightarrow 1$	Имеются $A_{сб} \rightarrow 1$	Высокая $A_o \rightarrow 1$	Очень высокий $L_c = 1$	Совершены несколько терактов	<b>Чрезвычайный</b>

ваться на наборе фактов, относящихся к терроризму (террористической деятельности, совершению террористических актов), и правил, участвующих технологию *CoPrAn*. Дополнительно экспертная система может иметь доступ к банкам данных, в которых содержатся сведения о террористах и террористических организациях, способах и средствах совершения террористических актов (актов терроризма), а также другие сведения, относящиеся к террористической проблематике и способствующие принятию правильного решения.

Оценка и измерение уровней террористической опасности также может проводиться с помощью **интеллектуальных систем управления**,

к которым, в частности, относят комплексы ситуационного управления сложными техническими и (или) организационными системами с помощью логико-лингвистических моделей по текущим ситуациям.

### Литература

1. Указ Президента Российской Федерации от 14 июня 2012 г. №851 «О порядке установления уровней террористической опасности, предусматривающих принятие дополнительных мер по обеспечению безопасности личности, общества и государства» / Собрание законодательства Российской Федерации, 2012. № 25. Ст.3315.
2. Вентцель Е.С. Теория вероятностей: Учебник для студ. вузов. 9-е изд., стер. М.: Академия, 2003. 576 с.
3. Кузнецов А.Е. Управление информацией: Нетрадиционный взгляд на информационные процессы. Серпухов: ООО «Верста», 2012. 188 с.: ил.

Таблица 3

$A_{об}$	$A_{сб}$	$A_o$	$L_c$	$m$	Показатель уровня террористической опасности
0	0				0
0,5	1	0,45	0,1		0,505
1	1	0,8	0,88		0,976
1	1	0,95	0,98	1	0,999
1	1	1	1	2	1

УДК 621.318.3.01

## РАСЧЕТНЫЕ ОЦЕНКИ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ БИСТАБИЛЬНЫХ ЦИФРОВЫХ УСТРОЙСТВ С ДУБЛИРОВАНИЕМ ПАМЯТИ В УСЛОВИЯХ СИЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОМЕХ

**Сергей Николаевич Гончаров**

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

**Николай Александрович Прудкой**

начальник научно-исследовательской  
лаборатории  
ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»  
Адрес: 607181, Нижегородская обл.,  
г. Саров, пр-т Мира, д. 37  
Тел.: +7(3130)2-94-94

**Игорь Геннадьевич Машин**

начальник отдела  
в/ч 10281, г. Саров

**Анатолий Александрович Скоробогатый**

главный инженер 8 отдела 8 Управления  
ГШ ВС РФ, г. Москва

В статье представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований помехоустойчивости бистабильных цифровых устройств с дублированием ячеек памяти.

The article presents the results of theoretical and experimental studies of noise immunity, the bistable digital devices with memory cell duplication feature.

**Ключевые слова:** цифровые устройства, электромагнитная обстановка, помеха, помехоустойчивость.

**Keywords:** digital device, electromagnetic environment, noise, noise immunity.

### Введение

Расширение области применения цифровых устройств, в частности, использование их в составе систем управления и контроля объектов энергетики, привело к усложнению электромагнитной обстановки, в которой они эксплуатируются, из-за влияния мощных импульсных электромагнитных помех естественного и промышленного происхождения.

Эти помехи могут вызывать как необратимые (отказы), так и обратимые (сбои) нарушения работоспособности цифровых устройств. Поскольку деградационная устойчивость цифровых устройств существенно выше их устойчивости к сбоям, то, в первую очередь помехи представляют опасность для цифровых устройств с точки зрения возможных сбоев в их работе. Наиболее очевидным, достаточно простым и эффективным способом снижения чув-

ствительности к наводимым помехам функциональных элементов и устройств является увеличение схемными мерами их инерционности и порогов переключения. Один из возможных способов увеличения инерционности для цифровых устройств с памятью заключается в дублировании каждой ячейки памяти отдельным запоминающим элементом (ЗЭ) электрического типа на основе RC-цепей [1]. ЗЭ электрического типа отличаются малыми габаритами и хорошей совместимостью с интегральными микросхемами по электрическим и конструктивным параметрам.

В настоящей работе представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований помехоустойчивости бистабильных цифровых устройств с дублированием ячеек памяти. В качестве объектов исследований выбраны RS-триггеры на основе КМОП микросхемы.

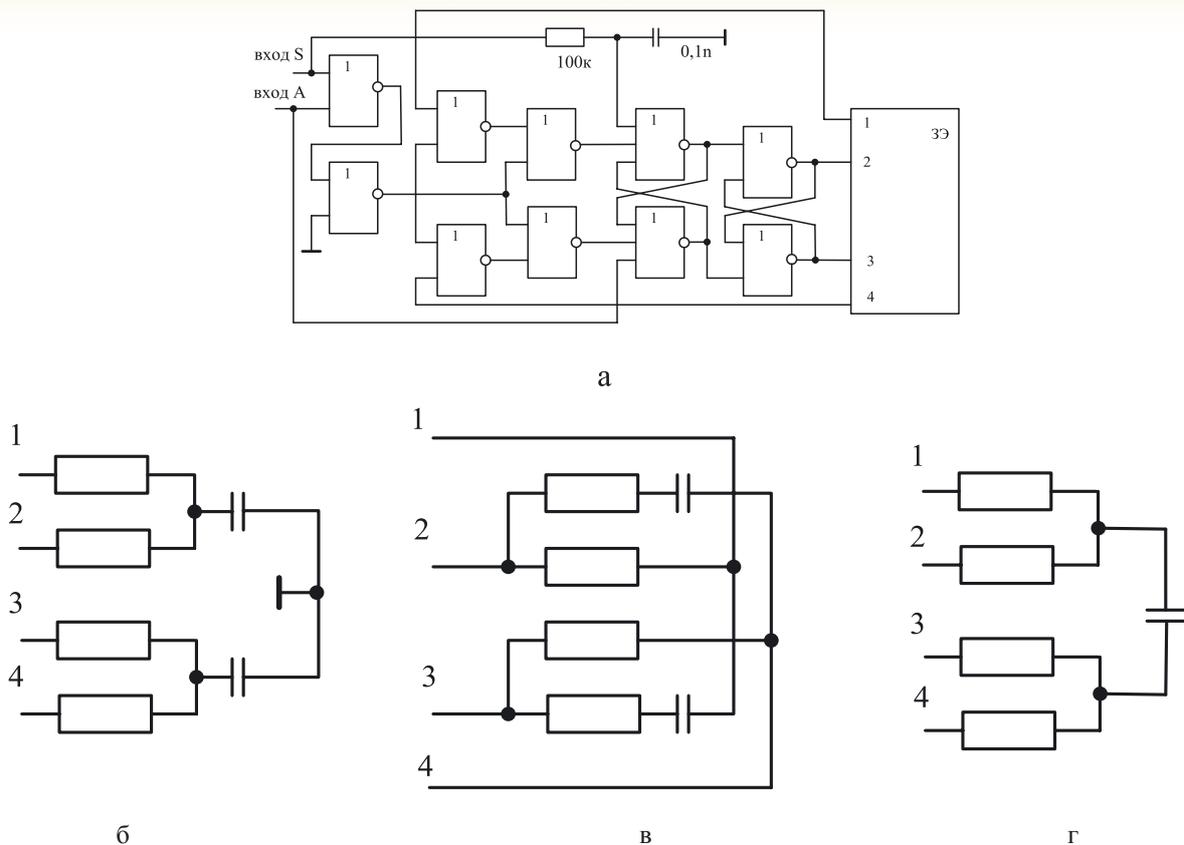


Рис. 1. Электрические схемы триггера (а) и пассивные запоминающие элементы (б, в, г)

### Теоретический анализ

Схема исследуемых RS-триггеров приведена на рисунке 1а. А на рисунках 1б-г – варианты ЗЭ электрического типа на основе RC-цепей. Интегрирующая RC-цепь по S входу предотвращает восстановление исходного состояния триггера после воздействия помехи, компенсируя возможную склонность самой схемы к переключению в исходное состояние логического «0» и уменьшая вероятность сбоя.

Остаточным отрицательным результатом воздействия помех на триггеры является ложное переключение ячеек памяти. Поскольку состояние триггера в режиме хранения информации однозначно определяется состоянием ЗЭ, то именно они определяют устойчивость триггера к воздействию помех (при условии отсутствия деградации элементов под воздействием помех). Если к окончанию воздействия помехи конденсаторы сохранили свое состояние (критерием сохранения состояния является сохранение напряжения на входе «1» не менее 0,7 Uпит, и напряжения на входе «0» не более 0,3 Uпит), то ячейка памяти восстановит состояние, в котором она находилась до воздействия помехи.

Напряжения на конденсаторах ЗЭ изменяет-

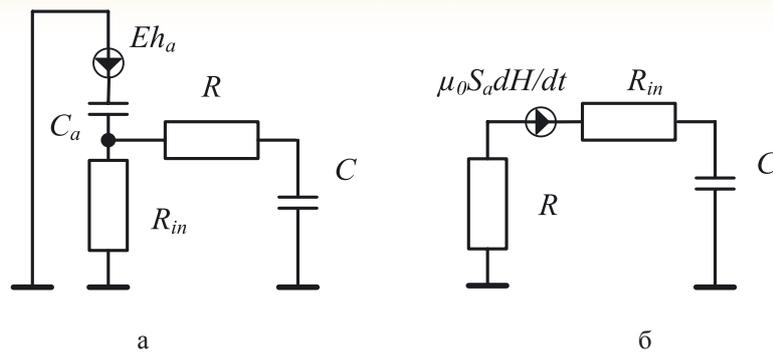
ся за счет ложного срабатывания или кратковременной потери работоспособности логических элементов, а также за счет непосредственного воздействия помех на ЗЭ. Предполагая, что в наихудшем случае обе причины действуют согласованно, можно записать для изменения напряжения  $\Delta U(t)$  на конденсаторе ЗЭ

$$\Delta U(t) = U \sup \left( \frac{t}{1 - e^{-t/T_{RC}}} \right) + \frac{\int U_{int}(t) dt}{T_{RC}}, \quad (1)$$

где  $U_{int}(t)$  - напряжение помехи, действующей в цепи конденсатора ЗЭ;

$T_{RC}$  - постоянная времени ЗЭ.

При выводе этой формулы предполагалось, что в цепи питания триггера напряжение либо сохраняется, либо пропадает полностью, а длительность помехи в цепи конденсатора ЗЭ во много раз меньше постоянной времени ЗЭ. Первое предположение обосновано тем, что цепи питания имеют достаточно хорошую защиту от импульсных помех, т.е. эти помехи всегда можно подавить без всякого ущерба для функционирования устройства. В то же время перерывы питания, формирующиеся в результате тиристорного эффекта, принципиально не могут быть устранены, поскольку именно



**Рис. 2.** Эквивалентные схемы воздействия помех на ЗЭ:  
а – воздействие электрического поля; б – воздействие магнитного поля.

на возникновении перерыва питания основана защита от тиристорного эффекта. А второе предположение всегда выполняется автоматически, так как  $T_{RC}$  выбирается таким образом, чтобы к моменту окончания помехи конденсатор ЗЭ разрядился не более чем на 30%.

Отметим, что в общем случае  $T_{RC}$  зависит от состояния элементов триггера. Однако это не столь существенно, так как мы можем подразумевать под  $T_{RC}$  ее наименьшее значение для всех возможных состояний.

Подразумевая, что  $\Delta U(t)$  не выходит за допустимые пределы (т.е.  $\Delta U(t) = 0,3U_{sup}$ ) можно записать

$$\Delta U(t) = \frac{U_{sup} \square t_{dis}}{T_{RC}} + \frac{U_{int} t_{eff}}{T_{RC}}, \quad (2)$$

где  $U_{int}$  – амплитуда помехи;

$t_{eff}$  – эффективная длительность помех в цепи ЗЭ определяется из следующего соотношения  $\int_0^{t_{eff}} U_{int}(t) dt = U_{int} t_{eff}$ ;

$t_{dis}$  – длительность сбоя в работе или потери работоспособности элементов триггера.

Отсюда получаем критерий сохранения состояния триггера

$$t_{dis} + \frac{U_{int} t_{eff}}{U_{sup}} \leq 0,3 T_{RC} \quad (3)$$

Как показал анализ, критерий отсутствия сбоев для триггера можно представить в следующем обобщенном виде:

$$t_{dis} \leq T_{iner}^{eff}, \quad (4)$$

где  $T_{iner}^{eff} = T_{iner} - \Delta T_{iner}$  – эффективное время инерции ЗЭ;

$T_{iner}$  – время инерции ЗЭ ( $T_{iner} = 0,3 T_{RC}$ );

$\Delta T_{iner} = \frac{U_{int}}{U_{sup} \square t_{eff}}$  – поправка, учитывающая

непосредственное влияние помех на цепи ЗЭ.

Оценим влияние помех на инерционность цепи ЗЭ, т.е. оценим величину поправки  $T_{iner}$ . Для этого представим эти цепи или в виде электрически малой емкостной антенны (в случае воздействия электрического поля), или в виде электрически малой рамочной антенны (в случае воздействия магнитного поля). Эквивалентные схемы представлены на рисунке 2.

Из этих эквивалентных схем, учитывая, что  $R_{in}$ , а длительность сбоя в работе или потери работоспособности элементов триггера  $t_{dis}$  примерно равно времени действия помехи, получаем:

$$\left. \begin{aligned} \Delta T_{iner} &\leq \frac{E_{max} t_{dis} h_a C_a R_{in}}{U_{sup} R \cdot C} \approx 0,3 \frac{h_a C_a R_{in}}{U_{sup} \square E_{max}} \\ \Delta T_{iner} &\leq \frac{\mu_0 H_{max} S_a t_{dis}}{U_{sup} R \cdot C} \approx 0,3 \frac{\mu_0 S_a}{U_{sup} \square H_{max}} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Подставляя в (5) оценки типовых значений параметров цепей ЗЭ:

$$h \approx 10^{-2} \text{ м}; S_a \approx 10^{-4} \text{ м}^2; C_a \approx 10^{-12} \text{ Ф}; R_{in} \approx 10 \text{ Ом};$$

$$U_{sup} \approx 10 \text{ В}, \text{ получаем:}$$

$$\Delta T_{iner} \leq 0,3 \cdot 10^{-14} E_{max}, \quad \Delta T_{iner} \leq 0,3 \cdot 10^{-11} H_{max}.$$

Для защиты от мощных импульсных помех  $T_{iner}$  должно составлять десятки и даже сотни микросекунд. Как следует из проведенных оценок, влиянием помех на ЗЭ, даже при предельных их параметрах можно пренебречь и при выборе ЗЭ руководствоваться критерием

$$t_{dis} \leq T_{iner} \quad (6)$$

Из проведенного анализа следует, что устойчивость триггеров к сбоям определяется соотношением между длительностью воздействующих помех и инерционностью ЗЭ и не зависит от амплитуды помех вплоть до уровня, при котором начинается деградация элементной базы.

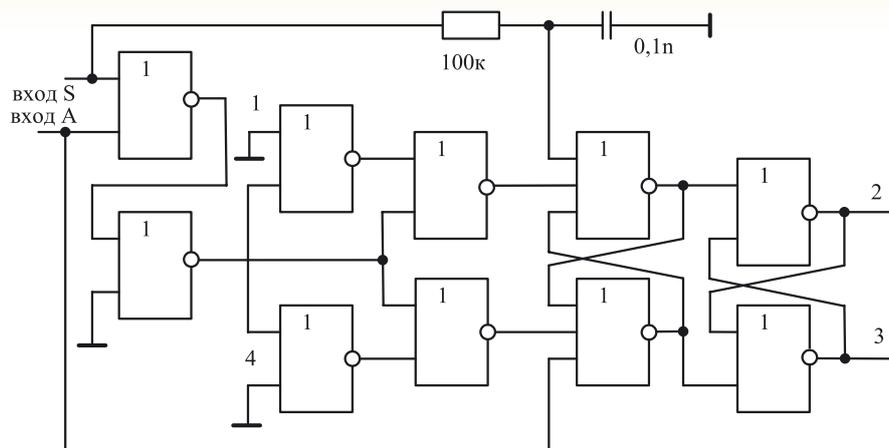


Рис. 3. Электрическая схема триггера без запоминающих элементов

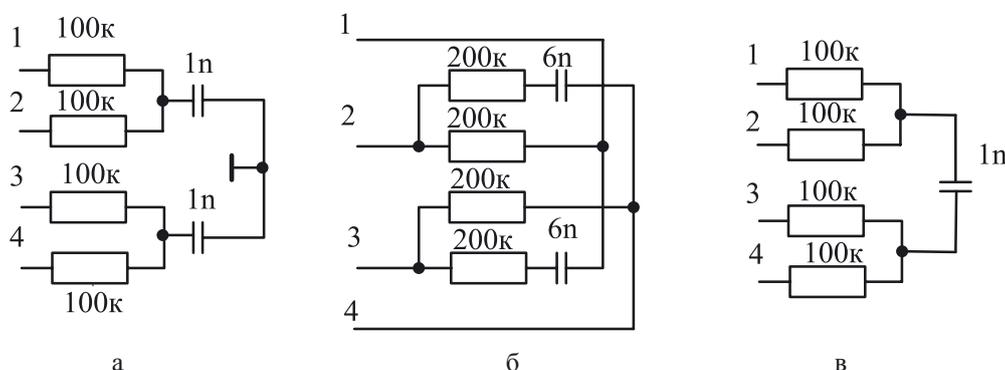


Рис. 4. Параметры запоминающих элементов

## Экспериментальные исследования

Для подтверждения возможности повышения предлагаемыми методами уровней бессбойной работы триггеров до уровня их деградиционной устойчивости были проведены сравнительные испытания. В экспериментах сравнивалась помехоустойчивость описанных выше трех триггеров с контрольным триггером, в котором специальные меры по обеспечению помехоустойчивости не предпринимались. Схема контрольного триггера представлена на рисунке 3.

Параметры запоминающих элементов приведены на рисунке 4.

Для экспериментов были изготовлены экспериментальные образцы триггеров и комплект оснастки.

Конструктивно экспериментальные образцы триггеров были выполнены на основе печатных плат. Для обеспечения идентичности воздействия на объекты электромагнитных факторов в процессе проведения экспериментальных исследований, монтаж элементов триггеров был выполнен одинаково у всех экспериментальных образцов.

Пример конструктивного исполнения экспериментального образца триггера приведен на рисунке 5.

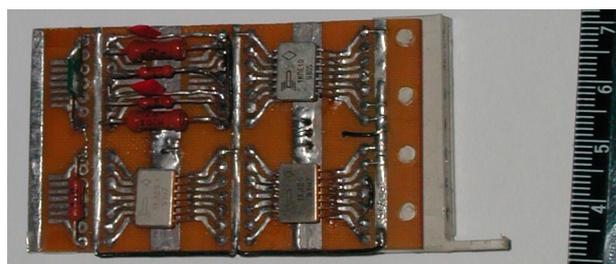


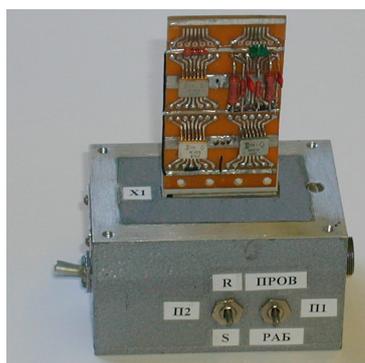
Рис. 5. Типовое конструктивное исполнение экспериментального образца триггера

Комплект оснастки включал: переходную коробку, жгут, сменный экран, кабельные генераторы.

Переходная коробка служила для: а) подачи на испытываемые триггеры питания и управляющих сигналов; б) передачи на контрольно-измерительную аппаратуру информации о параметрах воздействующих помех и реакции испытываемых триггеров на испытательные воздей-

ствия; в) проверки работоспособности триггеров в процессе экспериментальных исследований.

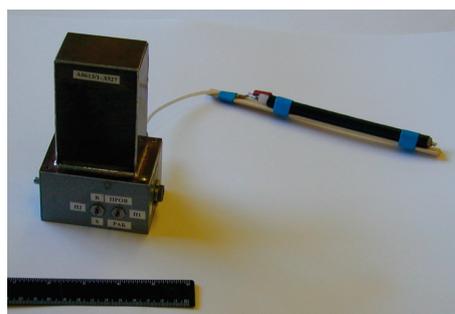
Конструктивно переходная коробка представляет собой прямоугольный металлический корпус, на котором расположены соединители для установки плат триггеров, подключения цепей питания и контроля, подачи кондуктивных помех на цепи триггеров, а также переключатели для задания режимов работы триггеров. Общий вид переходной коробки с установленной платой триггера приведен на *рисунке 6*.



**Рис. 6.** Переходная коробка с установленной платой триггера

При исследовании воздействия индуктивных помех установленные на переходную коробку платы триггеров размещались в рабочем объеме установки-имитатора индуктивных помех. Опыты проводили при трех взаимно перпендикулярных ориентациях платы триггера относительно воздействующих полей.

При исследованиях устойчивости образцов к воздействию кондуктивных помех установленная на переходной коробке плата закрывалась металлическим экраном, а кондуктивные помехи возбуждались на входных цепях испытываемых объектов существующими в рабочем объеме имитатора полями за счет их воздействия на специально сконструированную цепь – кабельный генератор (*фигунок 7*). Размеры и конструк-



**Рис. 7.** Переходная коробка с платой триггера, закрытой экраном с кабельным генератором

ция кабельного генератора подбирались таким образом, чтобы получить помехи с требуемыми характеристиками.

В ходе экспериментальных исследований триггеры подвергались воздействию трех разновидностей индуктивных импульсных помех, а также двух разновидностей кондуктивных импульсных помех во входных цепях триггеров.

Индуктивные помехи имели следующие временные характеристики:

а) наносекундная импульсная помеха в виде плоской электромагнитной волны со временем нарастания  $t_r = 10$  нс и длительностью импульса (по уровню 0,5)  $t_{\square r}^{0,5} = 50$  нс;

б) наносекундная импульсная помеха в виде плоской электромагнитной волны со временем нарастания  $t_r = 4$  нс и длительностью импульса  $t_{\square r}^{0,5} = 50$  нс;

в) микросекундная импульсная помеха в виде импульса магнитного поля со временем нарастания  $t_r = 1$  мкс и длительностью импульса  $t_{\square r}^{0,5} = 100$  мкс.

Кондуктивные помехи имели следующие временные характеристики:

а) наносекундная импульсная помеха в виде затухающей синусоиды частотой  $f \approx 100$  МГц и длительностью (по уровню 0,1)  $t_{\square d}^{0,1} \approx 100$  нс;

б) микросекундная импульсная апериодическая помеха со временем нарастания  $t_r = 100$  нс и длительностью (по уровню 0,1)  $t_{\square d}^{0,1} \approx 300$  мкс.

Результаты экспериментальных исследований представлены в *таблице 1*.

Анализируя представленные в таблице данные, можно сделать следующие выводы.

Воздействие индуктивных импульсных наносекундных помех приводит к сбоям триггеров без ЗЭ уже при минимальных реализованных уровнях воздействия (10 кВ/м). При воздействии этих же помех на триггеры с пассивными ЗЭ сбой не были зафиксированы вплоть до уровней, при которых происходила необратимая потеря работоспособности (320-460 кВ/м).

Воздействие индуктивных импульсных микросекундных помех приводит к сбоям триггеров без ЗЭ при уровне воздействия (350 А/м). При воздействии этих же помех на триггеры с пассивными ЗЭ сбой не были зафиксированы вплоть до предельных уровней, реализованных в испытании (3500 А/м).

Воздействие кондуктивных помех приводит к сбоям триггеров без запоминающих элементов при уровнях:

$$U_m \approx 190\text{В} - \text{ для наносекундных помех,}$$

$$U_m \approx 4,5\text{-}5\text{В} - \text{ для микросекундных помех.}$$

При воздействии этих же помех на триггеры с ЗЭ сбой не были зафиксированы вплоть до

Таблица 1

Результаты экспериментальных исследований триггеров

Тип помехи	Запоминающий элемент	Уровень деградации	Уровень сбоя
Наносекундная индуктивная ( $t_r=4$ нс)	Тип 1	320 - 460 кВ/м	Не зафиксировано
	Тип 2	460 - 750 кВ/м	Не зафиксировано
	Тип 3	320 - 460 кВ/м	Не зафиксировано
	Отсутствует	не определялся	<100 кВ/м*
Наносекундная индуктивная ( $t_r=10$ нс)	Тип 1	не зафиксировано до 500 кВ/м**	Не зафиксировано до 500 кВ/м**
	Тип 2	не зафиксировано до 500 кВ/м**	Не зафиксировано до 500 кВ/м**
	Тип 3	не зафиксировано до 500 кВ/м**	Не зафиксировано до 500 кВ/м**
	Отсутствует	не определялся	<10 кВ/м*
Микросекундная индуктивная	Тип 1	не зафиксировано до 3500 А/м**	Не зафиксировано до 3500 А/м**
	Тип 2	не зафиксировано до 3500 А/м**	Не зафиксировано до 3500 А/м**
	Тип 3	не зафиксировано до 3500 А/м**	Не зафиксировано до 3500 А/м**
	Отсутствует	не определялся	<350 А/м*
Тип помехи	Запоминающий элемент	Уровень деградации	Уровень сбоя
Наносекундная кондуктивная	Тип 1	2600 – 2800 В	Не зафиксировано
	Тип 2	2600 – 2800 В	Не зафиксировано
	Тип 3	2600 – 2800 В	Не зафиксировано
	Отсутствует	не определялся	120 – 190 В
Микросекундная кондуктивная	Тип 1	41 – 55 В	Не зафиксировано
	Тип 2	41 – 55 В	Не зафиксировано
	Тип 3	41 – 55 В	Не зафиксировано
	Отсутствует	не определялся	4,5 – 5,5 В

\* минимальные уровни, которые были реализованы в испытаниях;

\*\* максимальные уровни, которые были реализованы в испытаниях

уровней, при которых происходила необратимая потеря работоспособности:

$U_m \approx 2600-2800$  В – для наносекундных помех,

$U_m \approx 40-55$  В – для микросекундных помех.

Таким образом, экспериментально подтверждено, что дублирование ячеек памяти запоминающими элементами на основе RC-цепей позволяет достичь уровней помехоустойчивости RS-триггеров, определяемых уровнями деградации микросхем.

### Заключение

Теоретически показано и экспериментально подтверждено, что использование в качестве основы для построения цифровых устройств триггеров,

дополненных пассивными запоминающими элементами на основе RC-цепей, позволяет достичь уровней их помехоустойчивости, определяемых уровнями деградации микросхем.

Данное схемное решение может быть использовано для цифровых устройств, предназначенных для работы в условиях тяжелой помеховой обстановки.

### Литература

1. Шишкин Г.И. Помехозащищенные цифровые устройства. Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 1999.
2. Гончаров С.Н., Шишкин Г.И. Функциональные устройства цифровых систем: Монография / Под ред. А.П. Мартынова. Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2011.

# СИСТЕМЫ СВЯЗИ

УДК 623.62

## МЕТОДИКА ВЫБОРА РАЦИОНАЛЬНОГО ВАРИАНТА РАЗМЕЩЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОННОГО МОНИТОРИНГА ПОДКОНТРОЛЬНЫХ ЛИЦ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

**Альберт Геннадьевич Демиденко**

*кандидат технических наук*

заместитель генерального директора по научной работе  
ЗАО КБ «Панорама»

Адрес: 142400, Московская обл., г. Ногинск,

ул. Рогожская, д. 117

Тел.: +7(496)519-40-83 E-mail: panorama@gisinfo.ru

**Дмитрий Вячеславович Смирнов**

*доктор технических наук, доцент*

Генеральный директор –

Первый Вице-президент Института

МОУ «ИИФ»

Адрес: 142210 Московская обл., г. Серпухов,

Большой Ударный пер., д. 1а

Тел.: +7(4967)35-31-93

**Евгений Петрович Зараменских**

старший научный сотрудник  
МОУ «ИИФ»

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

Большой Ударный пер., д. 1а

Тел.: +7(4967)35-31-93

В статье рассматривается методика определения мест для размещения элементов системы электронного мониторинга подконтрольных лиц на базе радиосети передачи данных с применением геоинформационных технологий.

In article the technique of definition of places for placement of elements of system of electronic monitoring of under control persons on the basis of a data transmission radio network with application of geoinformation technologies is considered.

**Ключевые слова:** электронный мониторинг, радиосеть передачи данных, цифровая модель рельефа, структура связи, объект мониторинга, геоинформационная система.

**Keywords:** : electronic monitoring, data transmission radio network, digital model of a relief, communication structure, object of monitoring, geoinformation system.

В настоящее время получили широкое распространение такие технологии как радиочастотная идентификация, передача данных по сотовым каналам связи. Их применение для задач мониторинга подконтрольных лиц позволяет повысить эффективность мониторинга за счет непрерывности и устойчивости контроля.

Изменения в законодательстве РФ, разрешающие применение сотрудниками органов государственной власти специальных технических средств для мониторинга за подконтрольными лицами (ПЛ), дают новые возможности по повышению эффективности системы контроля, а также приводят к качественным изменениям в организации системы мониторинга.

В условиях современного развития технологий передачи данных развертывание СЭМПЛ в районах с развитой инфраструктурой сетей передачи данных не представляет большой сложности. Это убедительно доказывает опыт применения подобных систем за рубежом. Но, учитывая большую территориальную протяженность Российской Федерации, нужно принимать во внимание, что во многих районах, где может возникнуть необходимость развертывания СЭМПЛ, зачастую отсутствует и развитая инфраструктура и какие-либо каналы связи. При отсутствии проводных, сотовых и дороговизне спутниковых каналов связи, развертывание СЭМПЛ возможно на базе радиосетей различ-

## СИСТЕМЫ СВЯЗИ

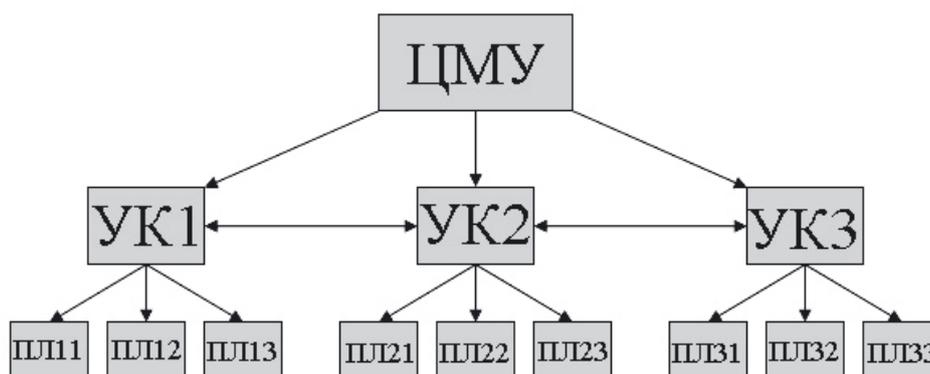


Рис. 1. Структура СЭМПЛ

ной конфигурации. В этом случае процесс развертывания СЭМПЛ можно разделить на два направления, различающихся как диапазоном используемых радиочастот, так и применяемым аппаратным обеспечением.

В качестве первого направления выступает организация мониторинга подконтрольных лиц в локализованной площадной зоне, называемой объектом мониторинга (ОМ).

На втором направлении рассмотрению подлежит район мониторинга, включающий несколько объектов мониторинга. И, в этом случае, для обеспечения непрерывности мониторинга необходимо рассмотреть вопрос организации надежных радиоканалов между ОМ и центром управления мониторингом (ЦМУ).

Одной из первостепенных задач при развертывании системы электронного мониторинга подконтрольных лиц (СЭМПЛ) является выбор рационального варианта размещения используемых элементов мониторинга.

Процесс выбора рационального варианта размещения элементов систем электронного мониторинга подконтрольных лиц состоит из 4-х этапов.

На **первом этапе** выбора рационального варианта размещения элементов СЭМПЛ необходимо определить структуру системы мониторинга. Алгоритм решения данной задачи сводится к следующему: после ввода исходных данных производится определение необходимой площади контролируемой территории, обеспечивающей непрерывное наблюдение за объектом. Затем осуществляется определение необходимого количества направлений связи между подконтрольным лицом (ПЛ) и центром мониторинга и управления (ЦМУ), которые обеспечат требуемую вероятность сохранения устойчивой связи с помощью имеющихся УКВ-радиосредств. На *рисунке 1* представлена структура СЭМПЛ, кото-

рая состоит из трех направлений связями между центром мониторинга и управления и устройством контроля.

Предлагаемый вариант структуры позволяет обеспечить возможность организации резервных каналов связи с устройством контроля. В случае выхода из строя одного из трех устройств контроля, существует возможность использования работающих УК в качестве резервных.

Исходная информация задается в виде графа, представленного матрицей связности  $M_{сэмпл}$ , где элементами являются

$$m_{сэмпл,ij} = \begin{cases} 1, \text{ канал связи между } i\text{-м и } j\text{-м элементом СЭМПЛ задан} \\ 0, \text{ канал связи между } i\text{-м и } j\text{-м элементом СЭМПЛ не задан} \end{cases} \quad (1)$$

Используя методы теории графов [2], возможно аналитически определить маршруты доведения информации в заданной иерархической структуре СЭМПЛ.

На **втором этапе** выбора рационального варианта размещения элементов СЭМПЛ необходимо произвести оценку расположения элементов мониторинга, с точки зрения возможности реализации выбранной структуры.

Решение данной задачи подразумевает анализ района размещения элементов СЭМПЛ с целью поиска рациональных мест размещения элементов СЭМПЛ. В данном случае рациональными будут считаться такие места размещения элементов СЭМПЛ, в которых будет выполняться условие:

$$SH_{ij} \geq SH^{min}, \quad (2)$$

где  $SH_{ij}$  – соотношение сигнал/шум при установке передатчика в  $i$ -й точке района на приемной антенне, расположенной в  $j$ -й точке.

$SH^{min}$  – минимальное соотношение сигнал/шум, определяемое чувствительностью приемника РС СЭМПЛ.

Наиболее распространенным подходом для поиска таких мест размещения является постро-

ение зон уверенного приема [10]. При построении зон важную роль играет окружающая среда, так как объекты среды (рельеф, здания и сооружения и пр.) являются препятствиями для распространения радиоволн, существенно снижая характеристики сигнала в точке приема. Кроме этого, тенденция к уменьшению размера зон обслуживания, снижению мощности радиоэлектронных средств, снижению высот антенн базовых станций и случайный характер перемещения ПЛ повышают важность точного определения границ зон уверенного приема. Геометрические очертания зон обслуживания имеют неправильную форму вследствие влияния окружающей среды, что усложняет процесс формирования структуры СЭМПЛ в районе развертывания. Точность определения границ зон уверенного приема с заданными характеристиками канала на стадии формирования варианта размещения СЭМПЛ является важным этапом в процессе построения системы электронного мониторинга в целом и определяется используемой моделью распространения радиоволн.

Вопросам планирования систем связи на основе моделей распространения радиоволн УКВ диапазона, посвящены исследования ученых: Б.А. Введенского, А.И. Калинина, А. Лонгли, П. Райса, Окумура, Хата, Икегами и многих других [8]. Модели распространения подразделяются на теоретические, эмпирические и гибридные. Теоретические модели используют методы вычислительной геометрической оптики, эффекты рассеивания, поглощения и дифракции учитываются вероятностно. Эмпирические модели основаны на результатах кампаний по измерению затухания сигнала, имеют точно определенную область применимости (диапазон частот, высоты антенн, indoor/outdoor, типы местности). Гибридные модели сочетают теоретические формулы и эмпирические данные в одной параметрической модели и могут настраиваться десятилетиями.

Общим недостатком всех моделей является отсутствие математического описания рельефа радиотрассы, использование усредненных значений для разных типов местности, снижение точности при снятии геометрических характеристик радиотрасс. В условиях обеспечения непрерывности и устойчивости мониторинга указанные недостатки влияют на точность моделирования пространственного распределения электромагнитного поля с учетом рельефа подстилающей поверхности.

Повышение точности расчетов можно обеспечить за счет применения цифровых моделей рельефа (ЦМР), которые позволяют полу-

чить конкретные значения высот рельефа местности на протяженности рассматриваемой радиотрассы.

Цифровая модель рельефа — это цифровое представление земной поверхности как непрерывного явления, описывающее ее с определенной точностью. Под ЦМР понимают множество точек с известными геодезическими координатами и значением высоты  $(x, y, z)$  и правило определения высоты  $z'$  любой другой точки, не входящей в это множество. Точки с известными геодезическими координатами в данном случае принято называть высотными пикетами. Правило определения высоты называют правилом интерполяции высот, или аналитической моделью рельефа (АМР) [3].

Известные цифровые и математические модели рельефа, широко используемые на практике, подразделяются на следующие виды [4]:

- регулярные;
- структурные;
- нерегулярные.

Наиболее приемлемыми характеристиками для проведения расчетов на ЭВМ обладают регулярные ЦМР, поскольку обеспечивают повышенную точность при формировании профиля радиотрассы. Современные геоинформационные системы (ГИС) имеют в своем составе средства работы с ЦМР.

Задачу преобразования нерегулярной ЦМР в регулярную можно сформулировать так: поверхность описана в виде точечных значений, изолиний (горизонталей), структурных линий (реки, промоины, овраги) и площадных объектов с одинаковой абсолютной высотой (озера, водохранилища, пруды). Необходимо построить равномерную сетку так, чтобы она представляла эту поверхность с определенной точностью. Существует несколько алгоритмов решения данной задачи, в работе исследован и реализован в программном обеспечении метод средневзвешенной интерполяции.

Исходной информацией для алгоритма является контурная модель, заполненная значениями «по следу» контуров объектов (точек, изолиний, структурных линий, полигонов). «Контурную модель» получаем методом растеризации [7].

Рассмотрим заполнение пустот в матрице высот методом средневзвешенной интерполяции. Для каждого «пустого» элемента осуществляется поиск ближайших «непустых» ячеек (рисунк 2). «Пустые» элементы содержат значение псевдокода.

Для каждой «пустой» ячейки выполняется поиск «непустых» элементов по восьми направлениям. При прохождении ближайшего значе-

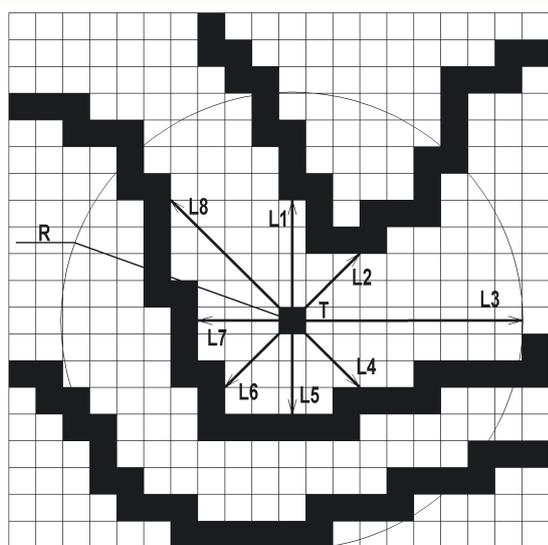


Рис. 2. Схема поиска «пустых» ячеек, с ограничением зоны поиска

ния, отличного от псевдокода, фиксируется значение характеристики и расстояние до данного элемента от точки Т. Стандартный алгоритм поиска ближайших «пустых» ячеек эффективен в случае достаточной «плотности» исходных данных. В том случае, если «контур» расположен довольно редко, по какому-либо направлению «пустая» ячейка не обнаруживается, или находится очень далеко. Даже в том случае, когда использовалось не 8, а 16 направлений «промахи» присутствуют. Анализ таких направлений существенно снижает скорость построения поверхности. Предлагается использовать зону ограничения поиска (на рисунке 2 радиус зоны поиска обозначен R). Согласно исследованиям [5], число точек пересечения изолиний с профилями матри-

цы можно определить как число экстремумов функции  $y = f(x)$ , непрерывной на интервале  $ab$ , равном длине профиля, по формуле:

$$N = 2 * (L_k * 400) / (L_p * D_{xy}), \quad (3)$$

где  $L_k$  – общая длина изолиний;

$L_p$  – длина профиля;

$D_{xy}$  – дискретность ЦМР.

Исследования показали, что минимальное значение радиуса зоны поиска можно определить по формуле:

$$R_{min} = (m * n) / C_k, \quad (4)$$

где  $C_k$  – число «пустых» элементов матрицы;

$m$  – число строк матрицы;

$n$  – число столбцов матрицы;

$$R_{max} = \max(m, n) / 2.$$

Среднее весовое значение ячейки рассчитывается по формуле:

$$Z_T = \Sigma (Z_i * L_i) / \Sigma L_i, \quad (5)$$

где  $Z_i$  – значение «пустых» элементов матрицы;  $L_i$  – расстояние до «пустого» элемента;

$i$  – число найденных «пустых» элементов (в общем случае  $i=1,8$ ).

Достоинствами метода средневзвешенной интерполяции с ограничением радиуса поиска пустых ячеек является высокая скорость построения модели, за счет того, что все «пустые» ячейки матрицы высот заполняются за один проход. Недостатком метода является тягостные значения рассчитываемой характеристики к преобладающему значению соседних ячеек. Как видно из рисунка 2 для вычисления значения Т используются пять ячеек со значением  $Z_2$  и две ячейки со значением  $Z_1$ .

Значительно снизить влияние преобладающих значений можно с использованием метода поэтапного оконтуривания [6].

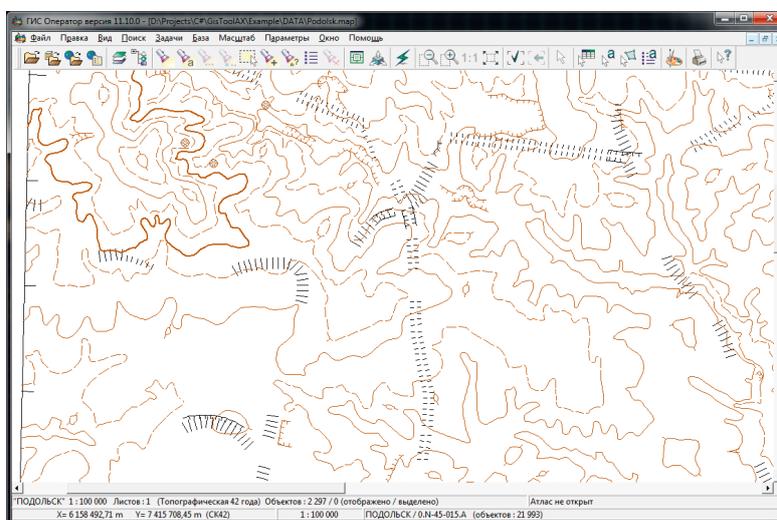


Рис. 3. ЦМР в виде полурегулярной сетки

# СИСТЕМЫ СВЯЗИ

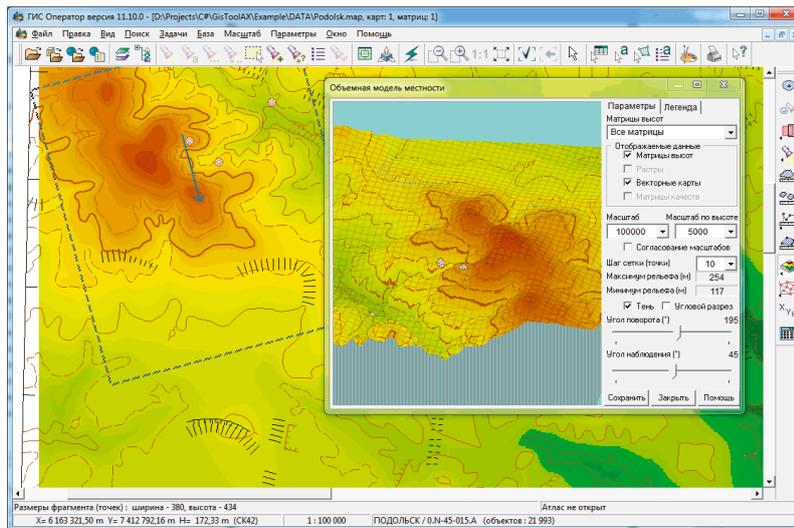


Рис. 4. Результирующая поверхность ЦМП с регулярной структурой

Основу метода составляют три базовых алгоритма:

- заполнение пустот;
- поиск ближайшего «непустого» элемента;
- проведение контуров.

Рассмотрим пример преобразования неравномерной сетки в равномерную. На рисунке 3 изображена модель некоторой поверхности в виде изолиний высоты. После первого заполнения матрица В представляет собой полностью заполненную регулярную сетку. Однако поверхность будет негладкой, иметь большие ступени. Необходимо продолжать интерполяцию дальше. Потом выполняется оконтуривание. И так далее – выполняются циклы заполнения – оконтуривания. После выполнения каждого цикла

равномерная сетка все более точно соответствует гладкой поверхности. Результирующая поверхность представлена на рисунке 4.

Практическая реализация данного подхода позволяет решить задачу преобразования нерегулярной ЦМР в регулярную. Данный подход реализован в ГИС «Карта 2011» ([www.gisinfo.ru](http://www.gisinfo.ru)).

На **третьем этапе** выбора рационального варианта размещения элементов для каждого  $i$ -го элемента СЭМПЛ формируется зона уверенного приема в виде матрицы  $M_{sv}$  качеств, содержащей результаты расчетов ослабления сигнала и имеющей координатную привязку (рисунк 5). Рациональными местами для размещения элементов СЭМПЛ считаются участки местности для которых выполняется условие (2).

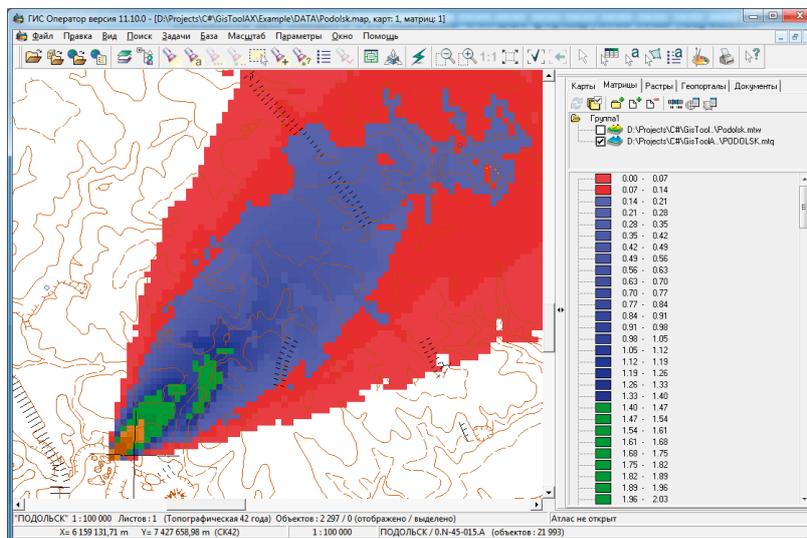


Рис. 5. Матрица качеств для выбранного размещения элемента СЭМПЛ в точке (x,y) в направлении ЦМ

**Четвертый этап** выбора рационального варианта размещения элементов СЭМПЛ заключается в выборе мест установки ретрансляторов, при невозможности реализации выбранной структуры СЭМПЛ для заданных мест установки. Выбор мест установки ретрансляторов аналогичен последовательности действий описанной на третьем этапе методики.

Проведенная оценка применения различных моделей расчета радиотрассы позволяет сделать вывод, что возможность использования цифровой модели рельефа позволяет приблизить точность расчета ослабления мощности сигнала к экспериментальным данным на 10-18%, что в свою очередь доказывает эффективность использования ЦМР, особенно в районах имеющих нерегулярную застройку и изрезанный характер рельефа.

Разработанная методика выбора рационального варианта размещения элементов СЭМПЛ позволяет обосновать вариант размещения элементов в районе развертывания СЭМПЛ, выбрать места установки ретрансляторов с учетом влияния рельефа подстилающей поверхности на базе геоинформационных технологий.

### Литература

1. Бардин Н.И. Распространение УКВ радиоволн в условиях крупного города / Н.И. Бардин, Н.Д. Дымович. // Электросвязь, 1964. №7. С. 15-18.
2. Басакер Р., Саати Т. Конечные графы и сети: Пер. с англ. 1974. 368 с.
3. ГОСТ Р 52438-2005 Географические информационные системы. Термины и определения.
4. ГОСТ Р 52055-2003 Пространственные модели местности. Общие требования.
5. Демиденко А.Г. ГИС как средство накопления и анализа разнородных данных, имеющих пространственное распределение // Автоматизированные технологии изысканий и проектирования, 2002. №4-5. С. 113-114.
6. Демиденко А.Г., Карась С.И., Григорьев О.В. Методика повышения точности трансформирования растров // Информационный бюллетень ГИС Ассоциации. 2002. №1(33)-2(34). С. 24-26.
7. Порев В.Н. Компьютерная графика. СПб.: БХВ-Петербург, 2002. 432 с.
8. Рубин Г.З. Формулы для расчета напряженности поля в УКВ диапазоне / М., 1980.
9. Трифонов П.Н. Пространственная напряженность поля УКВ в большом городе // Всесоюзная научная сессия, посвященная Дню радио. Тез. докл. М.: Радио и связь, 1982.
10. Связь с подвижными объектами в диапазоне СВЧ. Под ред. У.К. Джейкс. Пер. с англ. / Под ред. М.С. Ярлыкова, М. В. Чернякова. М.: Связь, 1979.

# СИСТЕМЫ СВЯЗИ

УДК 621.395

## ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ РАДИОКАНАЛОВ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ С ЗАМИРАНИЯМИ СИГНАЛА

**Владимир Владимирович Зеленецкий**

доктор технических наук, профессор

профессор кафедры  
филиал ВА РВСН им. Петра Великого (г. Серпухов)  
Адрес: 142210, Московская обл.,  
г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17  
Тел: +7(4967)35-12-31

**Юрий Владимирович Зеленецкий**

кандидат технических наук, доцент

Военная академия РВСН им. Петра Великого  
Адрес: 109074, г. Москва,  
Китайгородский проезд, д. 9/5  
Тел: +7(4967)35-12-31

**Евгений Валерьевич Шмырин**

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

В статье представлены оценки напряженности электрического поля, достоверности приема данных и коэффициента исправного действия радиоканалов с замираниями сигнала.

The paper presents the evaluation of the electric field, the reliability coefficient for data acquisition and properly operate radio signal fading.

**Ключевые слова:** напряженность поля, множитель ослабления, вероятность ошибки бита, мощность передатчика, коэффициент исправного действия.

**Keywords:** field strength, weakening factor, bit error probability, transmitter power factor serviceable action.

Известно [1, 4], что напряженность электрического поля, создаваемая электромагнитной ионосферной волной в декаметровом диапазоне, определяется формулой А.Н. Казанцева

$$E = \frac{173\sqrt{PD}}{2r} \left( \frac{1+R}{2} \right) R^{n-1} e^{-\sum_{i=1}^n \Gamma_i}, \text{ мВ/м,}$$

где  $P$  – мощность передатчика, кВт;

$D$  – коэффициент направленного действия передающей антенны;

$r$  – полная протяженность трассы распространения радиоволны;

$R$  – модуль коэффициента отражения радиоволны от поверхности Земли ( $R=0,8$ );

$n$  – число отражений радиоволны от ионосферы;

$\Gamma_i$  – коэффициент поглощения в  $i$ -ой вершине трассы прохождения радиоволны [1].

Установлено [1, 4], что все указанные коэффициенты поглощения  $\Gamma_i$  зависят от трех величин:

– угла падения волны на нижнюю границу ионизированной области  $\omega_0$ ;

– критической частоты данной ионизированной области  $f_{кр}$ ;

– рабочей частоты радиопередатчика  $f$  (или длины волны  $\lambda$ ).

По известным значениям  $\omega_0$ ,  $f_{кр}$ ,  $f$  можно вычислить коэффициенты поглощения для всех вершин отражения, используя ионосферные карты поглощающих областей или суточный ход действующих высот отражающей области [1].

Для примера, с целью определения множителя ослабления  $F$ , равного

$$F = \left( \frac{1+R}{2} \right) R^{n-1} e^{-\sum_{i=1}^n \Gamma_i},$$

рассчитаем суточный ход значения напряженности электрического поля по методу А.Н. Казанцева (таблица 1) на волне  $\lambda=20$  м для июля месяца на линии Омск-Благовещенск при мощности передатчика  $P=20$  кВт, коэффициент направленного действия передающей антенны  $D=20$ , приемная антенна – симметричный полуволновой вибратор с действующей длиной  $l_g=0,316 \lambda$ .

Численные оценки необходимых параметров представлены в таблице 1.

**Таблица 1**  
Параметры радиолинии

Первая вершина отражения				Вторая вершина отражения				$\Sigma G$	$F$	$E$	$h_0^2$
Местное время	$h_g$ , км	$\varphi_0$	G	Местное время	$h_g$ , км	$\varphi_0$	G				
6	300	71°10'	0,39	8	340	69°40'	0,60	0,99	0,18	127,3	1,3×10 <sup>7</sup>
8	340	69°40'	0,60	10	350	69°10'	0,70	1,30	0,14	91,94	6,8×10 <sup>6</sup>
10	350	69°10'	0,70	12	370	68°30'	0,74	1,44	0,12	77,8	4,9×10 <sup>6</sup>
12	370	68°30'	0,74	14	370	68°30'	0,70	1,44	0,12	77,8	4,9×10 <sup>6</sup>
14	370	68°30'	0,70	16	350	69°10'	0,60	1,30	0,14	91,94	6,8×10 <sup>5</sup>
16	350	69°10'	0,60	18	300	71°10'	0,39	0,99	0,18	127,3	1,3×10 <sup>7</sup>
18	300	71°10'	0,39	20	300	71°10'	0,07	0,46	0,31	212,16	3,6×10 <sup>7</sup>
20	300	71°10'	0,07	22	300	71°10'	0,00	0,07	0,48	318,25	8,15×10 <sup>7</sup>

Высота отражающей области  $h_g$  определена по суточному графику действующих высот, угол  $\theta$  определен по выражению [1]

$$h_g \varphi_0 = \frac{6370 \cdot \sin \theta}{h_g + 6370(1 - \cos \theta)},$$

где  $\theta^0 = \frac{r}{n \cdot 222,4}$ .

Отношение сигнал/шум  $h_0^2$  определено по формуле [4]

$$h_0^2 = \frac{(I_g E)^2}{N_{\text{ш}} k T \Delta F R},$$

где  $N_{\text{ш}}$  – коэффициент шума приемника ( $N_{\text{ш}} = 10, \dots, 30$ );  
 $k$  – постоянная Больцмана,  $k = 1,38 \times 10^{-23}$  Дж/°К;  
 $T$  – рабочая температура приемника, °К;  
 $\Delta F$  – эффективная полоса пропускания приемника;  
 $R$  – входное сопротивление приемника.

Анализ таблицы 1 показывает, что значения  $E$  и  $h_0^2$  зависят от времени суток и изменяются в достаточно больших пределах. Это связано с большим диапазоном изменения множителя ослабления  $F$ .

Установлено [3, 4], что при достаточно большом числе лучей радиоволны (больше пяти) суммарная амплитуда многолучевого сигнала представляет нормальный процесс, а величина множителя ослабления  $F$  является случайной величиной и описывается распределением Рэлея с плотностью вероятностей

$$P(F) = \frac{F}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{F^2}{\sigma^2}\right),$$

где  $\sigma^2$  – дисперсия случайной величины  $F$ .

При наличии регулярной составляющей распределение  $P(F)$  будет подчиняться закону Райса (обобщенному закону Рэлея) [1].

$$P(F) = \frac{F}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{F^2 - q^2}{2\sigma^2}\right) I_0\left(\frac{qF}{\sigma^2}\right),$$

где  $q$  – регулярная составляющая (среднее значение) параметра  $F$ ;  
 $I_0(z)$  – модифицированная функция Бесселя первого рода нулевого порядка.

Тогда полная вероятность ошибки в приеме бита сообщения в многолучевом канале радиосвязи с замираниями будет равна

$$P_0 = \int_0^{\infty} P(F) P_{\text{ош}} dF,$$

где  $P_{\text{ош}}$  – вероятность ошибки в приеме бита сообщения в канале радиосвязи без замираний, которая зависит от  $h_0^2$  и вида модуляции сигнала.

При рэлеевских замираниях сигнала с двоичной частотной телеграфией значение  $P_0$  определяется выражением

$$P_0 = \frac{1}{2} \int_0^{\infty} \frac{F}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{F^2}{2\sigma^2}\right) e^{-\frac{h_0^2}{2}} dF = \frac{1}{2 + h_0^2}.$$

**Примечание 1.** Для обеспечения  $P_0 = P_{\text{ош}} = 10^{-3}$  в канале радиосвязи без замираний требуется  $h_0^2 = 10$ , а в канале с замираниями  $h_0^2 = 1000$  (весьма существенная разница).

**Примечание 2.** Вероятность  $P_0$  является полезной, но далеко не полной характеристикой вероятности принятого символа в канале радиосвязи с замираниями.

**Предложение 1.** Каналы радиосвязи с замираниями будем характеризовать вероятностью того, что за время сеанса связи вероятность  $P_0$  не превысит некоторой допустимой величины  $P_{\text{доп}}$ . Будем называть эту вероятность коэффициентом исправного действия (КИД) канала  $k_u$ . Покажем, что исследование КИД является весьма полезным для практики.

# СИСТЕМЫ СВЯЗИ

**Таблица 2**  
Оценки  $k_u$ ,  $F$ ,  $h_{0\min}^2$  и  $P$ (Вт)

$F$	Значения $k_u$ и $P$							
0,1	$h_{0\min}^2 = 10$	$k_u$	0,975	0,934	0,878	0,792	0,71	0,63
		$P$	50118,7	20137	10232,9	5093,3	2992,3	1949,8
	$h_{0\min}^2 = 4$	$k_u$	0,975	0,946	0,9	0,84	0,788	0,68
		$P$	19860,9	9954,05	4920,4	2930,9	1976,77	1004,6
	$h_{0\min}^2 = 2$	$k_u$	0,9715	0,9474	0,9	0,79	0,7	0,64
		$P$	10092,5	5093,31	2588,21	990,832	562,34	403,65
0,04	$h_{0\min}^2 = 5$	$k_u$	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,288
		$P$	39355	17179,1	8790,23	5236	1857,8	1018,6
0,01	$h_{0\min}^2 = 5$	$k_u$	0,63	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1
		$P$	95940,1	49773,7	29648,3	17298,2	9225,7	5112,2

Известно [3, 4], что значение КИД определяется выражением

$$k_u = \frac{1}{2} \left[ 1 + \Phi \left( \frac{\ln h_0^2 + 2 \ln F - \ln h_{0\min}^2}{2\beta} \right) \right],$$

где  $F(t)$  – функция Крампа [3, 4]

$$\Phi(t) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \int_0^t e^{-\frac{t^2}{2}} dt,$$

$$t = \frac{\ln h_0^2 + 2 \ln F - \ln h_{0\min}^2}{2\beta};$$

$\beta$  – дисперсия величины  $\ln F$  (при расчетах можно брать  $\beta = 1$ );

$h_{0\min}^2$  – минимальное значений  $h_0^2$ , по которому на приемной стороне принимается решение о принятом символе сообщения.

В *таблице 1* показано, что значение  $F=0,12$  может быть еще меньше.

Значение  $k_u$  для различных величин  $F$ ,  $h_{0\min}^2$ , а также требуемые мощности радиопередатчиков представлены в *таблице 2*.

Анализ *таблицы 2* показывает:

– при уменьшении  $F$  (сильные замирания) коэффициенты  $k_u$  значительно уменьшаются и для повышения  $k_u$  требуются радиопередатчики большой мощности;

– при  $F=\text{const}$  можно обеспечить требуемое значение  $k_u$  за счет уменьшения  $h_{0\min}^2$ , при этом мощность передатчика существенно (в 4 раза) снижается;

– повышение значения  $k_u$  за счет уменьшения  $h_{0\min}^2$  вступает в противоречие с обеспечением заданной достоверности приема символа сообщения и сообщения в целом, так как с уменьшением  $h_{0\min}^2$  вероятность  $P_o$  увеличивается.

**Предложение 2.** Для обеспечения высокого значения  $k_u$  при  $h_{0\min}^2 \leq 2$  и высокой достоверности приема сообщения, существенного снижения мощности радиопередатчиков целесообразно использовать композиционное кодирование данных при передаче и их мягкое декодирование при обработке принятых сигналов [2].

Таким образом, для оценки характеристик радиоканалов с замираниями сигналов помимо вероятности ошибки бита сообщения, необходимо учитывать КИД канала связи. Высокие значения КИД при требуемой вероятности  $P_o$  могут быть обеспечены за счет эффективного кодирования данных.

## Литература

1. Грудинская Г.П. Распространение радиоволн. М.: Высшая школа, 1975. 280 с.
2. Зеленевский В.В., Зеленевский Ю.В. Статистические характеристики мягкого декодирования ЧМ сигналов // Известия Института инженерной физики, 2012. №4(26). С. 50-52.
3. Шиманов С.Н., Ковальков Д.А. Оптимизация длительности обслуживания трафика в мультисервисной радиосети с динамическим выделением каналов по требованию // Известия Института инженерной физики, 2012. №3(25). С. 49-53.
4. Зеленевский В.В., Зеленевский Ю.В. Системы и средства связи. МО РФ, 2009. 278 с.

УДК 621.395

## МОДЕЛИ КОДИРОВАННЫХ КАНАЛОВ РАДИОСВЯЗИ В СИСТЕМАХ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ С ШИРОКОПОЛОСНЫМ ДОСТУПОМ

**Юрий Владимирович Зеленевский**

*кандидат технических наук, доцент*

Военная академия РВСН им. Петра Великого

Адрес: 109074, г. Москва,

Китайгородский проезд, д. 9/5

Тел: +7(4967)35-12-31

**Евгений Валерьевич Шмырин**

*старший научный сотрудник*

МОУ «ИИФ»

Адрес: 142210, Московская обл.,

г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а

Тел: +7(4967)35-31-93

**Сергей Николаевич Шиманов**

*доктор технических наук, профессор*

заместитель генерального директора по

АСУ и связи – главный конструктор

МОУ «ИИФ»

Адрес: 142210, Московская обл.,

г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а

Тел: +7(4967)35-31-93, 35-13-71 (доб. 190)

В статье представлены математические модели каналов радиосвязи с широкополосным доступом, решена задача оценки множителя ослабления, достоверности приема и дальности радиосвязи.

Mathematical models of radio channels with broadband access are presented, the problems of attenuation factor estimation, reliability and radio range are solved.

**Ключевые слова:** напряженность поля, длина волны, параметры канала радиосвязи, вероятность ошибки, дальность радиосвязи, множитель ослабления.

**Keywords:** field strength, wave length, radio channel parameters, error probability, radio range, attenuation factor.

Известные методы для определения напряженности электрического поля  $E$  в зоне тени [1] радиоволн метрового и более коротких диапазонов, используемых в системах телекоммуникаций с широкополосным доступом, противоречат физическому смыслу явления дифракции. Их использование приводит к значительным ошибкам, особенно в метровом и дециметровом диапазонах, которые являются основными для систем телекоммуникаций [2, 3].

Так как земная поверхность для радиоволн указанных диапазонов не может считаться гладкой и необходимо учитывать сферичность Земли, то будем предполагать, что радиоволны распространяются по прямолинейной траектории не над реальной неровной поверхностью, а над некоторой воображаемой поверхностью с эквивалентным радиусом  $a_s = 8500$  км. В этом случае при пользовании известными дифракционными формулами [1] для расчета  $E$  заменим действи-

тельные высоты поднятия передающей и приемной антенн  $h_1, h_2$  на приведенные

$$h'_1 = h_1 - \frac{r^2}{2a_s} \left( \frac{h_1}{h_1 + h_2} \right)^2; \quad (1)$$

$$h'_2 = h_2 - \frac{r^2}{2a_s} \left( \frac{h_2}{h_1 + h_2} \right)^2. \quad (2)$$

С учетом сферичности Земли зона тени соответствует расстояниям  $r \geq 0,8 r_0$ , где  $r_0$  – дальность прямой радиовидимости, равная [1]

$$r_0 = 3,57 \cdot 10^3 \left( \sqrt{h_1} + \sqrt{h_2} \right), \text{ м.} \quad (3)$$

**Замечание 1.** При дальностях радиосвязи  $r > r_0$  в выражениях (1) и (2) значение  $r = r_0$ .

Исходя из этого, амплитуду  $E$  в точке приема предлагается определять по выражению

# СИСТЕМЫ СВЯЗИ

Таблица 1

Значения множителя ослабления  $F$

$x$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,75	1	1,25	1,5	2	2,25	2,5
$F$	1	0,975	0,9	0,8	0,75	0,7	0,6	0,5	0,3	0,2	0,07	0,045	0,03

$$E = \frac{\sqrt{60P \cdot D}}{r^2} \frac{4\pi h_1' h_2'}{\lambda} F, \text{ В/м}, \quad (4)$$

где  $P$  – мощность радиопередатчика, Вт;  
 $D$  – коэффициент направленного действия передающей антенны;  
 $\lambda$  – длина волны, м;  
 $F$  – множитель ослабления поля, определяемый по следующей методике:

– рассчитывается масштаб расстояний по выражению

$$L = \left( \frac{\lambda a_2^2}{\pi} \right)^{\frac{1}{3}};$$

– определяется относительное расстояние  $x$ , равное  $x = r/L$ ;

– по таблице 1 определяется множитель ослабления  $F$ .

Известно [4, 5], что отношение сигнал/шум  $h_0^2$  на входе первой решающей схемы радиоприемника равно

$$h_0^2 = \frac{(El_g)^2 K}{N_{ш} k T \Delta F R n}, \quad (5)$$

где  $l_g$  – действующая высота приемной антенны;  
 $N_{ш}$  – коэффициент шума приемника

( $N_{ш} = 10, \dots, 30$ );

$k$  – постоянная Больцмана,  $k = 1,38 \times 10^{-23}$  Дж/°К;

$T$  – рабочая температура приемника, °К;

$\Delta F$  – эффективная полоса пропускания приемника;

$R$  – входное сопротивление приемника;

$K$  – число информационных символов в коде;

$n$  – длина кодовой комбинации.

Вероятность ошибки в приеме бита сообщения при жестком декодировании сигналов равна [4, 5]:

– для сигнала с относительной фазовой телеграфией (ОФТ)

$$P_e = \frac{1}{2} e^{-h_0^2}; \quad (6)$$

– для сигнала с двоичной частотной телеграфией (ЧТ)

$$P_e = \frac{1}{2} e^{-\frac{h_0^2}{2}}; \quad (7)$$

Тогда модели каналов радиосвязи с жестким декодированием удобно представить выражениями:

– для сигналов с ОФТ

$$P_e = \frac{1}{2} \exp \left( - \frac{960 P D \pi^2 (h_1' h_2')^2 F^2 l_g^2}{r^4 \lambda^2 N_{ш} k T \Delta F R} \right); \quad (8)$$

– для сигналов с ЧТ

$$P_e = \frac{1}{2} \exp \left( - \frac{480 P D \pi^2 (h_1' h_2')^2 F^2 l_g^2}{r^4 \lambda^2 N_{ш} k T \Delta F R} \right). \quad (9)$$

В таблице 2 представлены требуемые мощности радиопередатчиков для обеспечения заданных вероятностей  $P_e$  на дальности  $r=50$  км при  $h_1=h_2=12$  м, приемная антенна полуволновой несимметричный вибратор  $l_g = 1,27 l$ , где  $l$  – длина вибратора, равная  $l=0,125 l$ ,  $D=1,64$ ,  $\lambda=6$  м и  $\lambda=2$  м.

Анализ таблицы 2 показывает:

– при уменьшении длины волны для обеспечения заданных значений вероятности  $P_e$  требуется значительно большая мощность радиопередатчика (более чем в 4 раза);

– полученные оценки хорошо согласуются с тактико-техническими характеристиками существующих радиостанций [6].

Таблица 2

Оценки вероятности  $P_e$  и мощности  $P$

$\lambda=6$ м				$\lambda=2$ м			
ОФТ ( $\Delta F = 4000$ Гц)		ЧТ ( $\Delta F = 8000$ Гц)		ОФТ ( $\Delta F = 4000$ Гц)		ЧТ ( $\Delta F = 8000$ Гц)	
$P_e$	$P$ , Вт	$P_e$	$P$ , Вт	$P_e$	$P$ , Вт	$P_e$	$P$ , Вт
$10^{-2}$	77,27	$10^{-2}$	154,54	$10^{-2}$	361,41	$10^{-2}$	722,82
$10^{-3}$	121,9	$10^{-3}$	243,8	$10^{-3}$	580,76	$10^{-3}$	1161,52
$10^{-4}$	168,27	$10^{-4}$	336,54	$10^{-4}$	794,33	$10^{-4}$	1588,66
$10^{-5}$	213,8	$10^{-5}$	427,6	$10^{-5}$	1000	$10^{-5}$	2000

**Таблица 3**  
Зависимость  $P_e = f(r)$

Вероятность $P_e$	Жесткое декодирование	Мягкое декодирование
	$r$ , км	$r$ , км
$10^{-3}$	8,495	12,575
$10^{-4}$	7,850	11,465
$10^{-5}$	7,385	10,745
$10^{-63}$	7,040	10,190

Полученные модели (8) и (9) распространим на каналы радиосвязи с композиционными итеративными кодами  $\left(\frac{K}{n} = 0,5\right)$

и их мягким декодированием, для которых известно [4, 5]:

– для сигналов с ОФТ и  $\frac{K}{n} = 0,5$

$$P_e = 0,1918858 \exp\left(-8,16h_0^2 \frac{K}{n}\right) =$$

$$= 0,1918858 \exp\left(-\frac{3916,8PD\pi^2(h_1'h_2')^2 F^2 l_g^2}{r^4 \lambda^2 N_w kT\Delta FR}\right)$$

при  $h_0^2 \geq 0,1$ ;

– для сигналов с ЧТ и  $\frac{K}{n} = 0,5$

$$P_e = 0,1918858 \exp\left(-4,08h_0^2 \frac{K}{n}\right) =$$

$$= 0,1918858 \exp\left(-\frac{1958,4PD\pi^2(h_1'h_2')^2 F^2 l_g^2}{r^4 \lambda^2 N_w kT\Delta FR}\right)$$

при  $h_0^2 \geq 0,1$ .

В *таблице 3* представлены оценки вероятности  $P_e$  в зависимости от дальности радиосвязи  $r$  при  $P=8$  Вт для жесткого и мягкого декодирования сигнала с ОФТ,  $h_1=h_2=3$  м,  $\lambda=0,03$  м,  $\Delta F=4000$  Гц,  $D=1,64$ ,  $l_g=1,27$  л.

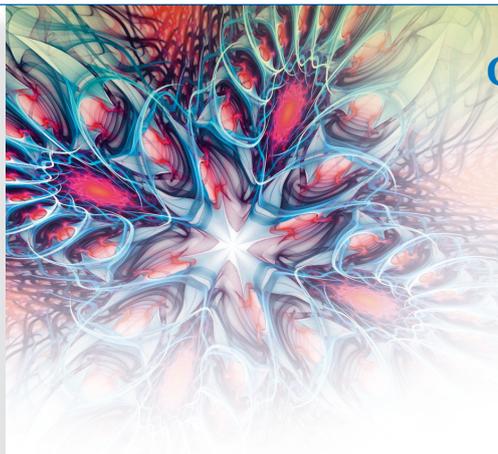
Анализ *таблицы 3* показывает, что при  $P_e = \text{const}$  и мягком декодировании сигнала с

ОФТ можно увеличить дальность радиосвязи с 1,4 раза по сравнению с жестким декодированием, при этом требуется расширить полосу рабочих частот в 2 раза.

Таким образом, полученные аналитические выражения не противоречат физическому смыслу явления дифракции радиоволн и позволяют математически описывать каналы радиосвязи систем телекоммуникаций с широкополосным доступом.

### Литература

1. Грудинская Г.П. Распространение радиоволн. М.: Высшая школа, 1975. 280 с.
2. Шиманов С.Н., Ковальков Д.А. Оптимизация длительности обслуживания трафика в мультисервисной радиосети с динамическим выделением каналов по требованию //Известия Института инженерной физики, 2012. №3(25). С. 49-53.
3. Апонасенко А.А., Ваганов И.И., Цимбал В.А. Марковская модель функционирования запросновызывного канала связи с ретрансляцией сигналов //Известия Института инженерной физики, 2012. №1(23). С.60-64.
4. Зеленевский В.В., Зеленевский Ю.В. Статистические характеристики мягкого декодирования ЧМ сигналов //Известия Института инженерной физики, 2012. №4(26). С. 50-52.
5. Зеленевский В.В., Зеленевский Ю.В. Статистический анализ воздействия импульсных помех на мягкое декодирование двоичных форм ФМ сигналов //Известия Института инженерной физики, 2013. №1(27). С. 47-49.
6. Зеленевский В.В., Зеленевский Ю.В. Системы и средства связи. МО РФ, 2009. 278 с.



## СИСТЕМЫ СВЯЗИ

УДК 621.396.677

### АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ МАГНИТОДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОКРЫТИЯ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ИЗЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ДИПОЛЯ

**Антон Владимирович Подзоров**

кандидат технических наук

младший научный сотрудник  
филиал ВА РВСН им. Петра Великого (г. Серпухов)  
Адрес: 142210, Московская обл.,  
г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17  
Тел.: +7(916)069-29-34  
E-mail: exus201@mail.ru

**Артем Николаевич Новиков**

кандидат технических наук

научный сотрудник  
ВА РВСН им. Петра Великого  
Адрес: 109074, Москва, Китайгородский пр., д. 9/5  
Тел.: +7(985)336-80-43  
E-mail: band31@mail.ru

**Андрей Александрович Захаров**

кандидат технических наук

преподаватель  
филиал ВА РВСН им. Петра Великого (г. Серпухов)  
Адрес: 142210, Московская обл.,  
г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17  
Тел.: +7(916)829-92-28

В статье показана возможность повышения скрытности подвижного объекта при условии сохранения характеристик излучения антенны, путем обоснованного выбора и использования параметров магнитодиэлектрического покрытия.

The article shows the possibility of increasing secrecy moving object under condition of preservation of the characteristics of radiation of the antenna, through reasonable choice and use of parameters magnetodielectric coverage.

**Ключевые слова:** цилиндрическая антенна, диаграмма рассеяния, диаграмма направленности, излучение, магнитодиэлектрическое покрытие, скрытность.

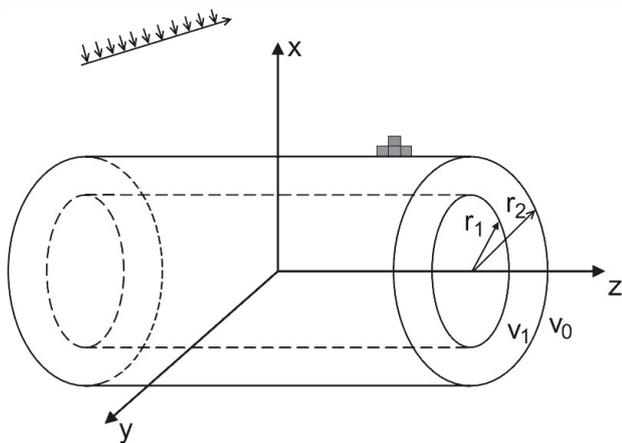
**Keywords:** cylindrical antenna, scatter plot, directional diagram, radiation, magnetodielectric coating, stealth.

В настоящее время, в условиях постоянного прогресса систем мониторинга, все чаще возникает необходимость в повышении скрытности подвижных объектов при сохранении работоспособности систем связи. Для обеспечения связью подвижных комплексов широко используются цилиндрические антенные решетки, которые наиболее полно удовлетворяют совокупности требований по обеспечению заданного сектора сканирования и возможности быстрого углового перемещения главного максимума диаграммы направленности [1-3].

В качестве одного из вариантов повышения скрытности подвижного объекта может использоваться магнитодиэлектрическое покрытие, нанесенное на корпус последнего. Однако возникает противоречие между повышением скрытности объекта с одной стороны и влиянием магнитодиэлектрического покрытия на

характеристики антенны с другой. Для решения описанного противоречия необходимо максимально уменьшить отраженное поле при сохранении характеристик излучения антенны за счет обоснованного выбора параметров магнитодиэлектрического покрытия: магнитной ( $\mu$ ), диэлектрической ( $\epsilon$ ) проницаемости и толщины покрытия ( $t$ ). Для проведения исследований предлагается моделировать несущую конструкцию подвижного объекта цилиндром кругового сечения с бесконечной образующей, покрытым слоем магнитодиэлектрика, как показано на *рисунке 1*. В верхней части цилиндра расположен электрический диполь, ориентированный параллельно или перпендикулярно относительно оси цилиндра.

Для решения задачи дифракции плоской волны на цилиндре кругового сечения с бесконечной образующей, покрытом слоем магнито-



**Рис. 1.** Цилиндр кругового сечения с бесконечной образующей, покрытый слоем магнитоэлектрика, возбуждаемый плоской электромагнитной волной

диэлектрика, используем метод частичных областей. Суть метода состоит в выделении характерных областей: область свободного пространства ( $V_0$ ) и область магнитоэлектрического покрытия ( $V_1$ ), поле в каждой из которых представлено в виде рядов собственных функций области [3, 4]. На границах областей производится приравнивание тангенциальных составляющих электрического и магнитного полей, т.е. накладывается условие непрерывности тангенциальных составляющих векторов электрического и магнитного полей [4].

Для описания полей в областях  $V_0$  и  $V_1$  необходимо ввести продольные составляющие векторных электрических и магнитных потенциалов, определяемых следующими равенствами:

$$A_z^{(1)} = \int_{-\infty}^{\infty} e^{-ih(z-z')} \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \{A_n^{\circ} H_n^{(2)}(\beta r) + B_n^{\circ} H_n^{(1)}(\beta r)\} e^{in(\varphi-\varphi_0)} dh; \quad (1)$$

$$A_z^{M(1)} = \int_{-\infty}^{\infty} e^{-ih(z-z')} \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \{A_n^M H_n^{(2)}(\beta r) + B_n^M H_n^{(1)}(\beta r)\} e^{in(\varphi-\varphi_0)} dh \quad (2)$$

в области магнитоэлектрического покрытия (области  $V_1$ ) и

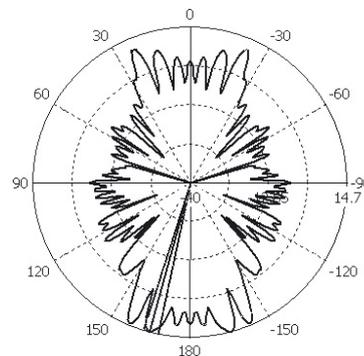
$$A_z^{(0)} = \int_{-\infty}^{\infty} e^{-ih(z-z')} \sum_{n=-\infty}^{+\infty} C_n^{\circ} H_n^{(2)}(\beta r) e^{in(\varphi-\varphi_0)} dh; \quad (3)$$

$$A_z^{M(0)} = \int_{-\infty}^{\infty} e^{-ih(z-z')} \sum_{n=-\infty}^{+\infty} C_n^M H_n^{(2)}(\beta r) e^{in(\varphi-\varphi_0)} dh \quad (4)$$

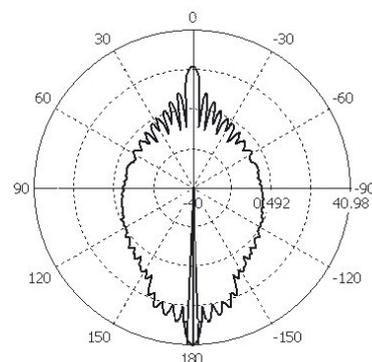
в свободном пространстве (области  $V_0$ ). В данных соотношениях  $A_n^M$ ,  $B_n^M$  и  $C_n^M$  – неизвестные коэффициенты разложения, имеющие размерность, совпадающую с размерностью магнит-

ного тока,  $A_n^{\circ}$ ,  $B_n^{\circ}$  и  $C_n^{\circ}$  – неизвестные коэффициенты разложения, размерность которых совпадает с размерностью электрического тока;  $H_n^{(1)}(\beta r)$ ,  $H_n^{(2)}(\beta r)$  – функции Ганкеля  $n$ -го порядка 1-го и 2-го рода соответственно,  $\beta$  – поперечное волновое число;  $r$  – расстояние от оси цилиндра до точки наблюдения.

Далее, для оценки уменьшения мощности в направлении верхней полусферы, сравним полученные диаграммы рассеяния цилиндра с покрытием, с диаграммами рассеяния цилиндра без покрытия для случаев Е- или Н-поляризации. Диаграммы рассеяния для цилиндра без покрытия, для двух случаев поляризации, представлены на рисунке 2 – для случая Е-поляризации и на рисунке 3 – для случая Н-поляризации.



**Рис. 2.**



**Рис. 3.**

Соответствующие результаты исследований при различных параметрах магнитоэлектрического покрытия для случая Е-поляризации приведены на рисунке 4 ( $\epsilon=1$ ,  $\mu=1,25$ ,  $t=2,3$  см) и рисунке 5 ( $\epsilon=2$ ,  $\mu=2,25$ ,  $t=2,3$  см).

Аналогичные зависимости диаграмм рассеяния, полученные при тех же значениях параметров магнитоэлектрического покрытия в случае дифракции Н-поляризованной волны приведены на рисунках 6, 7.

Проведенный анализ диаграмм рассеяния позволил выбрать совокупность параметров покрытия ( $\epsilon=1$ ,  $\mu=1,25$ ,  $t=2,3$  см), уменьшающую

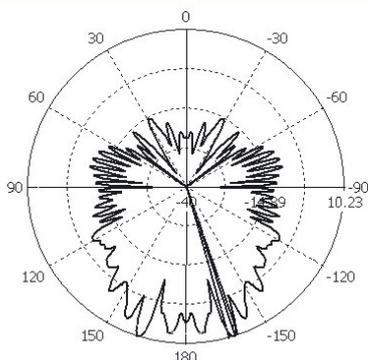


Рис. 4.

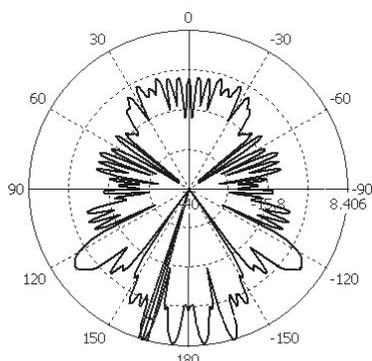


Рис. 5.

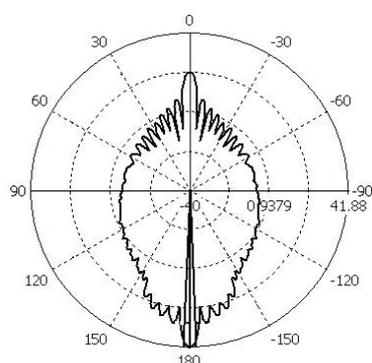


Рис. 6 ( $\epsilon=1, \mu=1,25, t=2,3$  см)

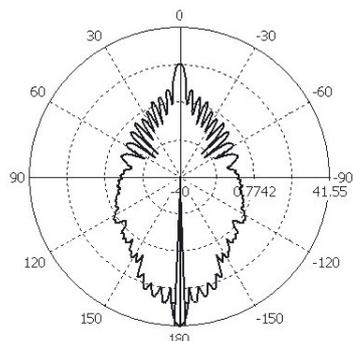


Рис. 7 ( $\epsilon=2, \mu=2,25, t=2,3$  см)

мощность рассеянного поля в 2,5 раза для случая Е-поляризации.

Далее проведем анализ влияния выбранной совокупности параметров покрытия на характеристики излучения электрического диполя. Результаты исследования диаграмм направленности электрического диполя, удаленного от несущей конструкции на 5.7 см, представлены на рисунке 8 – для случая параллельного ориентирования относительно оси цилиндра и на рисунке 9 – для случая перпендикулярного ориентирования.

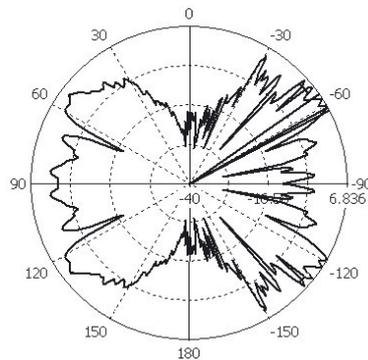


Рис. 8.

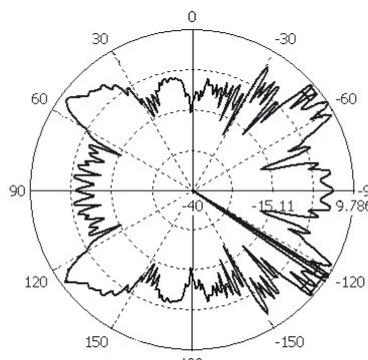


Рис. 9.

С учетом вышеизложенного можно сделать вывод о том, что выбранная совокупность параметров магнитоэлектрического покрытия, а именно:  $\epsilon=1, \mu=1,25, t=2,3$  см позволяет снизить мощность рассеянного поля в направлении верхней полусферы, тем самым повышая скрытность подвижного объекта, при незначительном влиянии на характеристики излучения электрического диполя, что соответствует сохранению характеристик излучения антенны.

## Литература

1. Воскресенский Д.И. Антенны и устройства СВЧ, проектирование фазированных антенных решеток. М., Радио и связь, 1994. 436 с.
2. Воскресенский Д.И., Пономарев А.И., Филиппов В.С. Выпуклые сканирующие антенны (основы теории и методы расчета). М.: Сов. радио, 1978. 304 с.
3. Уэйт Д. Электромагнитное излучение из цилиндрических систем. М.: Сов. радио, 1963. 240 с.
4. Петров Б.М. Электродинамика и распространение радиоволн / Учебник для вузов. М.: Радио и связь, 2000. 559 с.

УДК 548.1, 621.3

### МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРО- И НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ АЛЮМООКСИДОВ

#### Олег Рафаилович Никитин

заслуженный деятель науки РФ  
доктор технических наук, профессор  
заведующий кафедрой  
Владимирский государственный университет  
Адрес: 600000, г. Владимир, ул. Горького, д. 87  
Тел.: +7(4922)34-33-33

#### Константин Васильевич Скворцов

заведующий лабораториями  
Владимирский государственный  
университет  
Адрес: 600024, г. Владимир, ул. Горького, д. 87  
Тел.: +7(4922)47-99-84, 47-96-73  
k-skv@yandex.ru

#### Алексей Викторович Осин

кандидат технических наук  
Владимирский государственный университет  
Адрес: 600024, г. Владимир, ул. Горького, д. 87  
Тел.: +7(4922)47-99-84, 47-96-73

#### Михаил Всеволодович Руфицкий

доктор технических наук, профессор  
Владимирский государственный университет  
Адрес: 600000, г. Владимир, ул. Горького, д. 87  
Тел.: +7(4922)34-00-99  
E-mail: mvr59@mail.ru

#### Тамара Федоровна Рау

кандидат физико-математических наук, доцент  
Владимирский государственный  
гуманитарный университет  
Адрес: 600024, г. Владимир, п-т Строителей, д. 11  
Тел.: +7(4922)36-86-04

#### Валерий Георгиевич Рау

доктор физико-математических наук, профессор  
Владимирский государственный университет  
Адрес: 600024, г. Владимир, ул. Горького, д. 87  
Тел.: +7(4922)47-99-84, 47-96-73  
vgrau@mail.ru

Проведены экспериментальные исследования структуры реальной поверхности алюмооксидов, получаемых при производстве подложек для светодиодов по технологии «ALOX™». Проведен анализ структуры и компьютерное моделирование нанокластеров пористого оксида алюминия. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании элементов радиотехнических систем.

Experimental research of alumina substrate «ALOX™» for LEDs were carried out. The analysis and computer modeling of the structure of porous aluminum oxide nanoclusters were carried out. The results can be used for the design of radio systems elements.

**Ключевые слова:** светодиоды, технология «ALOX™», компьютерное моделирование, наноструктуры, пористый оксид алюминия.

**Keywords:** LED, technology «ALOX™», computer modeling, nanostructures, porous aluminum oxide.

**Список сокращений:** ЦКП – центр коллективного пользования; АСМ – атомно-силовой микроскоп.

#### Введение

Исследуемая нами для мониторинга при производстве светодиодов оксидалюминиевая подложка (ALOX™) обеспечивает хорошие тепловые качества, основанные на интегрированной технологии, металл, диэлектрик и диэлектрик-металл в прямом соединении без использования третьего клейкого материала (полимера). Тепло-

проводность диэлектрика «ALOX™» составляет величину 10 Вт/м·К; изготавливается без операций склеивания и сверления. Использование различных электролитов, напряжений и времен анодирования позволяет варьировать диаметр пор, расстояние между порами и толщину пленки в широких пределах. В работе предложено использование материала анодированного окси-

да алюминия для создания основы радиофизических систем и проведено наноструктурное моделирование состояния материала

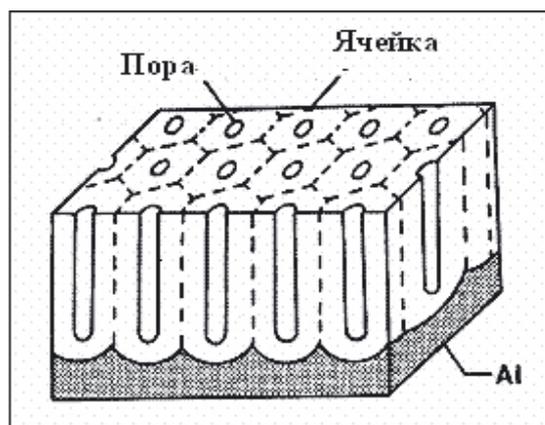
Как известно из литературных источников, механизм пористого оксидирования, знание которого могли бы быть положены в основу управляемых технологических процессов, до настоящего времени точно не установлен [1]. Химической основой образования как пористого, так и беспористого оксидированного алюминия является реакция взаимодействия алюминия с водой



протекающая в сильных полях. Детали процесса анодирования изложены в справочнике [2]. Образование ячеек начинается с формирования барьерного слоя, который переходит со временем в пористый, а под его ячейками продолжается рост барьерного слоя.

Исторически, представления о формировании пористого анодированного оксида алюминия (АОА) развивались в двух направлениях, базирующихся на физико-геометрической и коллоидно-электрохимической концепциях.

Основные положения физико-геометрической концепции состоят в следующем: пористая структура АОА представляет собой плотноупакованные оксидные ячейки, имеющие форму пористых почти правильных гексагональных призм, соединенных между собой по боковым граням (рисунки 1). Размер и форма ячеек зависят от напряжения анодирования, диаметр пор определяется природой электролита и составом анодируемого сплава.



**Рис. 1.** Схема строения анодированного оксида алюминия

По коллоидно-электрохимической теории анодный оксид представляет собой ориентированный электрическим полем гель оксида металла. Поры микроструктуры располагаются между волокнистыми частицами оксида и запол-

нены электролитом. Степень «оводненности» частиц геля и количество анионов в нем зависят от условий опыта. Но во всех случаях происходит саморегуляция пористой структуры, в которой присутствуют дефекты в большей или меньшей степени. Механизм же такой саморегуляции в настоящее время остается самым неясным моментом в теории формирования пористых пленок на алюминии. Математическое моделирование процесса образования пор, представленное в работе [3], пока не убедительно, так как использует при поиске решения дифференциальных уравнений периодическую функцию, которую затем и получает в качестве решения. Несколько неудачно выбрана и сама периодичность, которая соответствует тетрагональной симметрии пористой структуры, а не гексагональной, как это можно было бы сделать для доказательства адекватности расчетов по математической модели с экспериментальным снимком, полученным в электронном микроскопе и приведенном в этой же работе. Тем не менее, у данного направления, возможно, есть и перспективы.

Все это позволяет утверждать, что теория формирования пористых пленок далека от завершения [1].

К сожалению, судя по литературным источникам (см., например, [4], работу 2010 года), четкого представления о механизме образовании структур оксидов алюминия нет даже для кристаллического состояния. Есть результаты их строения, полученные на основе рентгеновского структурного анализа и спектроскопии. Микрофотографии, в том числе и электронная микроскопия поверхности твердых фаз природных алюмооксидов и некоторых анодированных пленок, полученных при различных условиях, приводятся в печати. В работе [4] исследованы возможные пути фазовых переходов в единой, по мнению автора, алюмооксидной системе от структуры тригидрогиллита (минерала гиббсита)  $\text{Al}(\text{OH})_3$  к структурам диаспора и бёмита, а затем к корунду. Показано, что из различных состояний алюмооксидной системы прямым синтезом могут быть получены только гидроксиды алюминия. Низкотемпературные модификации оксида алюминия могут быть получены только терморазложением гидроксида-предшественника.

### Экспериментальные исследования

Поиск оптимальных параметров при производстве алюмооксидной подложки ставит перед исследователями конкретную задачу определения микроструктуры материала, получаемого в

## ЭЛЕМЕНТНАЯ БАЗА

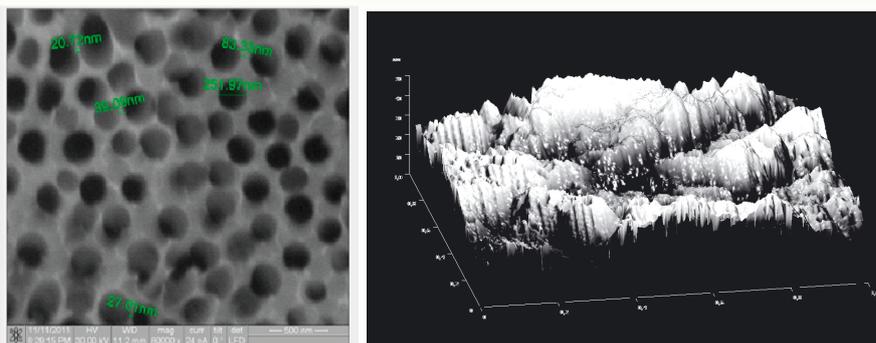


Рис. 2. Электронная микроскопия образцов анодированного оксида алюминия (ALOX™)

технологическом процессе. Как было проанализировано выше, возможными вариантами являются:

1. Поликристаллическое состояние основы (Al), барьерного слоя оксида алюминия (корунд –  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), гидроксидов: (гиббсита –  $\text{Al}(\text{OH})_3$ , бёмита или диаспора –  $\text{AlO}(\text{OH})$  и микропор.

2. Кластерный нанопорошок барьерного слоя и структуры микропор.

3. Гелевое состояние барьерного слоя и структуры микропор.

4. Аморфное (молекулярное) состояние слоев.

5. Аморфное нанокластерное состояние слоев.

Нами была проведена серия экспериментов по определению химического состава образцов материала (ALOX™) с помощью методов рентгеновского флуоресцентного анализа, в котором количественные отношения атомов алюминия и кислорода для  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}(\text{OH})_3$  и  $\text{AlO}(\text{OH})$  должны отличаться друг от друга. Результаты химического анализа, однозначно указывают, что основной со-

став вещества принадлежит оксиду алюминия состава  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

Электронная микроскопия, проведенная на образцах (рисунк 2) полученных при различных напряжениях, показала, что размеры пор могут быть сделаны различными, но пористая микроструктура оксида алюминия во всех случаях сохранялась. Прочность соединения с алюминиевой основой оказалась достаточно высокой: после механической обработки полирования поверхности, структура пор во многом сохранилась, что видно на снимке АСМ.

Для определения степени кристалличности исследуемых образцов были проведены дифрактометрические эксперименты исследуемого материала оксида алюминия. Результаты экспериментов приведены на рисунке 3.

Используя базу данных WWW – МИНКРИСТ, было выяснено, что с дифрактограммами корунда, гиббсита, бёмита, диаспора и металлической основы (алюминия) результаты исследуемых об-

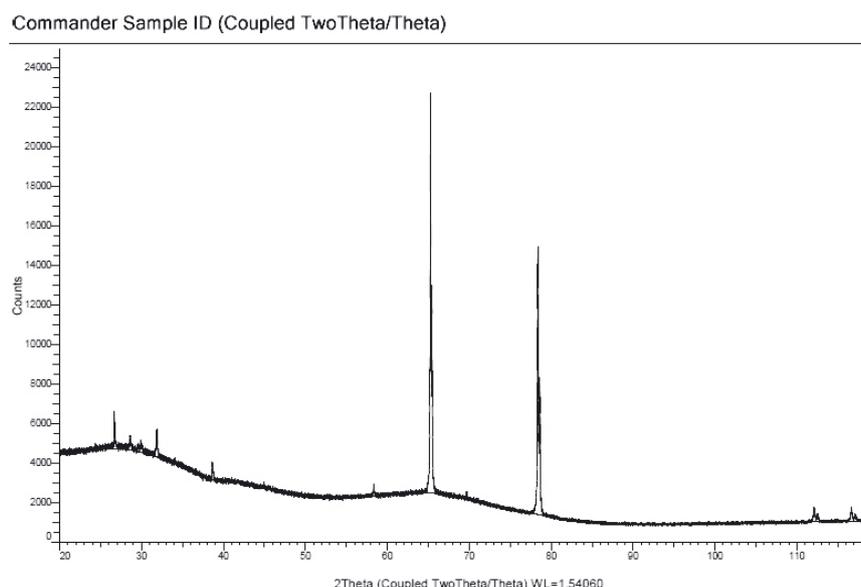


Рис. 3. Дифрактограмма исследуемого образца оксида алюминия

разцов не совпадают, кроме ярко выраженных на рисунке 3 двух экспериментальных максимумов, для которых можно найти не точные совпадения во всех рассматриваемых дифрактограммах. Поэтому, на данной стадии исследований, результаты проделанных экспериментов будем интерпретировать пористую структуру ALOX™ как локально упорядоченное гелевое состояние. Остается один вопрос: «на основе структуры каких молекул строится этот гель и какова их возможная координация». Поиск возможных вариантов «жесткой» координации следует проводить на кристаллическом состоянии алюмооксидов. Подобным образом проводятся модельные исследования силикагеля, тетраэдрическая координация атомов кремния в котором, составляет основу не только силикагелевых структур, но и кристаллического состояния оксидов кремния (см., например, [5]). Во всех случаях исследуется координация оксида или гидроксида.

По аналогии с исследованием силикагеля знание направлений координационных связей могут использоваться и для детального атомно-молекулярного моделирования структур алюмооксидов. В известной нам литературе подобные тому, как это представлено в работе [5] для силикагеля, модельные исследования пористой структуры анодированного оксида алюминия не обнаружены.

Для поиска решения, по сути, кристаллохимической проблемы предлагается использовать разработанную нами ранее математическую модель анализа координаций атомов и их группировок в периодическом пространстве, знание которых для конкретного вещества позволяет определить как форму кристаллического зародыша, так и нанокластеров (с расчетом магических чисел), а также исследовать координационные связи в веществе и на поверхности структуры.

**Проведено компьютерное моделирование нанокластеров оксида алюминия.**

Пусть в кристаллической ячейке трехмерного периодического пространства задана упаковка многогранников или, в частном случае, разбиение пространства на многогранники. В качестве таких многогранников могут выступать, например, поликубы, используемые в методе дискретного моделирования упаковок в молекулярных кристаллах [1], или полиэдры Вороного-Дирихле [2]. Выберем один или несколько многогранников в качестве исходного множества – затравки. На первом шаге добавим к затравке ее первое координационное окружение – совокупность многогранников, являющихся соседними хотя бы для одного из многогранников затравки. Например, соседними, можно считать

многогранники, имеющие хотя бы одну общую грань. Затем описанная процедура повторяется многократно, используя на каждом новом шаге в качестве затравки построенную на предыдущем шаге совокупность многогранников. Во всех случаях при увеличении номера слоя обнаруживается общая закономерность: постепенное формирование некоторого феноменологического многогранника (многоугольника в плоском случае), дальнейшее увеличение размеров которого в компьютерном эксперименте происходит с сохранением его формы, о чем впервые было изложено в докладе [3].

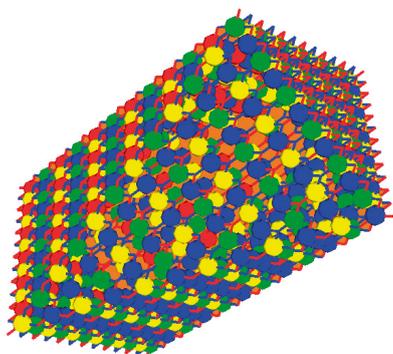
Законы окантовочного роста в виде числовых последовательностей для двумерных разбиений исследованы в работе [5].

Компьютерная программа роста, составленная как для ориентированного, так и неориентированного 3D-графа, была использована впервые для построения нанокластеров каменной соли NaCl авторами [6], а затем для зародышей кристаллических структур молекулярных соединений антрацена, и серы [7]. На основе апробированных программ был создан комплекс «Компьютерный наноскоп» [8], предназначенный для решения задач наноструктурного анализа, который будем использовать ниже с целью моделирования кластеров наноксидов алюминия.

Конкретную информацию о кристаллах Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (корунда) можно получить из международной базы данных минералогических структур «WWW-МИНКРИСТ» [9], описание структур которых давно известно в кристаллографии. В классическом учебнике М.П. Шаскольской написано: «Структуру корунда можно описать как ромбоэдрически деформированную структуру NaCl, в которой ион Na<sup>+</sup> (или ион Cl<sup>-</sup>) заменен группой Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Двухвалентные ионы кислорода образуют приблизительно гексагональную плотнейшую упаковку ... АВАВАВАВ..., а трехвалентные ионы алюминия заполняют две трети октаэдрических пустот. Пары заселенных октаэдров, чередуясь с одним незаселенным, создают винтовые оси 31, характеризующие так называемый корундовый мотив упаковки вдоль оси *c*».

Анализ структуры показал, что выбранный набор ближайших расстояний между атомами действительно позволяет разбить структуру на *непересекающиеся группы атомов*, состоящие из 2 атомов алюминия и 3 атомов кислорода каждая и образующие геометрически тригональную дипирамиду, в вершинах которой находятся атомы алюминия. Это обстоятельство упростило выбор варианта «строительной единицы» кристалла. Положения центров дипирамид были приняты за вершины растущего гра-

фа, расстояния между центрами соседних дипирамид – за ребра графа и внесены в качестве исходной информации в файл для расчета формы роста структуры вместе с параметрами ромбоэдрической ячейки кристалла. Результат расчета представлен на *рисунке 4*.



**Рис. 4.** 11-я сфера многогранника послойного роста корунда, содержащая 486 «точек»-центров молекул  $\text{Al}_2\text{O}_3$  в форме дипирамид (около 8 нм).

Модели нанокластеров алюминия, полученные по рецептам [6] и представленные на *рисунке 5*, имеют псевдогексагональную структуру. Показаны направления внешних координационных связей. При направленном росте эти связи могут организовать пористую гексагональную микроструктуру алюминогеля. Можно предположить, что размеры нанокластеров при различных условиях роста различны, что и определяет толщину стенок растущих пор алюминоксида.

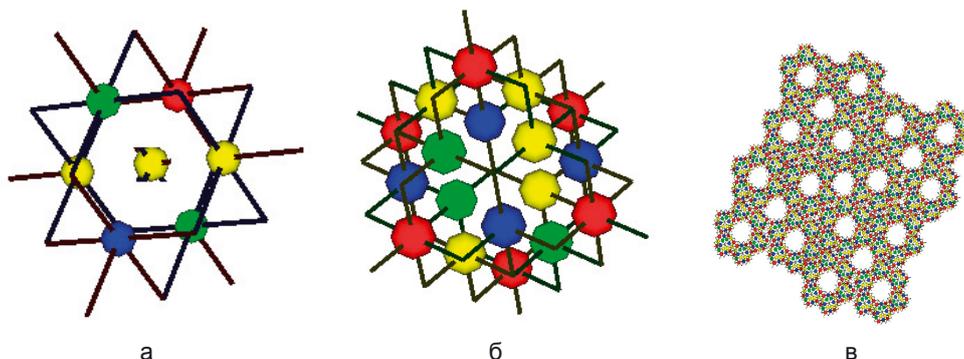
Пористая структура алюминогеля (*рисунк 5в*) является идеальной для создания управляемой фрактальной антенны [10], в которой в порах АОА размещаются элементы – излучатели.

Результаты, описанные в данной статье, получены при проведении НИР по теме «Разработка прикладного программного обеспечения для конструирования светодиодных подложек,

производимых по технологии «ALOX™» с учетом тепловых процессов» в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2013 годы», государственный контракт № 07.514.11.4061 от 13.10.2011 г. на выполнение научно-исследовательских работ. Эксперименты по РФА алюминоксидов проведены на порошковом дифрактометре D8 ADVANCE (Bruker AXS, Germany). Предварительный химический анализ был проведен на волновом рентгенофлуоресцентном спектрометре последовательного анализа «ARL ADVANT'X» (оборудование ЦКП ВлГУ).

### Литература

1. Малеев А.В., Рау В.Г., Потехин К.А. и др. Метод дискретного моделирования упаковок в молекулярных кристаллах // Доклады АН СССР, 1990. Т. 315, №6, С. 1382.
2. Fiscer W., Koch E. // Z. Krist., 1979. V.150. P. 245.
3. Рау В.Г., Рау Т.Ф., Малеев А.В., Лысов А.Е., Ким А.Г. О возможности компьютерного моделирования идеальных форм растущего монокристалла // XVI научное совещание «Высококачественные материалы с особыми физическими свойствами». РАН, Москва-Суздаль, 1999. С. 32-34.
4. Журавлев В.Г. Самоподобный рост периодических разбиений и графов // Алгебра и анализ, 2001. Т. 13. № 2. С. 69-92.
5. Рау В.Г., Пугаев А.А., Рау Т.Ф. Кристаллография. 2006. Т. 51. №1. С. 8-16.
6. Rau V.G., Pugaev A.A., Rau T.F., Maleev A.V. // Crystallography Reports. 2009. V. 54. No. 7. P. 28.
7. Рау В.Г., Скворцов К.В., Потехин К.А., Малеев А.В. Геометрический анализ моделей молекулярных нанокластеров серы в компьютерном эксперименте // Структурная химия. Новосибирск, СО РАН, 2011. Т. 50. С. 12-17.
8. Рау В.Г., Журавлев В.Г., Рау Т.Ф., Малеев А.В. Морфогенез кристаллических структур в методе дискретного моделирования упаковок // Кристаллография, 2002. Т. 47. №5. С. 793-796.
9. WWW-МИНКРИСТ URL: <http://database.iem.ac.ru/mincryst/rus/index.php> (дата обращения: 13.08.2012).
10. Скворцов К.В., Рау Т.Ф., Никитин О.Р., Рау В.Г. Моделирование сборки фрактальных наноструктур для управляемых приемно-передающих устройств // Известия Института инженерной физики, 2010. Т. 3. №17. С. 39-42.



**Рис. 5.** Односферная (а), двухсферная (б) и пористая (в) модели нанокластеров с псевдогексагональной симметрией. Каждая точка составлена из группы атомов структуры  $\alpha - \text{Al}_2\text{O}_3$ .

УДК 621.396

## ПЕЛЕНГАЦИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИОНОСФЕРНОГО ОБРАЗОВАНИЯ С ПОМОЩЬЮ НАВИГАЦИОННОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

**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(916)841-91-47  
E-mail: pashintsevp@mail.ru

**Сергей Владимирович Яремченко**

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

**Сергей Юрьевич Коротков**

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

**Владимир Иванович Стрекозов**

преподаватель  
филиал Военной академии РВСН (г. Серпухов)  
Адрес: 142210, Московская обл.,  
г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17  
Тел.: +7(909) 682-48-83  
E-mail: vowa.strekozov@yandex.ru

**Дмитрий Вячеславович Смирнов**

доктор технических наук, доцент  
Генеральный директор –  
Первый Вице-президент Института  
МОУ «ИИФ»  
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов,  
Большой Ударный пер., д. 1а  
Тел.: +7(4967)35-31-93

Разработан способ пеленгации искусственного ионосферного образования на основе анализа изменения во времени интенсивности мелкомасштабных неоднородностей ионосферы на трассе от навигационного космического аппарата до двухчастотного приемника системы спутниковой радионавигации.

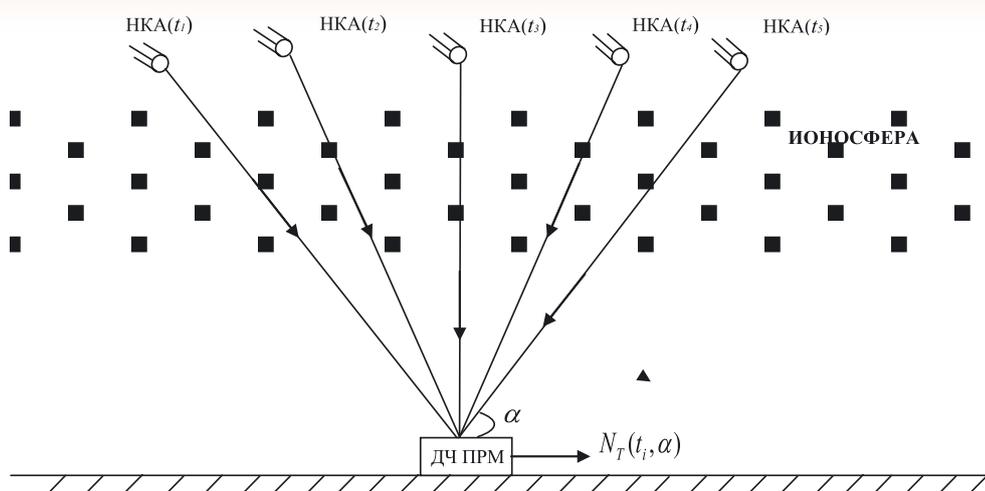
Developed the method of direction finding artificial ionospheric education on the basis of the analysis of changes over time in the intensity of small-scale inhomogeneities of the ionosphere on the highway from the navigation spacecraft to double-frequency receiver satellite navigation systems.

**Ключевые слова:** искусственные ионосферные образования, полное электронное содержание, интенсивность неоднородностей, спутниковые радионавигационные системы, двухчастотный приемник.

**Keywords:** artificial ionospheric educations, full electronic contents, intensity of not uniformity, satellite radio navigation systems, two-frequency receiver.

Известно [1-3], что при техногенном воздействии на ионосферу (например, ее радионагреве мощным КВ излучением) возникает искусственное ионосферное образование (ИИО). Особенностью структуры ИИО является присутствие неоднородностей электронной концентрации с поперечными размерами от 0,1 м до 100 км.

В [4] разработан способ обнаружения ИИО на основе определения параметров мелкомасштабных (с характерными размерами  $l_s \sim 100 \dots 1000$  м) неоднородностей электронной концентрации с помощью спутниковой радионавигационной системы (СРНС), использующей двухчастотные приемники для измерения полного электронного содержания (ПЭС) ионосферы. Суть разра-



**Рис. 1.** Измерение полного электронного содержания двухчастотным приемником при перемещении навигационного космического аппарата

ботанного способа обнаружения ИИО заключается в том, что по результатам измерений ПЭС возможно определить интенсивности ( $\beta_n$ ) мелкокомасштабных неоднородностей ионосферы на трассах распространения радиоволн от каждого ( $n=1\dots N$ ) из видимых навигационных космических аппаратов (НКА) до двухчастотного приемника СРНС и сравнить их значения с порогом ( $\beta_{n(\text{пор})}$ ). Если интенсивность ионосферных неоднородностей на трассе от  $n$ -го навигационного космического аппарата (НКА $_n$ ) превышает порог ( $\beta_{n(n)} \geq \beta_{n(\text{пор})} = 1\%$ ), то принимается решение об обнаружении ИИО.

Однако область применения разработанного способа можно существенно расширить с учетом того обстоятельства, что в каждом принимаемом сигнале, используемом для измерения ПЭС ионосферы, содержится сообщение не только о номере ( $n$ ) НКА, передающего этот сигнал, но времени его передачи и координатах НКА $_n$  (а, следовательно, и направлении  $\alpha$  прихода этого сигнала).

Целью данной статьи является разработка способа пеленгации искусственного ионосферного образования на основе анализа изменения во времени интенсивности мелкокомасштабных неоднородностей ионосферы на трассе от навигационного космического аппарата до двухчастотного приемника СРНС.

Известно [4, 5], что в общем случае электронная концентрация (ЭК) ионосферы содержит регулярную  $\langle N \rangle$  и флуктуационную  $\Delta N$  составляющие:  $N = \langle N \rangle + \Delta N$ . Однако в нормальной ионосфере интенсивность мелкокомасштабных неоднородностей ( $\beta_n \sim \Delta N / \langle N \rangle$ ) мала ( $10^{-3} \dots 10^{-2}$ ) и флуктуациями ЭК  $\Delta N$  относительно среднего значения

$\langle N \rangle$  можно пренебречь, т.е. считать ЭК  $N = \langle N \rangle$  неслучайной величиной на любой высоте ионосферы  $h$ .

Если в качестве навигационной аппаратуры потребителя СРНС использовать двухчастотный приемник, он будет измерять в различные моменты времени  $t_i$  полное электронное содержание (ПЭС) ионосферы, которое измеряется в единицах  $[\text{эл}/\text{м}^2]$  и описывается выражением [6]

$$N_T(t_i, \alpha) = \int_0^{h_{\text{НКА}}} N(h, t_i) dl, \quad (1)$$

где  $N(h, t_i)$  – изменение по высоте ( $h$ ) ЭК ионосферы  $N$   $[\text{эл}/\text{м}^2]$  в момент времени  $t_i$ ;  $h_{\text{НКА}}$  – высота орбиты НКА;  $dl = \psi(\alpha)$  – элемент наклонного пути распространения радиоволн (РРВ) через ионосферу под углом  $\alpha$ .

На *рисунке 1* показано перемещение относительно двухчастотного (ДЧ) приемника (ПРМ) СРНС одного из видимых НКА в моменты времени  $t_i = t_1 \dots t_5$ . В соответствии с изменением времени  $t_i$  происходит изменение угла РРВ через нормальную ионосферу  $\alpha(t_i)$  от НКА до ДЧ ПРМ, измеряющего ПЭС  $N_T(t_i, \alpha)$ .

Для пояснения характера изменения ПЭС в нормальной ионосфере  $N_T(t_i, \alpha)$  на выходе ДЧ ПРМ (*рисунк 1*) при перемещении НКА на *рисунке 2* приведены ход изменения ПЭС (а) в различные моменты времени  $t_1 \dots t_5$  и модель высотного ( $h$ ) распределения ЭК (б) при нормальной ионосфере (неизменная на этом интервале времени  $t_1 \dots t_5$ ).

В момент времени  $t_3$ , когда происходит вертикальное трансionoсферное РРВ  $\alpha(t_3) = 90^\circ$ , элемент наклонного пути будет равен элементу вер-

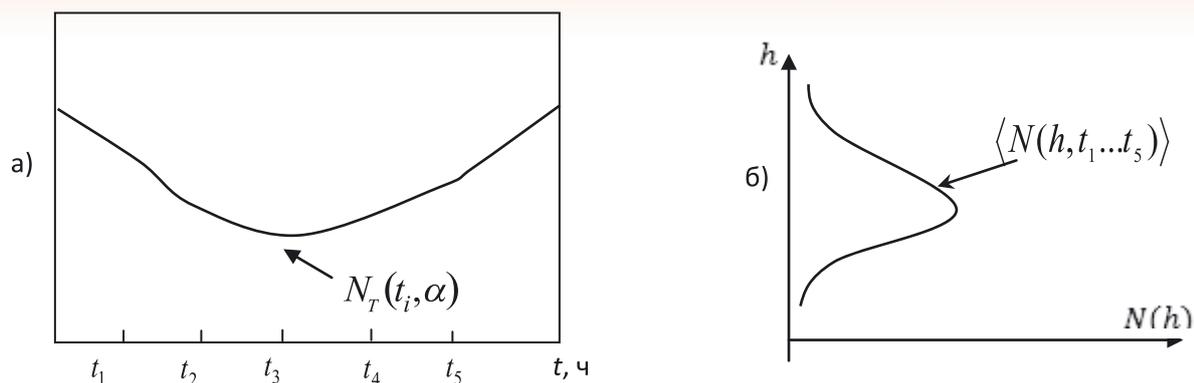


Рис. 2. Изменение ПЭС во времени (а) и модель распределения ЭК (б) в нормальной ионосфере

тикального пути  $dl=dh$  и величина ПЭС принимает минимальное значение:

$$N_T(t_3) = \int_0^{h_{\text{НКА}}} N(h, t_3) dh. \quad (2)$$

При типовой модели распределения по высоте ЭК (см. рисунок 2б) в нормальной ионосфере  $N(h, t_3) \equiv N(h)$ , для которой характерно наличие в слое F на высоте максимума ионизации  $h=h_m$  области с наибольшей ЭК  $N(h_m) \equiv N_m$ , выражение (2) можно записать в виде произведения [2]

$$N_T(t_3) = N_m(t_3) h_3 = N_m h_3 \quad (3)$$

максимального значения ЭК в ионосфере  $N_m \equiv N_m(t_3)$  на эквивалентную толщину ионосферы  $h_3$ . В нормальной ионосфере значения этих параметров составляют  $N_m \approx 10^{11} \dots 10^{12}$  эл/м<sup>3</sup>,  $h_3 \approx 500$  км и  $N_T \approx (1 \dots 10) \cdot 10^{16}$  эл/м.

С ростом отклонения угла наклона  $\alpha(t_i)$  от вертикали  $\alpha(t_3)=90^\circ$  согласно рисунку 1 длина пути

РРВ через ионосферу и величина ПЭС будут возрастать. Для оценки ПЭС при наклонном РРВ следует учесть, что согласно [7] при достаточно большом угле наклона трассы относительно горизонта ( $\alpha \geq 30^\circ$ ) величина  $dl$  связана простой зависимостью с элементом вертикального пути  $dh$  РРВ:  $dl = dh \cdot \cos \text{ec} \alpha$ . Тогда, с учетом (2, 3) выражение (1) можно записать в следующем виде:

$$\begin{aligned} N_T(t_i) &= \int_0^{h_{\text{НКА}}} N(h, t_i) dh \cdot \cos \text{ec} \alpha(t_i) = \\ &= N_m(t_i) h_3 \cos \text{ec} \alpha(t_i). \end{aligned} \quad (4)$$

Сравнительный анализ выражений (3) и (4) показывает (см. рисунок 2а), что в момент времени  $t_i=t_3$  угол наклона трассы РРВ соответствует вертикали  $\alpha(t_i)=\alpha(t_3)=90^\circ$  и  $\cos \text{ec} \alpha(t_3)=1$ . В другие моменты времени  $t_i \neq t_3$  значение  $\cos \text{ec} \alpha(t_i) > 1$  и ПЭС (4) будет превышать минимальное значение (3):  $N_T(t_i) > N_T(t_3)$ .

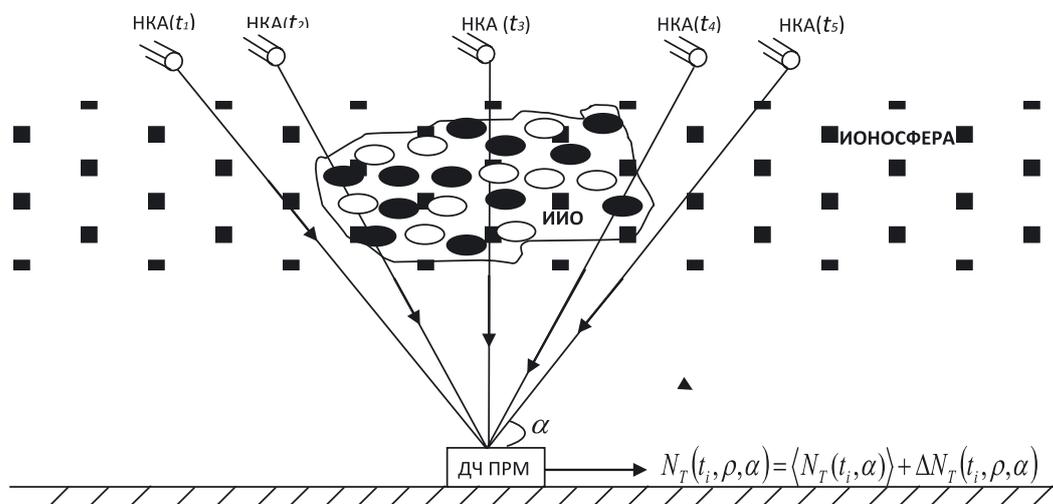
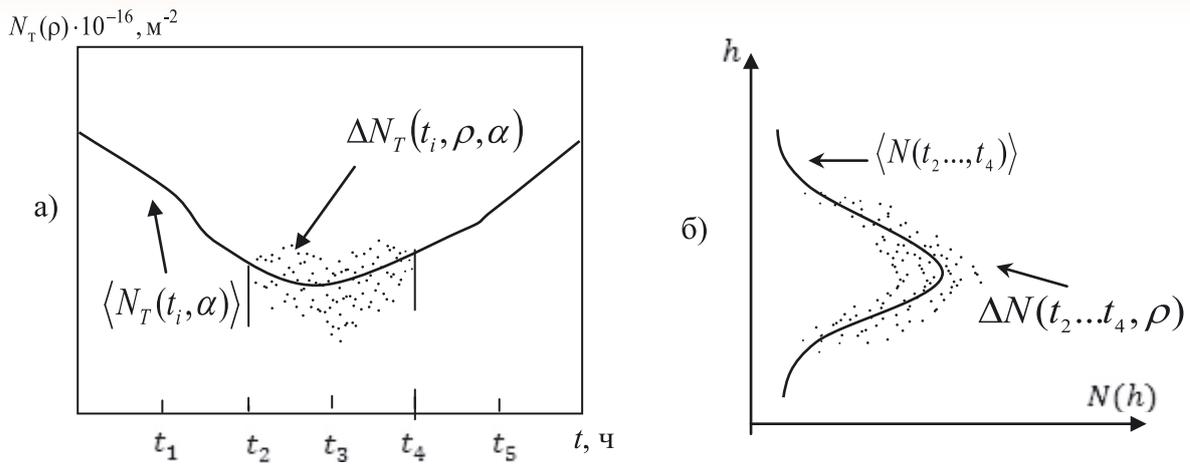


Рис. 3. Изменение ПЭС во времени при ИИО



**Рис. 4.** Изменение ПЭС во времени (а) и модель распределения ЭК (б) при ИИО в интервале времени  $(t_2...t_4)$

При возникновении ИИО, когда интенсивность мелкомасштабных неоднородностей ионосферы может возрастать на 1...2 порядка (до  $\beta_n \sim 10^{-2} \dots 10^{-1}$ ) пренебречь флуктуациями ЭК  $\Delta N$  по пространству  $(h, \rho = x, y)$  нельзя (рисунки 3). Поэтому ЭК в течение всего времени существования ИИО ( $t$ ) будет иметь регулярную (среднюю) и флуктуационную составляющие:

$$N(\rho, h, t) = \langle N(h, t) \rangle + \Delta N(\rho, h, t). \quad (5)$$

В соответствии с (5) и (4) величина ПЭС в ИИО, измеряемая двухчастотным приемником (ДЧ ПРМ) при перемещении НКА в интервале времени  $t_i = t_2 \dots t_4$ , также будет иметь регулярную (среднюю) и флуктуационную составляющие (см. рисунок 3):

$$N_T(t_i, \rho, \alpha) = \int_0^{h_{\text{НКА}}} N(\rho, h, t_i) dl \approx \cos e c \alpha(t_i) \int_0^{h_{\text{НКА}}} N(\rho, h, t_i) dh = \langle N_T(t_i, \alpha) \rangle + \Delta N_T(t_i, \rho, \alpha), \quad (6)$$

определяемые как

$$\langle N_T(t_i, \alpha) \rangle = \int_0^{h_{\text{НКА}}} \langle N(h, t_i) \rangle dh \cos e c \alpha(t_i); \quad (7)$$

$$\Delta N_T(t_i, \rho, \alpha) = \int_0^{h_{\text{НКА}}} \Delta N(\rho, h, t_i) dh \cos e c \alpha(t_i) \quad (8)$$

Для пояснения характера изменения ПЭС в ИИО  $N_T(t_i, \rho, \alpha)$  на выходе ДЧ ПРМ (рисунки 3) при перемещении НКА на рисунке 4 приведены ход изменений ПЭС (а) в различные моменты времени  $t_i = t_1 \dots t_5$  и модель (б) пространственного распределения ЭК (б) на интервале времени перемещения трассы РРВ через ИИО  $t_i = t_2 \dots t_4$ .

Выражение (7) для регулярной составляющей ПЭС в ИИО будет описываться аналогично (4) при заменах ЭК ( $N$ ) на их средние значения  $\langle N \rangle$ :

$$\begin{aligned} \langle N_T(t_i, \alpha) \rangle &= \int_0^{h_{\text{НКА}}} \langle N(h, t_i) \rangle dh \cdot \cos e c \alpha(t_i) = \\ &= \langle N_m(t_i) \rangle h_s \cos e c \alpha(t_i). \end{aligned} \quad (9)$$

Выражение (8) для флуктуационной составляющей ПЭС в ИИО можно записать в виде произведения

$$\Delta N_T(t_i, \rho, \alpha) = \Delta N_T(t_i, \rho) \cos e c \alpha(t_i). \quad (10)$$

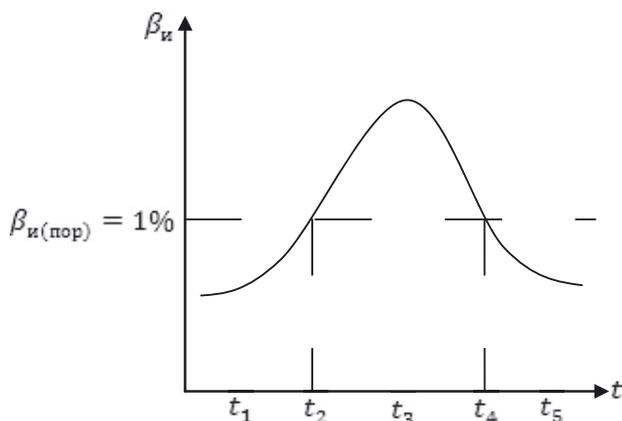
Согласно (9, 10) среднеквадратическое отклонение флуктуаций ПЭС в ИИО для случая наклонного РРВ под углом  $\alpha \equiv \alpha(t_i)$  можно определить по выражению [3]

$$\begin{aligned} \sigma_{\Delta N_T}(t_i, \alpha) &= \sqrt{\langle \Delta N_T^2(t_i, \rho, \alpha) \rangle} = \\ &= \beta_n(t_i, \alpha) \langle N_T(t_i, \alpha) \rangle \left( \frac{\sqrt{\pi} l_s}{h_s \cos e c \alpha} \right)^{0,5}. \end{aligned} \quad (11)$$

В соответствии с (11) интенсивность мелкомасштабных неоднородностей в ИИО на трассе РРВ от перемещающегося НКА до неподвижного ДЧ ПРМ в различные моменты времени  $t_i$ , соответствующие углам прихода волны  $\alpha \equiv \alpha(t_i)$ , будет определяться согласно выражению

$$\beta_n(t_i, \alpha) = \frac{\sigma_{\Delta N_T}(t_i, \alpha)}{\langle N_T(t_i, \alpha) \rangle} \left( \frac{h_s \cos e c \alpha}{\sqrt{\pi} l_s} \right)^{0,5}. \quad (12)$$

В соответствии с (12) пеленгацию ИИО возможно осуществить путем определения интенсивности неоднородностей в различные моменты времени на трассах РРВ от НКА до ДЧ ПРМ и сравнения их с порогом (рисунк 5).



**Рис. 5.** Сравнение интенсивности неоднородностей ионосферы в различные моменты времени с пороговым уровнем

Анализ рисунка 5 показывает, что интенсивность неоднородностей  $\beta_n(t_i)$  на трассах РРВ от НКА до ДЧ ПРМ, проходящих через ИИО в интервал времени  $t_i = t_2 \dots t_4$ , будут значительно больше, чем интенсивность неоднородностей невозмущенной ионосферы на трассе РРВ от НКА, измеренная в другие моменты времени:  $\beta_n(t_1)$ ,  $\beta_n(t_5)$ . Согласно [4] пороговый уровень целесообразно выбирать  $\beta_{n(\text{пор})} = 1\%$ .

По результатам измерения интенсивности неоднородностей ионосферы  $\beta_n(t_i)$  на трассах РРВ от одного НКА до ДЧ ПРМ в различные моменты времени и сравнения их значений с порогом  $\beta_n(t_i) \geq \beta_{n(\text{пор})} = 1\%$  можно установить начальный  $t_n$  и конечный  $t_k$  моменты времени  $t_i$ , при которых выполняется равенство  $\beta_n(t_i) = \beta_{n(\text{пор})}$ . Напомним, что в каждом принимаемом сигнале СРНС содержится сообщение о номере НКА, времени его передачи (и прихода  $t_i$ ) и координатах НКА (т.е. направлении  $\alpha \equiv \alpha(t_i)$  прихода этого сигнала). Поэтому по установленным начальному  $t_n$  и конечному  $t_k$  моментам времени можно определить соответствующее им начальное

$\alpha_n \equiv \alpha_k(t_i)$  и конечное  $\alpha_k \equiv \alpha(t_k)$  направление на пространственные границы ИИО и тем самым осуществить пеленгацию ИИО.

Таким образом, суть разработанного способа пеленгации искусственного ионосферного образования состоит в следующем:

1) по принимаемым сигналам СРНС определяется интенсивность ионосферных неоднородностей на трассах распространения радиоволн от одного перемещающегося навигационного космического аппарата до двухчастотного приемника в различные моменты времени;

2) устанавливаются начальный и конечный моменты времени, при которых интенсивность ионосферных неоднородностей принимает пороговое значение, соответствующее признаку возникновения искусственного ионосферного образования;

3) для установленных моментов времени из навигационного сообщения принимаемого сигнала определяются координаты навигационного космического аппарата и соответствующие им направления (пеленги) на пространственные границы искусственного ионосферного образования.

## Литература

1. Лобанов Б.С. Исследование возможности создания в ионосфере объемных образований, эффективно взаимодействующих с электромагнитным излучением в сверхшироком диапазоне частот // Теория и техника радиосвязи, 2009. №3. С. 16-24.
2. Куприянов А.И., Сахаров А.В. Теоретические основы радиоэлектронной борьбы. М.: Вузовская книга, 2007. 356 с.
3. Пашинцев В.П., Солчатов М.Э., Гахов Р.П. Влияние ионосферы на характеристики космических систем передачи информации (монография). М.: Наука. Издательство физико-математической литературы, 2006. 191 с.
4. Пашинцев В.П., Коваль С.А., Стрекозов В.И., Бессмертный М.Ю. Обнаружение искусственных ионосферных образований с помощью спутниковых радионавигационных систем // Теория и техника радиосвязи, 2013. Т. 48. №1. С. 112-117.
5. Гершман Б.Н., Ерухимов Л.М., Яшин Ю.Я. Волновые явления в ионосфере и космической плазме. М.: Наука. 1984. 392 с.
6. Афраймович Э.Л., Первалова Н.П. GPS-мониторинг верхней атмосферы Земли. Иркутск, 2006. 480 с.
7. Колосов М.А., Армад Н.А., Яковлев О.М. Распространение радиоволн при космической связи. М.: Связь, 1969. 155 с.

УДК 347.7, 006.01

## ТЕХНИЧЕСКАЯ РЕГЛАМЕНТАЦИЯ КАК УСТАНОВЛЕНИЕ ОБЯЗАТЕЛЬНЫХ ТРЕБОВАНИЙ К ОБЪЕКТАМ ТЕХНИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

**Олег Николаевич Андрух**

*кандидат технических наук, доцент*

директор филиала Университета  
машиностроения в г. Серпухове,  
Вице-президент МОУ «ИИФ» по учебно-  
методической работе  
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов,  
Большой Ударный пер., д. 1а  
Тел.: +7(4967)35-31-93 E-mail: oandruh@mail.ru

**Марфа Геннадьевна Заводчикова**

Вице-президент МОУ «ИИФ»  
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов,  
Большой Ударный пер., д. 1а  
Тел.: +7(4967)35-31-93  
E-mail: zavodchikova@gmail.com

**Майя Константиновна Чадунели**

заведующая кафедрой «Гуманитарные и  
социально-экономические дисциплины»  
филиал Университета машиностроения  
в г. Серпухове  
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов,  
Большой Ударный пер., д. 1а  
Тел.: +7(4967)35-31-93 E-mail: maiakonst@mail.ru

В статье проанализированы недостатки терминологической базы федерального закона «О техническом регулировании», обоснованно предложено наименование деятельности по установлению и применению обязательных требований к объектам, сформулировано новое определение технического регулирования.

In article the terminology database shortcomings of the federal law «On technical regulation» are analysed, the activity name on establishment and application of obligatory requirements to objects reasonably is offered, new definition of technical regulation is formulated.

**Ключевые слова:** техническое регулирование, стандартизация, оценка соответствия, объекты технических регламентов, объекты стандартизации, объекты оценки соответствия.

**Keywords:** technical regulation, standardization, conformity assessment, objects of technical regulations, objects of standardization, objects of conformity assessment.

В Российской Федерации понятие «техническое регулирование» появилось относительно недавно, в 2002 году, с принятием Федерального закона «О техническом регулировании» (далее – ФЗ). Применение Федерального закона выявило ряд недостатков в терминологической базе технического регулирования.

Целью настоящей статьи является совершенствование терминологической базы технического регулирования, разработка предложений по коррекции отдельных положений ФЗ.

В ФЗ представлено следующее определение технического регулирования.

**Техническое регулирование** – правовое регулирование отношений в области установления, применения и исполнения обязательных требований к продукции или к связанным с

ними процессам проектирования (включая изыскания), производства, строительства, монтажа, наладки, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, а также в области установления и применения на добровольной основе требований к продукции, процессам проектирования (включая изыскания), производства, строительства, монтажа, наладки, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, выполнению работ или оказанию услуг и правовое регулирование отношений в области оценки соответствия.

Анализ определения показывает, что техническое регулирование – это правовое регулирование отношений в трех сферах деятельности (рисунки 1). Условно назовем первой сферой деятельность «в области установления, применения

# ТЕХНИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ



Рис. 1. Три сферы в области технического регулирования

и исполнения обязательных требований к продукции или к связанным с ними процессам проектирования (включая изыскания), производства, строительства, монтажа, наладки, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации», второй сферой – деятельность «в области установления и применения на добровольной основе требований к продукции, процессам проектирования (включая изыскания), производства, строительства, монтажа, наладки, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, выполнению работ или оказанию услуг», третьей сферой – деятельность «в области оценки соответствия». Однако подход к сущности, к раскрытию этих сфер деятельности в определении технического регулирования различен.

Во-первых, в отношении первой сферы деятельности, связанной с установлением обязательных требований, отмечается, что это «...правовое регулирование отношений в области установления, применения и исполнения обязательных требований...». Подчеркнем, что здесь выделено три составляющие действия – установление, применение и исполнение требований. В отношении второй сферы деятельности (правового регулирования отношений в области добровольных требований) составляющих действия только две «...в области установления и применения на добровольной основе требований...». Почему вторая сфера подвергается некоторой дискриминации и не включает действие «исполнение»? По логике авторов закона – потому что обязательные требования должны

подвергаться процедуре государственного контроля и надзора. Но ведь и в отношении объектов, прошедших сертификацию на добровольной основе, также существуют процедуры контроля, например, инспекционный контроль, в ходе которого устанавливается факт исполнения добровольных требований.

Во-вторых, в определении первая и вторая сфера деятельности довольно полно раскрываются, характеризуются, в то время как третья сфера деятельности, оценка соответствия, только называется.

Отличия в характеристике трех сфер деятельности в определении технического регулирования непоследовательны и нелогичны.

Авторы статьи предлагают подход к упрощению определения технического регулирования на основе перечисления названий трех составляющих технического регулирования с последующим раскрытием сущности данных составляющих.

Первый шаг к упрощению определения понятия технического регулирования мог быть следующим.

**Техническое регулирование** – это правовое регулирование отношений в области установления и применения обязательных требований к объектам, правовое регулирование отношений в областях стандартизации и оценки соответствия.

Схематичное представление составляющих предложенного определения технического регулирования представлено на рисунке 2.



# ТЕХНИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ

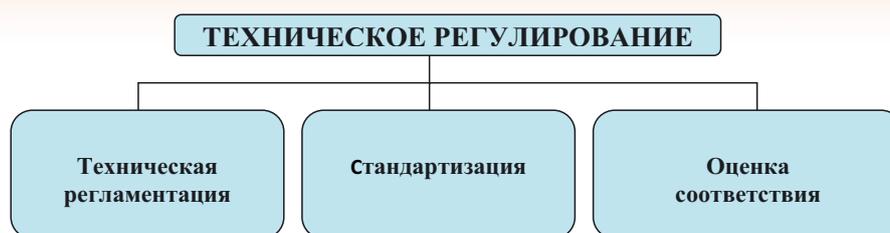


Рис. 4. Рекомендуемые наименования составляющих в определении термина «техническое регулирование»

Девербативы «регламентирование» и «регламентация» отражают и процесс, и результат, и оба могут применяться для характеристики сферы деятельности по установлению обязательных требований к объектам. Однако авторы статьи отдают предпочтение отглагольному существительному «регламентация», исходя из следующих соображений:

1) «регламентация» – слово с более краткой основой, поэтому его употребление проще в сравнении с использованием слова «регламентирование»; 2) термин «регламентирование» близок по звучанию к термину «регулирование», что допускает механические ошибки в иерархии подчиненных друг другу терминов; 3) понятие «регламентация» созвучно понятию «стандартизация», поскольку это термины более низкого уровня иерархии, чем «регулирование», использование варианта «регламентация» по аналогии со «стандартизацией» улучшает восприятие термина как части, составляющей технического регулирования.

Таким образом, предлагается ведение нового термина - «техническая регламентация» с возможным сокращением «регламентация».

**Техническая регламентация (регламентация)** – сфера деятельности по установлению и применению обязательных требований к объектам.

**Объектами** технической регламентации являются продукция и связанные с ней процессы проектирования (включая изыскания), производства, строительства, монтажа, наладки, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации.

С введением термина «техническая регламентация» предлагается следующая редакция определения технического регулирования.

**Техническое регулирование** – это правовое регулирование отношений в областях технической регламентации, стандартизации и оценки соответствия.

Схема, представляющая предложенное определение технического регулирования, представ-

лена на *рисунке 4*. Сравнение *рисунков 4 и 1* показывает, насколько упростилось определение технического регулирования с введением понятия «техническая регламентация». Рекомендуемое определение технического регулирования лишено недостатков: в определении называются три подчиненные взаимосвязанные сферы деятельности, которые в последующем, в соответствующих главах ФЗ, полно характеризуются.

С введением термина «техническая регламентация» появляется основание для изменения названия главы 2 Федерального закона, которая в настоящее время именуется «Технические регламенты». Для сравнения: глава 3 ФЗ называется «Стандартизация», глава 4 называется «Подтверждение соответствия» – как названия второй и третьей сферы деятельности в области технического регулирования. За отсутствием краткого названия первой сферы в области технического регулирования глава 1 названа как результат в области установления обязательных требований к объектам. Авторы предлагают назвать главу 2 «Техническая регламентация» как вид деятельности, а не конечный результат, по аналогии с главами 3 и 4 Федерального закона.

Таким образом, в статье обоснованно введен новый термин – «техническая регламентация» – как сфера деятельности в области установления и применения обязательных требований к объектам. Предложена новая версия определения «техническое регулирование», основанная на использовании названий трех сфер (составляющих) деятельности в области технического регулирования. Предложены рекомендации по изменению названия главы 2 ФЗ «О техническом регулировании».

## Литература

1. Гвоздев В.Д. Техническое регулирование или техническая регламентация // Стандарты и качество, 2007. №4. С. 100-102.
2. Зворыкина Т.И., Платонова Н.А. Техническое регулирование: сфера услуг: учебное пособие. М.: Альфа, ИНФРА-М, 2010. 544 с.
3. Тихонов А.Н. Словообразовательный словарь русского языка. В 2-х т. Т. 2. М.: АСТ «Астрель», 2008. 860 с.

# ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОЕКТЫ

УДК 008

## СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ УСТОЙЧИВЫМ РАЗВИТИЕМ: КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ИДЕИ\*



### Игорь Александрович Бугаков

заслуженный изобретатель РФ  
доктор технических наук, профессор  
Вице-президент МОУ «ИИФ»  
по инновационным проектам  
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 обл.,  
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а  
Тел.: +7(4967)35-31-93

В статье обосновывается необходимость создания специального органа глобального управления устойчивым развитием и излагаются принципы его построения и функционирования, показана роль образования и культуры в обеспечении устойчивого развития человека как условия устойчивого развития человечества.

In article necessity of creation of special body of global management is proved by a sustainable development and principles of its construction and functioning are stated, the role of formation and culture in maintenance of a sustainable development of the person as conditions of a sustainable development of mankind is shown.

**Ключевые слова:** устойчивое развитие, управления, инвариантность, бифуркация, целостность, робастность, градиент, образование, культура.

**Keywords:** sustainable development, governance, invariance, bifurcation, integrity, gradient, education, culture.

*«Текущий исторический период основан на дешевых ископаемых ресурсах и закончится в ближайшие десятилетия.*

*...Сейчас мировая система находится далеко за пределами роста.*

*...Проблемы идут от культуры, и мы должны изменить нашу культуру и мировоззрение».*

*Д. Медоуз, 2012 г.*

Устойчивое развитие (УР) как условие и путь сохранения современной цивилизации не имеет альтернатив. В основе этого утверждения лежит идея о том, что в условиях ограниченных природных ресурсов Земли и ее возможностей по приему и нейтрализации вредного воздействия отходов жизнедеятельности человека выход за допустимые пределы потребления и загрязнения неминуемо ведет к ограничению возможностей удовлетворения потребностей настоящих и, тем более, будущих поколений людей и ставит под вопрос само существование че-

лечества. Проведенное Д. Медоузом и его соратниками моделирование системной динамики мира<sup>1</sup> и выявление «пределов роста» ведет именно к такому выводу<sup>2</sup> [1-3].

К сожалению, даже спустя 40 лет этот вывод известен далеко не всем. Несомненно, многие люди (в том числе и облеченные достаточной для принятия необходимых решений властью), вероятнее всего осознают опасность продолжения мирового курса развития на основе только рыночных ценностей, идей роста и приоритета традиционных экономических показателей. Но поскольку эта опасность относится, как считается, к глобальному будущему, то она затмевается

<sup>1</sup> В исходной модели (1972 г.) учитывалась численность населения, объем капиталовложений, расход невозобновляемых ресурсов, загрязнение среды и объем производства продовольствия.

<sup>2</sup> Логика этого вывода базируется на идеях: – существования пределов (Земля и ее ресурсы конечны); – наличия постоянного стремления к росту; – наличия запаздывания между приближением к пределу и реакцией общества на это. «Любая система, которой свойственны эти три фактора, рано или поздно выйдет за пределы и разрушится».

\* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант № 12-06-00243а.

текущими проблемами локального настоящего, которые кажутся гораздо более важными<sup>3</sup>. Поэтому попытки людей, знающих истинное положение дел, донести сущность проблемы до массового сознания пока не очень успешны, что настраивает их на пессимистический лад<sup>4</sup>.

С каждым годом ситуация усложняется. В недопустимо больших объемах извлекаются полезные ископаемые. Проявления глобального изменения климата как следствия агрессивной по отношению к природе техногенной деятельности человека (глобальные загрязнения, вырубание в недопустимых масштабах тропических лесов и др.) становятся все более явными<sup>5</sup>. Количество и сила природных катаклизмов возрастают. Продолжается деградация сельскохозяйственных земель, растет дефицит пресной воды. Каждый шестой житель Земли голодает. Растет пропасть между богатыми и бедными (людьми, городами, регионами, странами, континентами). Все более нестабильна экономика. Монетарная система, связанная с ссудным процентом, без которого немислима современная экономика, дает

**3** «Политики, к сожалению, не могут менять поведение, так как, если сфокусировать их внимание на долгосрочных последствиях сегодняшних действий, им сегодня придется принимать непопулярные решения. ... Если вы придете к мэру города и предложите решение проблемы локального уровня, той проблемы, от которой выгоду получает мэр и город, ваше решение будут рассматривать. ... Но если вы придете к своему президенту и скажете, что у вас есть решение климатической проблемы, но выгоду от действий России получают США, Китай и страны Магриба, то ваше решение даже не будет рассматриваться. И так в каждой стране. Именно поэтому решения глобальных проблем так сложны. Действия предпринимаются только на локальном уровне, и все ждут выгоды на локальном уровне – и поэтому вы не увидите «глобальных» действий» (из интервью Д. Медоуза в мае 2012 г. российскому журналу «Эксперт», [http://www.gazeta.ru/science/2012/05/02\\_a\\_4569465.shtml](http://www.gazeta.ru/science/2012/05/02_a_4569465.shtml)).

**4** Явно чувствуется пессимизм в словах Д. Медоуза, который в апреле 2012 года, приехав в Москву, отметил, что нет необходимости писать четвертую книгу и предложить «забыть о том, что можно спасти весь мир», сказав, что «в течение ближайших 20 лет мир ждет больше драматических перемен, чем за всё прошедшее столетие» (<http://expert.ru/expert/2012/16/>). Заключение базируется на том факте, что за 40 лет реально сделано крайне мало, а времени на принятие нужных мер уже практически нет (вспомним французскую детскую загадку про пруд и растущие на нем кувшинки, демонстрирующую коварность экспоненциального роста).

**5** «В расчете на одного жителя планеты из недр ежегодно извлекается и перемещается более 50 тонн вещества, причем лишь две тонны из них превращаются в конечный продукт, но и конечный продукт рано или поздно становится отходами» (Д. Медоуз, ([http://www.gazeta.ru/science/2012/05/02\\_a\\_4569465.shtml](http://www.gazeta.ru/science/2012/05/02_a_4569465.shtml))).

сбои. Обеспечение непрерывного роста – условия существования современной экономики – достигается с все большим трудом. Что впереди? По мнению Д. Медоуза – ничего хорошего: «Образ жизни изменится настолько, что в сравнении с сегодняшним образом жизни это будет выглядеть как катастрофа»<sup>6</sup>. Что делать?

Во-первых, понять, что без управления никакого устойчивого развития быть не может. Дело в том, что развитие само по себе есть сложный и во многом неустойчивый процесс со многими (в том числе и нежелательными) аттракторами, так что обеспечение его устойчивости в современных условиях без управления принципиально невозможно. Потому в сложившихся условиях нельзя уповать только на самоорганизацию общества, поскольку времени для задействования ее механизмов и ожидания ее результатов у нас, к сожалению, нет (как и 100% уверенности в том, что желаемая самоорганизация состоится)<sup>7</sup>. Причем, это управление должно касаться не локальных, а глобальных процессов, так что речь должна идти о системе управления устойчивым развитием [5]. В условиях системного кризиса требуется принятие целого комплекса взаимосвязанных мер в интересах всего человечества и для этого требуется соответствующий глобальный (в масштабе Земли) орган управления, способный формировать и обеспечивать реализацию желаемой траектории движения биотехносоциосферы, – некий Международный комитет по управлению устойчивым развитием –

**6** [http://www.gazeta.ru/science/2012/05/02\\_a\\_4569465.shtml](http://www.gazeta.ru/science/2012/05/02_a_4569465.shtml).

**7** Вообще-то идея самоорганизации как процесса формирования нового качественного состояния системы без специфических воздействий извне хоть и привлекательна, но уязвима в научном плане. В случае живых организмов источник их роста и развития действительно находится внутри и заложен в генетической программе. Здесь можно говорить о некоей самоорганизации (правда, непонятно как эта программа была в них сформирована (заложена?), давая начало этой «самости»). В случае же неживых систем вопрос об их «самости» открыт, ибо наше незнание истинных причин качественного перехода системы в новое состояние и утверждение о «неспецифичности» вызывающего его воздействия не является основанием для восклицаний о «чуде самоорганизации». Да, мы можем утверждать, что переход системы в новое состояние осуществляется при достижении ее одним или несколькими параметрами порядка пороговых значений. Но не более. Иначе придется предположить, что некий «генетический механизм» есть и у неживой природы. Идея неплохая, но вряд ли она может быть принята научным сообществом в массовом масштабе. Самоорганизация в обществе? Вопрос так же открыт.

МКУУР (Interstate Committee on Management of a Sustainable Development – ICMSD)<sup>8</sup>.

Легко ли сформировать этот Комитет и, главное, обеспечить его эффективную работу в условиях продолжающихся противостояний государств, корпораций, идеологий, мировоззрений и др.<sup>9</sup> Очевидно, что нет. Нерешенных вопросов и взаимных претензий стран друг к другу очень много, а ответов и решений пока нет. Как примирить богатые и бедные страны и народы? Что может заставить бурно развивающийся Китай, Индию, Бразилию и других новых экономических игроков мирового уровня снизить уровень вредных выбросов?<sup>9</sup> Что может заставить ведущие мировые державы не вывозить из своих стран «электронный мусор» в Африку, Латинскую Америку и другие регионы и создавать там целые «электронные мусорные гетто», средняя продолжительность жизни аборигенов в которых сегодня составляет 30 лет? Готовы ли богатые страны ограничить свое потребление? Готовы ли все страны (и богатые, и бедные) взять на себя существенные добровольные ограничения, если в явном виде для них не будет от этого какой-либо выгоды? К сожалению, простых и всех устраивающих ответов на эти и другие вопросы<sup>10</sup> нет. Но и другого пути, кро-

ме добровольного создания такого специального глобального органа управления и наделения его необходимыми полномочиями с возможностью их расширения, тоже сегодня нет<sup>11</sup>. Конечно, постепенная самоорганизация представляется более естественной и во многих случаях предпочтительнее жесткой иерархии. Но поскольку «болезнь» зашла слишком далеко и времени на «терапию» уже почти нет, нужны также более решительные (вплоть до «хирургических») действия. Будущее покажет<sup>12</sup>.

При этом основную цель управления устойчивым развитием следует искать не в области удовлетворения потребностей сегодняшнего и будущих поколений – это принципиально (!) невозможно, – а в области обеспечения максимально долгого существования человечества на Земле без потери «человеческого в человеке» [5]. Условие для достижения этой цели – обеспечение оптимального соотношения между двумя оборотными сторонами процесса устойчивого развития – между устойчивостью, направленной на сохранение того, что есть, и развитием, означающим качественное изменение существующего. Искусство управления УР – искусство оптимального сочетания сохранения и изменения.

Что может «примирить» столь разные идеи –

**8** Просьба не путать с мифическими (или реальными?) «Комитетом 300», Мировым Правительством и другими структурами различных «теорий заговора». Использование слова «комитет» подчеркивает выборность и коллегиальность этого органа.

**9** Вероятным их ответом на такой призыв наиболее развитых стран может быть следующее: «Достигнем вашего жизненного уровня, тогда и ограничим». Но понятно, что этого уровня они никогда не достигнут. В книге «Коллапс: почему одни общества выживают, а другие умирают» (2005 г.) Джаред Даймонд указывает, что уровень потребления на душу населения в Китае все еще в 11 раз меньше американского. Если Китай достигнет уровня потребления США и при этом ни одна другая страна не увеличит потребления, а население Земли (включая китайское) останется неизменным, то мировой уровень потребления удвоится (потребление нефти увеличится на 106%, металлов – на 94%). Если примеру Китая последует Индия, то уровень потребления в мире утроится, а если и другие развивающиеся страны не захотят отставать, то мировой уровень потребления увеличится в 11 раз, как если бы население Земли выросло до 77 млрд человек ([http://www.odnako.org/almanac/material/show\\_15017/](http://www.odnako.org/almanac/material/show_15017/)).

**10** Крайне важный и наиболее этически сложный вопрос – что делать с существующей проблемой роста населения Земли. Д. Медоуз, основываясь на том, что Земля конечна, говорит о необходимости контроля рождаемости: «Есть только два способа уменьшать рост популяции – или вы снижаете рождаемость, или вы повышаете смертность. ... Я считаю, что лучше выбрать контроль рождаемости». И добавляет, что «путь

контроля не требует никакого давления на людей: если у женщин есть возможность выбора, то они хотят иметь меньше детей» ([http://www.odnako.org/almanac/material/show\\_18772/](http://www.odnako.org/almanac/material/show_18772/)).

**11** Этот Комитет может быть создан в рамках ООН, например, путем трансформации в него существующей Комиссии по устойчивому развитию. Главное, чтобы это был коллегиальный орган (отдельный вопрос – о количестве членов этого Комитета – истинных Лидеров своих стран и народов, видящих гораздо дальше и глубже уже почти сформировавшегося «потребительского большинства»), учитывающий интересы всех проживающих на Земле людей. Одна из возможных его функций – контроль деятельности правительств.

На роль такого глобального органа в последние годы все больше претендуют США, но вряд ли это можно приветствовать, ибо страна, живущая, по сути, за счет остального мира, причем так, как никогда весь остальной мир жить не сможет, способна (и, судя по всему, пытается) сформировать «новый мировой порядок» (в лучшем случае феодального типа) под свои интересы.

**12** Избыточная централизация власти оборотной стороной имеет большую вероятность формирования мировой деспотии (Д. Андреев «Роза Мира»), но на этот риск, может быть, и стоит пойти, ибо даже если она (деспотия) наступит, негативные последствия от нее проявятся гораздо позже той возможной катастрофы, которая произойдет, если все оставить, так как есть, надеясь на «самоорганизацию», «зеленые» технологии, ядерную энергию, нанотехнологии, геновую инженерии и др. без реального принятия действенных мер.

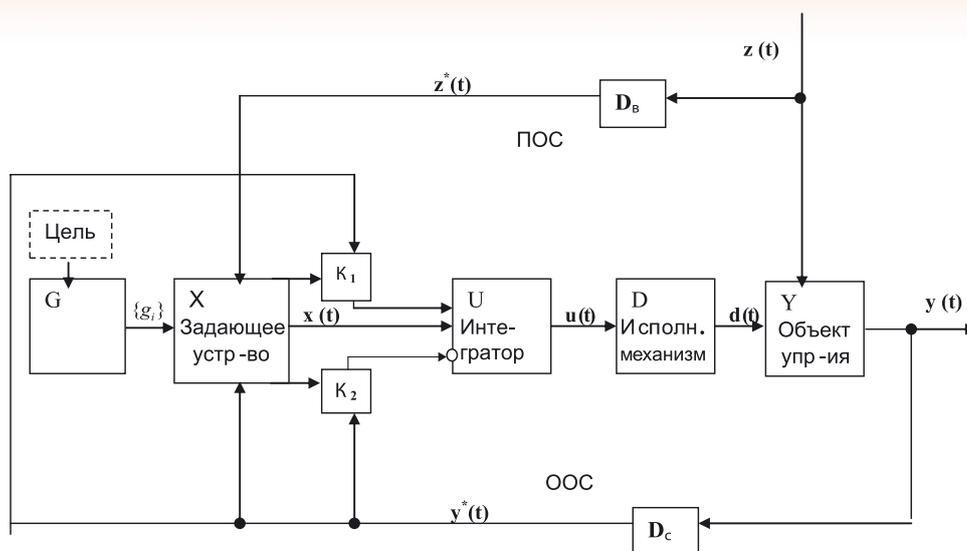


Рис. 1. Структура комбинированной системы управления устойчивым развитием

идею «сохранения» и идею «изменения»? Что объединяет устойчивость и развитие, которые характеризуют противоположные (на первый взгляд) тенденции? Ответ – целостность. Рост целостности свидетельствует и о повышении устойчивости (чем целостнее система, тем она более устойчива<sup>13</sup>), и о развитии (развитие есть процесс восхождения от простого к сложному, характеризующийся повышением целостности). Следовательно, есть только один путь реализации устойчивого развития – путь последовательного и своевременного повышения целостности биотехносоциосферы<sup>14</sup> на основе сближения государств и народов при сохранении их самобытности<sup>15</sup>.

Исходя из этого, словосочетание «устойчивое развитие» следует рассматривать не как неточный, как обычно говорят, перевод английского «sustainable development» – «поддерживающее развитие», которое было предложено Международной комиссией по окружающей среде и развитию и означает, по мнению этой комиссии, «развитие, которое может поддерживаться неопределенно долго», а как словосочетание, отражающее более точно сущность того, к чему нам надо стремиться: не к «поддерживающему раз-

витию<sup>16</sup>», а именно к «устойчивому развитию», минимизирующему риски и исключаящему как застревание человечества на локальных вершинах эволюции, так и, и это главное, наступление катастроф. Сущность управления УР состоит в управлении целостностью сложившейся на Земле глобальной биотехносоциосферы при общей тенденции к ее повышению.

В качестве технической иллюстрации сочетания идей сохранения и изменения на *рисунке 1* приведена структура системы управления УР, соответствующая традиционной для теории автоматического управления комбинированной системе. Эта система реализует управление как по отклонению, так и по возмущению, причем особенностью этой системы является то, что обратная связь представлена в ней как контуром отрицательной обратной связи – ООС (обеспечивает сохранение текущего состояния), так и контуром положительной обратной связи – ПОС (обеспечивает изменение, ускоренное движение к новому состоянию). Такой подход позволяет обеспечить инвариантность, гибко корректировать локальные цели управления с уче-

**16** Несмотря на понятность контекстно заложенной в этом словосочетании идеи сохранения, поддержания существования человечества, из семантики этого словосочетания, во-первых, не вытекает идея развития, «продолжающегося неопределенно долго», а, во-вторых, «поддерживающее развитие» несет оттенок сохранения того, что есть (чего: статус-кво мировой социально-экономической системы, сложившихся истоков и стоков, уровней потребления, ... ?), оттенок вынужденности, безысходности, в то время как «устойчивое развитие» несет оттенок уверенности, оптимизма и более подходит для обоснования продолжающегося неопределенно долго развития.

**13** Устойчивость можно определить как способность системы противостоять внешним воздействиям, сохраняя свою целостность.

**14** Принципы допустимой скорости развития и своевременного усложнения [5].

**15** Комплементарность как взаимодополнительность – универсальный принцип формирования целого (целостного) из частей [11].

том складывающейся ситуации и нового понимания путей дальнейшего движения.

На рисунке 1 операторы: G, X, U, D, Y осуществляют следующие преобразования:

G: Цель  $\rightarrow \{g_i\}$ ;

X:  $\{g_i, y^*(t), z^*(t)\} \rightarrow x(t), \{K_1\}, \{K_2\}$ ;

U:  $x(t), \{K_1\}, \{K_2\} \rightarrow u(t)$ ;

D:  $u(t) \rightarrow d(t)$ ;

Y:  $d(t) \rightarrow y(t)$ ,

где  $\{g_i\}$  – множество показателей достижения цели;

$x(t)$  – сигнал задающего воздействия, определяющий полученную на основе исходных данных траекторию движения к цели (желаемому состоянию);

$u(t)$  – управляющее воздействие, сформированное с учетом реального состояния дел (текущего состояния и возмущений);

$d(t)$  – управляющее воздействие, обеспечивающее движение по траектории к цели;

$y(t)$  – реальная траектория движения объекта управления;

$z(t)$  – возмущающее воздействие;

$y^*(t)$  и  $z^*(t)$  – их оценки, соответственно, формируемые с помощью датчиков состояния  $D_c$  и возмущения  $D_v$ .

Коэффициенты  $K_1$  и  $K_2$  могут представлять собой как числа (весовые коэффициенты), так и функции (активации). Особенностью таких систем управления является возможность одновременного применения для реализации желаемого закона управления двух информационных потоков – и по отрицательной, и по положительной обратной связи<sup>17</sup>.

Очевидно, что при этом в случае, когда коэффициенты  $K_1$  и  $K_2$  равны друг другу и каналы задействуются одновременно, получаем ситуацию, когда оба канала работают, информа-

**17** Эффективность подхода, использующего суммирование «положительного» и «отрицательного» для быстрого получения желаемого результата можно проиллюстрировать на примере того, как мы получаем воду требуемой температуры, смешивая поступающую по разным трубам максимально холодную и максимально горячую воду в бытовых кранах. Другой пример – живые организмы, в которых для совершения сложных движений их органов используются мышцы двух типов: сгибатели и разгибатели. Интересно, что и минимальность времени перевода объекта из одного в другое состояние обеспечивается при последовательном использовании также «положительного» и «отрицательного» («положительно» разгона и «отрицательного» торможения) и др. В целом следует сказать, что идея сочетания «полярностей», «плюса» и «минуса», «инь» и «янь» очень плодотворна. По сути, полярности представляют собой базис, определяющий двумерное пространство, все элементы которого выражаются в виде взвешенной суммы только этих двух полярных базисных элементов.

ционные потоки есть, корректирующие добавки к закону управления формируются и в нем учитываются, но никакого влияния они не оказывают, ибо компенсируют друг друга. Применительно к социально-экономическим системам это означает «холостую» работу органов управления и бессмысленную трату ресурсов, когда действия одних структур, направленные на стабилизацию ситуации, нейтрализуются действиями других структур, призванными в силу своего предназначения эту ситуацию изменить. Причина такой «холостой» работы – несогласованность, автономность работы каждого канала при отсутствии управления из единого центра, призванного регулировать воздействия на социум как органов-«консерваторов», так и органов-«реформаторов». Такая «холостая работа» в настоящее время наблюдается и по многим направлениям УР: действия одних стран не согласованы с действиями других стран, поскольку единого органа управления, обладающего нужными знаниями и полномочиями и способного реализовать желаемую траекторию движения мира, пока нет.

Решая задачу управления УР, следуя Д. Медоузу, необходимо отказаться от отождествления идей «развития» и «роста». Развитие это не всегда рост (как увеличение объема). Уровень развития не обязательно должен определяться объемами (добычи, производства, потребления). Выход на устойчивое развитие может потребовать на небольшой или длительный период снижение темпов роста и, возможно, полного его прекращения. Однако идея роста лежит в основе современной экономики. Как разрешить это противоречие между ростом и развитием (с одной стороны, рост полезен, ибо на нем держится современная экономика, с другой стороны, рост вреден, ибо он недопустимо истощает и загрязняет природу). Очевидно, что только путем перехода на новую парадигму развития – парадигму устойчивого развития, ориентированную на новые технологии, но главное – на нового человека, парадигму, учитывающую и оптимизирующую все стоки и истоки<sup>18</sup>. Наиболее важной составляющей этой новой парадигмы является идея «образования для устойчивого развития», имеющей целью формирование в массовом

**18** «Плохая новость состоит в том, что многие важнейшие источники истощаются и деградируют, а большинство стоков уже переполнено. Потоки, используемые экономической системой в настоящее время, невозможно поддерживать в таких масштабах продолжительное время. Хорошая новость заключается в том, что существующие темпы использования ресурсов во все не являются необходимыми для поддержания достойного уровня жизни всех людей на планете» [3].

масштабе непрерывно и потому устойчиво развивающихся личностей, базисными инвариантными качествами которых являются «профессионализм», «патриотизм», «нравственность» [5, 7]. Нужно массовое изменение сознания людей<sup>19</sup>.

Задача глобального управления – обеспечение нахождения значений основных параметров порядка<sup>20</sup> в пределах требуемых диапазонов, что позволит реализовать желаемую траекторию движения. Для этого необходимо вести системный мониторинг биотехносоциосферы, расчет основных параметров порядка и прогноз их изменения в ближайшем и отдаленном будущем, расчет и уточнение их допустимых (для обеспечения устойчивости) и пороговых (для перехода в новое состояние) значений и др. Особого внимания требует управление вблизи пороговых значений параметров порядка (вблизи точек бифуркации), к одним из которых следует стремиться, а других следует избегать<sup>21</sup>.

Так как количество любого движения пропорционально величине соответствующего градиента как движущей силы, то сущность управления можно определить как формирование желаемых градиентов. Тогда предметом теории управления устойчивым развитием должна стать технология формирования и обеспечения нахождения в желаемых пределах основ-

ных, определяющих развитие человека и общества, градиентов.

Поскольку применительно к управлению социумом эти градиенты сначала формируются в сознании людей, мотивируя их на те или иные действия, а уже затем реализуются на практике, то особую роль приобретает образование как единство воспитания и обучения. К сожалению, в настоящее время всеми средствами в обществе усиленно формируется «потребительский градиент» (между тем, что имею «я» и имеют более успешные «другие») – градиент стремления к все большему обладанию материальным, когда успех отождествляется не с пользой, которую человек принес обществу, а с количеством денег, материальных благ, которые он имеет. Как результат – колоссальное материальное расслоение людей и стран, отчужденность, духовная деградация, психические расстройства.

Между тем давно известно, что способность человека и человечества к саморегуляции во многом определяются их взглядами и ценностями, правильное формирование которых – стратегическая задача управления УР. Общество без идеологии существовать не может. Современная идеология потребления и индивидуализма должна быть заменена на идеологию устойчивого развития, реализация которого требует коллективных действий всего человечества. Большое значение имеет распространение научного знания о динамике эволюционных процессов, знаний о реальном состоянии дел с природой и обществом, о существовании «пределов роста».

Развитие характеризуется появлением у развивающегося объекта (процесса) нового качества. Каждый объект многогранен. Количество граней и соответственно направлений развития определяется количеством «степеней свободы» объекта, причем появление новой степени свободы повышает возможности развития. Для обеспечения УР по каждой «степени свободы» необходимо существование желательных (разрешенных, допустимых) и нежелательных (запрещенных) направлений развития и возможных состояний (на уровне инстинктов, рефлексов, автоматизмов, личных и общественных запретов, законов), которые задаются тем или иным вектором развития (идеологией) общества и перечнем запрещенных тенденций и состояний («табу»). Главное, чтобы этот вектор соответствовал истинной природе устойчиво развивающегося человека как существа не только биопсихосоциального, но и духовного [10], а «табу» присутствовали в минимально достаточном (для обеспечения и устойчивости, и развития одновре-

**19** «Речь здесь должна идти именно обо всем человечестве как едином целом, которое должно стать более зрелым и более ответственно готовиться к новой грядущей эпохе...» (А. Печчеи [4]). «...Это неправильная идея, что какие-то технологии, или прогресс, или какие-то новые устройства смогут решить наши проблемы. Наши проблемы происходят не от технологий, а от нашей культуры. Оттого, что мы эгоисты, мы не хотим заботиться о тех, кто рядом. Оттого, что мы думаем только о сегодняшнем дне и не думаем о долгосрочной перспективе. Оттого, что для нас важнее всего стать богатыми, а социальные вопросы не важны. Никакие технологии это не изменят» (Д. Медоуз, [http://www.gazeta.ru/science/2012/05/02\\_a\\_4569465.shtml](http://www.gazeta.ru/science/2012/05/02_a_4569465.shtml)). «Основная идея состоит в том, что если мы продолжим распространять знания о проблеме, тогда все больше жителей планеты будут принимать правильные решения на основе любви и уважения ко всем обитателям Земли: людям, животным и растениям, тем, кто есть, и тем, кто будет. Мы всей душой надеемся, что это произойдет вовремя» [3].

**20** Численность населения, уровень жизни, запасы невозобновляемых ресурсов (вода, полезные ископаемые, плодородные почвы) и возобновляемых ресурсов (леса, морепродукты, ...), скорость их убывания и восстановления, количество отходов и др.

**21** Характерный признак нахождения в точке бифуркации – неустойчивость. Систему из этой точки можно «двинуть» в любом желаемом направлении, что и использовали истинные инициаторы «оранжевых революций».

менно) количестве<sup>22</sup>. Именно путем своевременного введения, уточнения и изменения вектора развития и совокупности минимально достаточных «табу» можно обеспечить устойчивость, а путем формирования новых градиентов – развитие<sup>23</sup>.

При этом формирование новых качеств в развивающемся объекте не должно привести к трансформации сущности этого объекта, что возможно при сохранении при всех происходящих с ним изменениях и преобразованиях его сущностного инварианта. Содержание этого инварианта и в человеке, и в человечестве должно определяться целью существования человека и человечества. Роль этого инварианта обычно выполняет культурный генотип как совокупность жизненных ценностей и смыслов, передаваемых от поколения к поколению.

Качество любого управления характеризуется с помощью тех или иных показателей (индикаторов). Применительно к УР можно использовать как частные показатели (как правило, связанные с отдельными аспектами: экономикой, социальной сферой, экологией и др.), так и существующие на сегодня интегральные показатели (например, индекс человеческого развития, учитывающий долголетие, образованность, материальный достаток).

При создании системы управления УР в дополнение к вышеописанному может быть целесообразным принять во внимание также следующие идеи:

- идею ориентации на конечный результат: достижение заданного состояния и исклю-

чение катастроф на пути к нему. Исходя из избыточной сложности объекта управления, следует ориентироваться не столько на оптимальность, сколько на безаварийность. Для этого СУ УР должна включать в себя робастный контур, «автоматически» задействуемый в случае необходимости для исключения существенных нежелательных последствий сбоя или выхода из строя тех или иных элементов и подсистем [6, 8, 9]. Для достижения же желаемого конечного состояния с минимальным расходом ресурсов целесообразно использовать хорошо зарекомендовавшую себя в навигации идею терминального наведения, основанную на формировании посредством управления таких параметров движения (с учетом внешних возмущений), что к желаемой точке объект после придания направляющего импульса далее может двигаться по инерции. Очевидно, что в терминальном наведении работает идея прогнозирования от конечной точки, от того состояния, которого мы хотим достичь. Исходя из этого конечного состояния и того состояния, где мы находимся, и формируются управляющие воздействия;

- идею динамического восприятия, следствием которой является идея приоритета крутизны сигнала<sup>24</sup>, для минимизации необходимых действий при управлении и обеспечения оперативного реагирования на возможные опасности;

- идею сочетания сетевой и иерархической структур, самоорганизации и централизации.

\*\*\*

Каково место и роль России во всех этих вопросах? Огромная территория, запасы полезных ископаемых, леса, сельхозугодия, морские просторы – все это свидетельствует о выгодном в долгосрочной перспективе положении страны. Этим надо разумно воспользоваться. Необходимо повышать эффективность использования имеющихся ресурсов, постепенно превращаясь из «энергетической сверхдержавы» в мирового лидера высокотехнологичной продукции, качественной сельхозпродукции, повышать эффективность своего участия в решении глобальных мировых проблем, активно выступать с инициативами, повышать свой имидж и статус в «мировой табели о рангах»<sup>25</sup>. Наверное, только Россия с ее менталитетом, традиционными идеями

**22** Многие из этих запретов человечеству давно известны, см. Заповеди Ветхого Завета («не убий», «не укради» и др.). Как подтверждение важности наличия и понимания запретов в качестве иллюстрации стоит обратиться к истории науки, сущность которой как раз можно связать с открытием ограничений, которые Природа создала в мире, доступном познанию людей: чем больше мы познаем мир, тем больше открываем действующих в нем ограничений. Эту известную и привлекательную идею можно подтвердить развитием механики: если в классической механике Ньютона нет ограничений на скорость движения материальных тел, то у Эйнштейна в специальной теории относительности эта скорость ограничена скоростью света.

**23** В Нагорной проповеди «табу» Ветхого Завета были развиты до Заповедей блаженства, направленных на формирование нового человека, человека Завета Нового, для которого идея «око за око, глаз за глаз» Завета Ветхого неприемлема. Понимание мудрости идеи «второй щеки» еще впереди, но уже сегодня во многих странах высшая мера наказания не связана со смертью преступника, хотя в Ветхом Завете говорится: «Кто убьет какого-либо человека, тот предан будет смерти» (Книга Левит 24, 17).

**24** На этих принципах, как следствие принципа минимальности, работает все живое.

**25** Не забывая о сохранении возможности защитить, при необходимости, свою территорию и ресурсы от всех тех, кто захотел бы на практике заставить Россию «поделиться» своими природными ресурсами, поскольку их у нас «слишком много».

общинности и нестяжательства, стремлением к духовности с учетом ресурсной (в том числе интеллектуальной) обеспеченности может стать истинным мировым лидером в вопросах реализации устойчивого мирового развития.

Завершить статью мы хотим словами А. Печчеи, которые хотя и были написаны им 35 лет назад (в 1977 году), но не утратили, а наоборот повысили свою значимость сегодня, в 2013 году: «Истинная проблема человеческого вида на данной стадии его эволюции состоит в том, что он оказался неспособным в культурном отношении идти в ногу и полностью приспособиться к тем изменениям, которые он сам внес в этот мир. Поскольку проблема, возникшая на этой критической стадии его развития, находится внутри, а не вне человеческого существа, взятого как на индивидуальном, так и на коллективном уровне, то и ее решение должно исходить прежде всего и главным образом изнутри его самого. Проблема в итоге сводится к *человеческим качествам* и путям их усовершенствования. Ибо лишь через развитие человеческих качеств и человеческих способностей можно добиться изменения всей ориентированной на материальные ценности цивилизации и использовать ее огромный потенциал для благих целей. И если мы хотим сейчас обуздать техническую революцию и направить человечество к достойному его будущему, то нам необходимо, прежде всего, подумать об изменении самого человека, о революции в самом человеке. Задачи эти при всей своей кажущейся на первый взгляд несовместимости вполне реальны и разрешимы сегодня при условии, что мы наконец осознаем, что именно поставлено на карту, если поймем, что называться современными, соответствующими своему времени

мужчинами и женщинами – значит постигнуть искусство становиться лучше» [4].

### Литература

1. Медоуз Д., Медоуз Д., Рэндерс Й., Беренс В. Пределы роста. М.: Изд-во МГУ, 1991. 208 с.
2. Медоуз Д., Медоуз Д., Рэндерс Й. За пределами роста. М.: Изд. группа «Прогресс», «Пангея», 1994. 304 с.
3. Медоуз Д., Медоуз Д., Рэндерс Й. Пределы роста. 30 лет спустя. М.: Академкнига, 2008. 344 с.
4. Печчеи А. Человеческие качества. М., 1985.
5. Бугаков И.А., Царьков А.Н. Устойчивое развитие и управление целостностью: принципы обеспечения и механизмы реализации. // Известия Института инженерной физики, 2012. №4(26). С. 79-88.
6. Бугаков И.А. Системный подход как методология научного познания. // Известия Института инженерной физики, 2008. №3(9). С. 80-85.
7. Царьков А.Н., Бугаков И.А. Современная интегрированная система непрерывного образования как основа эффективного воспроизводства кадров для устойчивого инновационного развития / Известия Института инженерной физики, 2012. №2(24), С. 66-73.
8. Бугаков И.А. Концепция проектирования сложных технических систем и их средств измерений, функционирующих в экстремальных условиях. // Информационные технологии в проектировании и производстве, 2001. №1. С. 23-28.
9. Бугаков И.А. Система принципов построения сложных технических систем и их элементов, подвергающихся экстремальным воздействиям в процессе функционирования, на основе антропологического подхода // Датчики и системы, 2000. №10. С. 67-71.
10. Бугаков И.А., Царьков А.Н. Совершенствование региональных систем непрерывного образования как условие инновационного и духовно-нравственного развития России // III Оптинский форум «Наследие России и духовный выбор российской интеллигенции». Москва – Калуга – Оптина пустынь, 16-18 мая 2008 г.: Сборник материалов. М.; Калуга, 2008. С. 282-290.
11. Умников В.Н. Социал-комплементаризм в системе мира. М.: Раритет, 2006. 368 с.

## ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОЕКТЫ

УДК 665.632+620.93

### РАЗРАБОТКА МЕТАНО-КИСЛОРОДНОЙ ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИИ И ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ, ГОМОЛОГОВ МЕТАНА, ЭТИЛЕНА И ПРОПИЛЕНА ИЗ НЕРАЗДЕЛЕННОГО СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО И ПОПУТНОГО НЕФТЯНОГО ГАЗОВ\*

#### Виктор Васильевич Редькин

кандидат технических наук,  
старший научный сотрудник  
ведущий научный сотрудник МОУ «ИИФ»  
Адрес: 142210, Московская область,  
г. Серпухов, Большой Ударный пер. д. 1а  
Тел.: +7(926)860-73-37 E-mail: oniokr@mail.ru

#### Олег Владимирович Кемаев

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 (доб. 363)  
E-mail: kemaev80@mail.ru

#### Алексей Александрович Коробков

кандидат технических наук, доцент  
начальник отдела планирования  
и сопровождения НИОКР МОУ «ИИФ»  
Адрес: 142210, Московская область,  
г. Серпухов, Большой Ударный пер. д. 1а  
Тел.: +7(4967)35-31-93 (доб. 148)  
E-mail: korobkow@mail.ru

#### Максим Васильевич Кулик

научный сотрудник МОУ «ИИФ»  
Адрес: 142210, Московская область,  
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а  
Тел.: +7(4967)35-31-93 (доб. 220)  
E-mail: mklik@mail.ru

Статья посвящена разработке метано-кислородной энерготехнологии и энерготехнологической системы производства электроэнергии и ряда высокотехнологичных продуктов переработки сжиженного природного и попутного нефтяного газов. Показано, что наиболее эффективным является энерготехнологическое комбинирование крупнотоннажных установок и подсистем, потребляющих энергию и искусственный холод с энергетическими установками и подсистемами регазификации сжиженных газов.

The article is devoted to the development of methane-oxygen energy technologies and energy technological generation system and a number of high-tech products of processing of liquefied gas and associated petroleum gas. It is shown that the most effective energy-technological combining large-scale installations and subsystems that consume energy and artificial cold with power installations and subsystems regasification of liquefied gases.

**Ключевые слова:** воздухоразделительная установка, газопереработка, гомологи метана, криогенные жидкости, криогенный цикл, попутный нефтяной газ, пропилен, синтез-газ, сжиженный природный газ, углекислота, энерготехнологическая система, энерготехнология, этилен.

**Keywords:** the air separation unit, gas processing, homologues methane, cryogenic liquid, cryogenic cycle, associated petroleum gas, propylene, synthetic gas, liquefied natural gas, carbon dioxide, energy technological generation system, energytechnology, ethylene

\* Исследования проводятся в рамках выполнения стипендиальных исследований Президента Российской Федерации для молодых ученых и аспирантов, осуществляющих перспективные научные исследования и разработки по приоритетным направлениям модернизации российской экономики на

2013-2015 гг., № СП-1952.2013.1 «Исследование влияния содержания гомологов метана в природном газе на режимные параметры и термодинамические характеристики его низкотемпературного транспорта в состоянии недогретой жидкости»

## Введение

Проблема рационального использования неразделённого сжиженного природного газа (СПГ) и попутного нефтяного газа (ПНГ) является одной из наиболее актуальных, сложных и дорогостоящих в ряду проблем рационального использования природных ресурсов страны. Достаточно сказать, что сроки окупаемости крупнотоннажных установок утилизации ПНГ достигают 12 лет, что неприемлемо для нефтехимического бизнеса.

В решении проблемы рационального использования СПГ и ПНГ в энергетике, газопереработке и нефтехимии одним из важнейших направлений является разработка низкотемпературных энерготехнологических систем, в которых оптимальным образом используются не только теплота химических реакций и физико-химических процессов, но и холод регазификации сжиженных газов. Кроме того в низкотемпературных ЭТС целесообразно использовать:

- избыточное магистральное давление газовых сред, транспортируемых по трубопроводам (природного газа и ПНГ);
- избыточное давление газифицированных криогенных жидкостей (СПГ и  $\text{CO}_2$ ).

Наиболее эффективно энерготехнологическое комбинирование крупнотоннажных установок и производств, в которых агрегаты, потребляющие энергию и искусственный холод, сочетаются с энергетическими установками и детандерными установками регазификации сжиженных газов (СПГ, жидкого азота, жидкого  $\text{CO}_2$  и др.).

Названные подсистемы позволяют получать электроэнергию и холод по минимальной себестоимости, при этом будут снижены энергетические затраты в различных процессах низкотемпературного газоразделения, получения и ожижения высококачественных продуктов газопереработки особой чистоты, в том числе дефицитных этилена и пропилена.

Важной особенностью предлагаемой низкотемпературной метано-кислородной энерготехнологической системы (ЭТС) является то, что в ее силовом блоке получается смесь  $\text{CO}_2$  и деминерализованной воды. После разделения смеси,  $\text{CO}_2$  (в околокритическом состоянии) может быть использована вместо ПНГ для существенного (не менее 5%) повышения нефтеотдачи в нефтедобывающем комплексе. Таким образом, в результате построения газоперерабатывающих СПГ- и ПНГ- комплексов по низкотемпературным энерготехнологическим схемам [2-6] будут значительно улучшены их технико-экономические показатели. В частности, будут существен-

но сокращены вышеуказанные сроки окупаемости установок утилизации ПНГ.

В связи с ростом объемов производства СПГ и ПНГ целесообразно рассматривать последние не только в качестве топлива, но и как ценные углеводородные полупродукты для получения высокотехнологичных продуктов нефте- и газопереработки. Спектр высокотехнологичных продуктов переработки неразделённого СПГ и компримированного ПНГ может быть существенно расширен в рамках низкотемпературной метано-кислородной ЭТС [5, 6] за счет использования в ее технологических процессах:

- «побочных» продуктов разделения воздуха при получении кислорода – прежде всего азота;
- получаемых в кислородно-метановом силовом блоке  $\text{CO}_2$  и деминерализованной воды.

Как показывает термоэкономический анализ эффективности аналогов предлагаемой ЭТС, в частности, энергоёмких систем комплексного разделения воздуха [1-4], расширение спектра высокотехнологичных продуктов обеспечивает достижение высоких экономических показателей названных систем.

Данная закономерность относится и к предлагаемой низкотемпературной ЭТС производства электроэнергии и основных высокотехнологичных продуктов переработки неразделённого СПГ и ПНГ: особо чистого этилена и пропилена, а также дополнительных продуктов из «связанного» азота и синтез-газа.

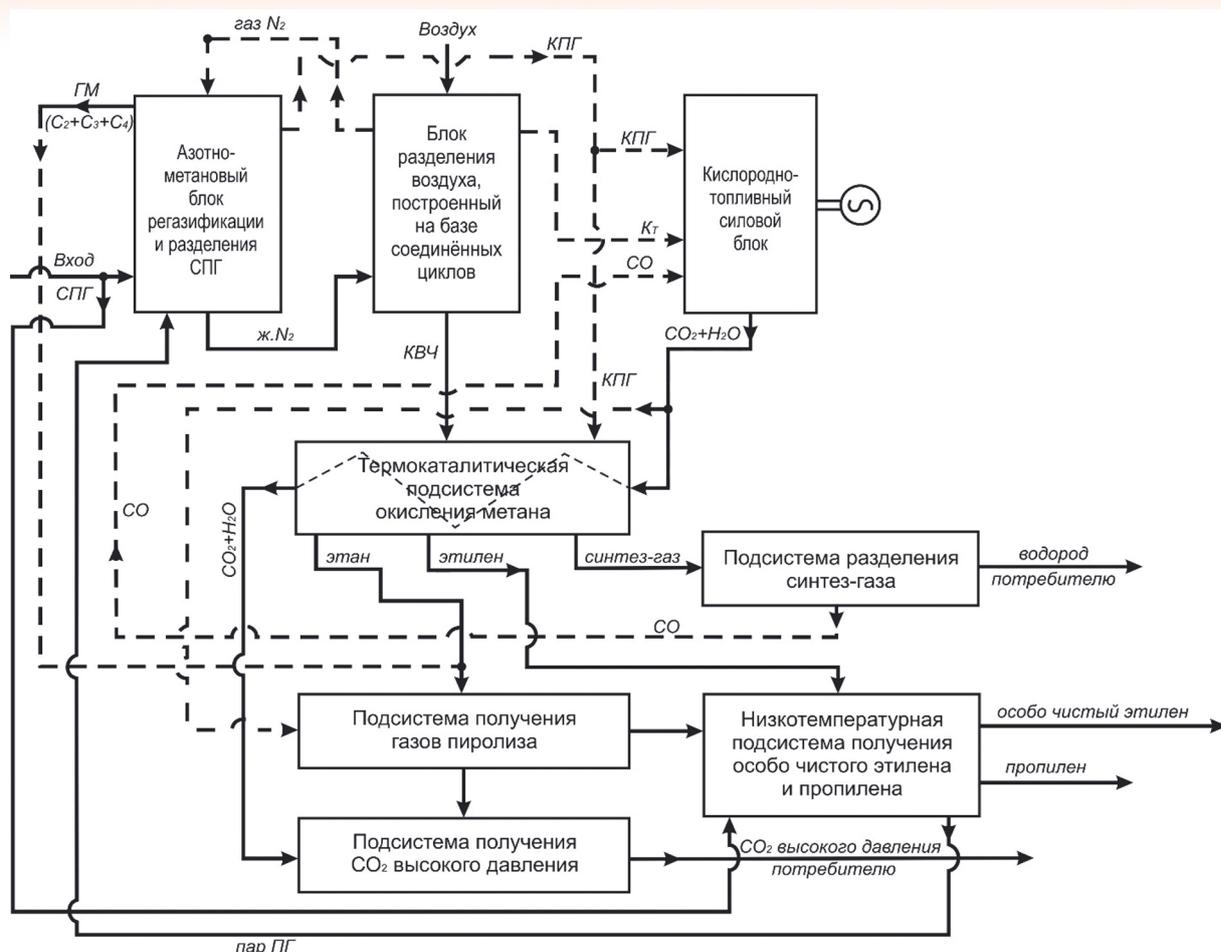
## Метано-кислородная энерготехнология и энерготехнологическая система

Предлагаемая метано-кислородная энерготехнология и энерготехнологическая система (ЭТС) предназначена для получения из неразделённого сжиженного природного газа (СПГ) и попутного нефтяного газа (ПНГ) электроэнергии, гомологов метана, пропилена и этилена.

Предлагаемая система строится по энерготехнологической схеме, в которой используются:

- 1) холод регазификации СПГ:
  - для получения кислорода заданной чистоты в криогенной воздухоразделительной установке;
  - для ожижения  $\text{CO}_2$  и гомологов метана;
  - для получения этилена особой чистоты и пропилена;
- 2) избыточное магистральное давление ПНГ для фракционированной конденсации гомологов метана;
- 3) часть очищенного метана (ОМ) (после извлечения гомологов из СПГ и ПНГ) в качестве топлива в кислородно-метановом силовом блоке;

## ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОЕКТЫ



### Обозначения потоков:

СПГ - неразделенный сжиженный природный газ;	газ $N_2$ - газообразный азот;
КПГ - компримированный природный газ (без гомологов);	ж. $N_2$ - жидкий азот;
КВЧ - кислород высокой чистоты;	ГМ - гомологи метан ( $C_2 + \dots + C_4$ );
Кт - технологический кислород	$CO_2+H_2O$ - рабочее тело силового блока;
(СО и $CO_2$ ) - окись и двуокись углерода;	пар ПГ - насыщенный пар $CH_4$ .

**Рис. 1.** Блок-схема метано-кислородной ЭТС производства электроэнергии и продуктов переработки неразделённого СПГ: синтез-газа, особо чистого этилена и пропилена

4) часть ОМ в подсистеме окислительной конверсии (неполного окисления метана) с получением синтез-газа;

5) часть ОМ в термокаталитической подсистеме окисления метана с получением этилена и этана;

6) часть гомологов метана, извлеченных из СПГ и ПНГ, в подсистеме получения газов пиролиза (пирогаза);

7) часть гомологов метана, извлеченных из СПГ и ПНГ, в подсистеме получения сжиженных пропан-бутановых смесей;

8) жидкий диоксид углерода в подсистеме получения осушенного  $CO_2$  высокого давления;

9) деминерализованная вода в системе водоподготовки.

Блок-схема метано-кислородной ЭТС производства электроэнергии и продуктов переработки неразделённого СПГ: синтез-газа, особо чистого этилена и пропилена представлена на рисунке 1.

### Достоинства предлагаемой энерготехнологии

1) Метано-кислородная энерготехнология производства электроэнергии и продуктов переработки неразделённого СПГ и ПНГ базируется на перспективных для крупнотоннажных энергоёмких производств термодинамических циклах и процессах:

- кислородно-топливом силовом цикле с термическим КПД до 65%;

# ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОЕКТЫ

Таблица 1

Энергетические характеристики кислородно-метанового силового цикла на компримированном природном газе (КПГ) и кислородно-метанового силового цикла на сжиженном природном газе (СПГ)

Показатели цикла (установки)	Силовой кислородно-метановый цикл на КПГ	Силовой кислородно-метановый цикл на СПГ
1. Выходная электрическая мощность, включая потери (механические и электрические)	490,70 МВт	490,70 МВт
2. Получение и сжатие O <sub>2</sub> до 4,0 МПа	74,70 МВт	≈37,35 МВт
3. Электрический КПД цикла, без учета энергозатрат на O <sub>2</sub>	64,68%	64,68%
4. Электрический КПД цикла с учетом энергозатрат на O <sub>2</sub> ( $\eta_{эл}$ )	54,83%	≈60%
5. Относительное повышение $\eta_{эл}$ за счет использования холода СПГ	-	+9,43%

- низкотемпературных процессах разделения СПГ, ПНГ и газов пиролиза;
- процессах пиролиза гомологов метана;
- перспективных процессах окисления метана.

2) Построение на базе метано-кислородной технологии блочно-модульных ЭТС позволит не только наращивать мощности системы, но и производить дополнительные продукты переработки СПГ и ПНГ, такие как: метанол (минуя стадию получения синтез-газа), аммиак (используя «побочный» азот) и другие продукты технологии связанного азота.

3) «Побочный» продукт метано-кислородной энерготехнологии – CO<sub>2</sub> высокого давления – может быть эффективно использован для закачки в нефтеносные пласты для повышения их нефтеотдачи.

## Достоинства предлагаемой ЭТС

1) Полная независимость ЭТС от внешнего источника электроэнергии, которая достигается за счет максимального использования эксергии технологических потоков внутри системы без подвода электроэнергии извне.

2) Высокий КПД кислородно-метанового силового блока системы, который достигается за счет уменьшения в 1,8-2 раза энергозатрат на производство кислорода с помощью холода регазификации СПГ.

3) Высокая термодинамическая эффективность блока (подсистемы) получения особо чистого этилена, которая достигается благодаря использованию в холодильном цикле подсистемы теплоты испарения СПГ.

4) Получение в кислородно-метановом силовом блоке деминерализованной воды, которая

Таблица 2

Сравнительные энергетические характеристики низкотемпературных подсистем (установок) получения из газов пиролиза особо чистого этилена с холодильными циклами на компримированном метане (базовый цикл) и на СПГ

Энергетические характеристики установки <sup>1</sup>	Базовый цикл на метане, сжатом в компрессоре (1)	Цикл на СПГ (2)
1. Количество исходного газа (газов пиролиза), нм <sup>3</sup> /ч	10 000,0	10 000,0
2. Затраты электроэнергии, кВт·ч	3 000 ... 4 000	≈(2 200,0 ... 3 000,0)
3. Охлаждающая вода, м <sup>3</sup> /ч	400 ... 600	≈(300,0 ... 450,0)
4. Греющий пар, кг/ч	1 500 ... 3 000	≈(1 000,0 ... 2 000,0)
5. Относительное $\eta_{эл}/\eta_{б1}$ повышение эксергетического КПД установки за счет использования холода СПГ	1,0	≈(1,3 ... 1,5) раза

1 Примечание: Колебания характеристик связаны с составом исходного газа (газов пиролиза).

## ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОЕКТЫ

может быть эффективно использована при производстве синтез-газа.

### Показатели основных подсистем (блоков) ЭТС

На данном этапе разработки метано-кислородной ЭТС представлены сравнительные характеристики двух основных подсистем предлагаемой ЭТС: кислородно-метанового силового блока (таблица 1) и низкотемпературной подсистемы получения особо чистого этилена из газов пиролиза (таблица 2).

### Объемы и перспективы рынка новой продукции

К перспективным потребителям предлагаемой ЭТС и ее кислородно-топливных модификаций на синтез-газе (в качестве топлива) относятся:

- энергоемкие газоперерабатывающие и нефтехимические производства с энергоблоками мощностью от 100 до 500 МВт;
- энергоемкие углехимические производства с энергоблоками мощностью от 400 до 1 000 МВт;

- энерготехнологические комплексы «Шахта-электростанция» с газификацией угля;

- нефтедобывающие комплексы с энергоблоками мощностью от 50 до 200 МВт, потребляющие  $\text{CO}_2$  для повышения нефтеотдачи пластов.

Перспективы рынка метано-кислородных ЭТС и ее модулей связаны:

- с ростом объемов производства СПГ и ПНГ;
- модернизацией энергетической и технологической инфраструктур газоперерабатывающей, нефтехимической и углехимической отраслей промышленности РФ.

### Экономический эффект

На данном этапе разработки и термоэкономического анализа метано-кислородной ЭТС сделаны оценки эффективности использования холода СПГ:

- для получения и использования сжатого кислорода в кислородно-метановом силовом блоке;
- для низкотемпературного разделения газов пиролиза с получением продукционного этилена и пропилена.

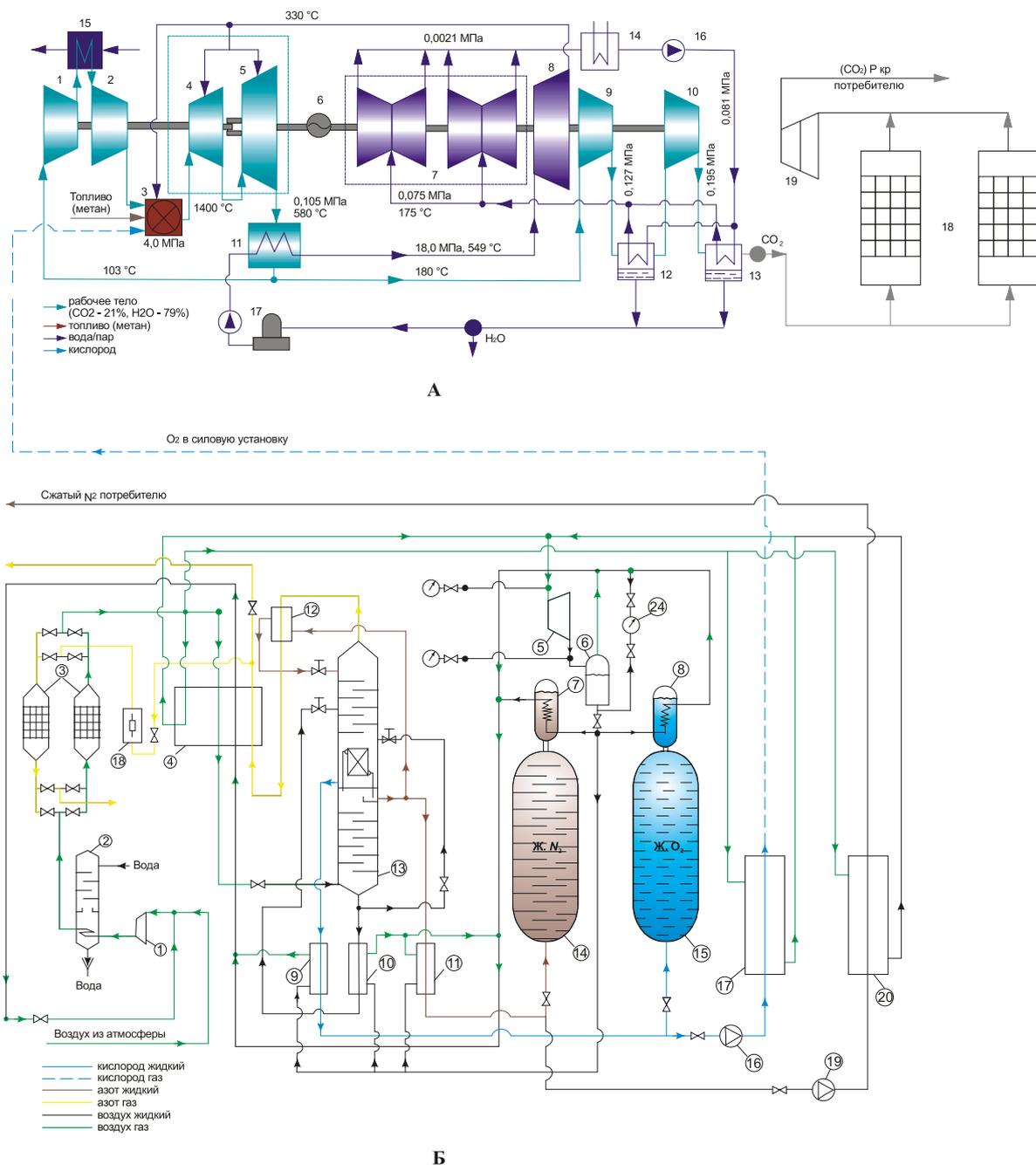
На основании данных таблицы 1 годовая эко-

Таблица 3

Баланс мощности цикла Граца	
Общая мощность турбины РТ, МВт	739,40
Мощность К1, МВт	131,10
Мощность К2, МВт	82,60
Мощность К3, МВт	8,90
Мощность К4, МВт	6,60
Мощность насоса, МВт	5,50
Полная мощность сжатия $P_c$ , МВт	234,70
Общая мощность на валу без механических потерь, МВт	504,70
<b>Тепловой КПД цикла, %</b>	<b>66,52</b>
Выходная электрическая мощность, МВт, включая механические, электрические и вспомогательные потери	490,70
<b>Общий электрический КПД цикла, %</b>	<b>64,68</b>
Генерирование и сжатие $\text{O}_2$ $P_{\text{O}_2}$ , МВт	74,70
<b>КПД с учетом подачи <math>\text{O}_2</math>, %</b>	<b>54,83</b>
Сжатие $\text{CO}_2$ до 10 МПа $P_{\text{O}_2}$ , МВт	13,00
<b>Общая выходная мощность, МВт</b>	<b>403,00</b>
<b>Общий КПД <math>\eta_{\text{net}}</math>, %</b>	<b>53,12</b>
Примечание: $K_1 \dots K_4$ – компрессоры на рисунке 2.	

# ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОЕКТЫ

**Принципиальная технологическая схема турбомашинной ВРУ низкого давления для получения сжатого кислорода, подаваемого в кислородно-метановый силовой блок низкотемпературной ЭТС (рисунки 2-3)**



**Рис. 2 (А).** Принципиальная тепловая схема силовой установки, реализующей метано-кислородный цикл:

1 – компрессор низкого давления (К1); 2 – компрессор высокого давления (К2); 3 – камера сгорания (КС); 4 – высокотемпературная турбина компрессора (ВТК); 5 – высокотемпературная силовая турбина (ВТСТ); 6 – турбогенератор; 7 – паровая четырехпоточная турбина низкого давления (ПТНД); 8 – паровая турбина высокого давления (ПТВД); 9, 10 – компрессоры (К3, К4); 11 – парогенератор с рекуперацией тепла (ПГРТ); 12, 13 – конденсаторы-испарители (К/И1, К/И2); 14 – конденсатор пара; 15 – холодильник; 16 – насос; 17 – деаэрактор; 18 – блок осушки CO<sub>2</sub>; 19 – CO<sub>2</sub> – компрессор.

**Рис. 2 (Б).** Принципиальная технологическая схема ВРУ низкого давления для получения сжатого азота и сжатого кислорода, реализующей криогенный цикл с влажно-паровым детандированием:

1 – воздушный компрессор; 2 – водяной охладитель; 3 – блок комплексной очистки; 4 – основной теплообменщик; 5 – турбодетандер влажно-паровой; 6 – отделитель жидкости; 7, 8 – погружные теплообменщики; 9, 10, 11, 12 – переохладители; 13 – ректификационная колонна с конденсатором-испарителем; 14 – криососуд для жидкого азота; 15 – криососуд для жидкого кислорода; 16 – кислородный насос; 17 – испаритель-перегреватель жидкого кислорода; 18 – электроннагреватель технологического азота; 19 – азотный насос; 20 – испаритель-перегреватель жидкого азота.

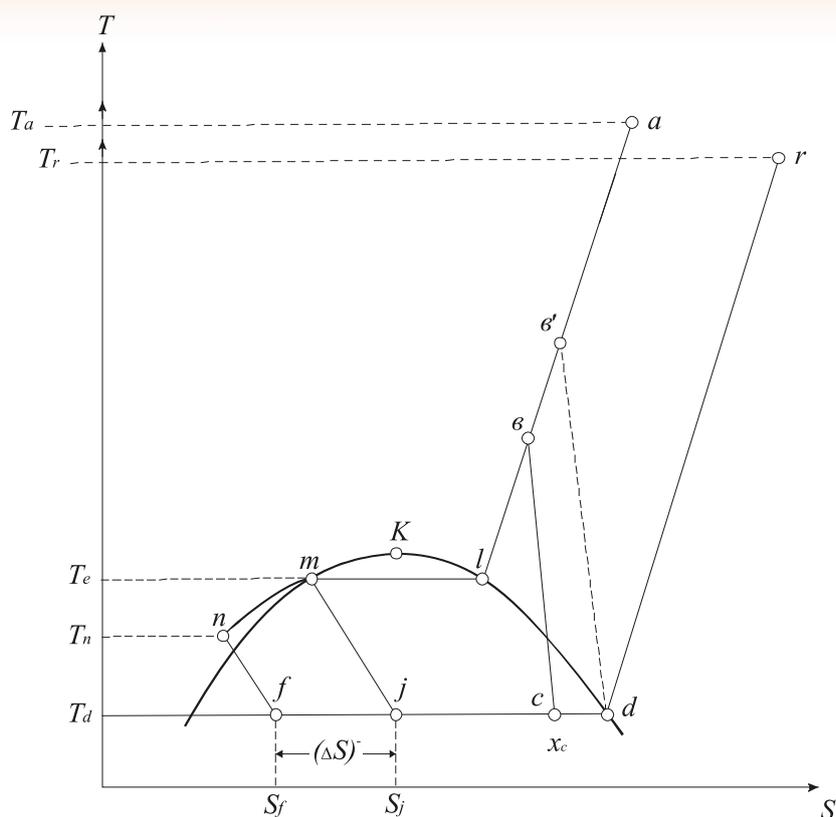


Рис. 3

**Конфигурация криогенного цикла низкого давления с влажно-паровым детандированием:**

(a – b – l – m – n – f – c – d – r);

процесс (b – c) – влажно-паровое детандирование;

( $\Delta S$ ) – энтропийный эффект переохлаждения жидкости.

**Конфигурация холодильного цикла с газо-паровым детандированием:**

(a – b' – l – m – j – d – r); процесс (b' – d) – газо-паровое детандирование.

номия электроэнергии на получение и использование сжатого до 4,0 МПа технического кислорода в кислородно-метановом силовом блоке электрической мощностью МВт составит  $3,0 \times 10^8$  кВт·ч.

Годовая экономия электроэнергии в модульной установке низкотемпературного разделения  $3,5 \times 10^4$   $\text{м}^3/\text{час}$  газов пиролиза составит  $2,8 \times 10^6$  кВт·ч.

Оценка экономического эффекта от использования «побочного продукта метано-кислородной ЭТС» –  $\text{CO}_2$  высокого давления для увеличения нефтеотдачи в соответствующем нефтедобывающем регионе требует проведения отдельного исследования.

### Новизна ЭТС

Оригинальность предлагаемой низкотемпературной ЭТС заключается в том, что в ней используются не только теплота химических реакций и физико-химических реакций и физико-хи-

мических процессов, но и холод регазификации СПГ и избыточное давление ПНГ, а также получаемые в кислородно-метановом силовом блоке  $\text{CO}_2$  и деминерализованная вода.

$\text{CO}_2$  в околокритическом состоянии может быть использована потребителем для повышения нефтеотдачи, а пар, полученный из деминерализованной воды, – для производства синтезгаза. «Побочный» азот, получаемый при производстве технического кислорода, используется в системе технологической защиты ЭТС, а также для получения продукции из «связанного азота».

### Аналоги

Из числа наиболее близких аналогов предлагаемого проекта за рубежом (в Германии и Австрии) разрабатывается проект «Oxufuel» для угольной промышленности. В рамках этого проекта в Германии прошла успешные испытания пилотная установка, построенная по кислородно-топливному циклу Граца.

Баланс мощности кислородно-топливного цикла Граца представлен в *таблице 3*.

### Область применения результатов

Основные подсистемы метано-кислородной энерготехнологической системы (ЭТС) могут быть эффективно использованы:

- в производствах пропилена и этилена на газоперерабатывающих заводах;
- в производствах кислорода и азота на заводах технических газов;
- в комплексах по производству, хранению и регазификации СПГ;
- в холодильных системах депарафинизации масел и в ряде других многотоннажных производств нефтехимической промышленности, являющихся крупными потребителями низкотемпературного холода, углеводородных газов и электроэнергии.

### Литература

1. Редькин В.В., Микулин Е.И., Филін Н.В., Смородин А.И. Сравнительный анализ криогенных циклов установок обратной конденсации паров азота // Химическое и нефтегазовое машиностроение, 1993. №2. С. 14-17.

2. Редькин В.В., Кемаев О.В., Коробков А.А., Микулин Е.И., Смородин А.И. Принципиальные структурные

схемы рефрижераторных и ожижительных установок для многорежимной азотной криогенной системы атомной электростанции // Известия Института инженерной физики, 2012. №2(24). С. 60-65.

3. Редькин В.В., Коробков А.А., Кемаев О.В., Смородин А.И. Построение и сравнительный анализ эффективности принципиальных структурных схем рефрижераторных и ожижительных установок азотной криогенной системы АЭС // 9-я международная конференция «Криогенные технологии и оборудование. Перспективы развития»: сб. тез. докладов. / МГТУ им. Н.Э. Баумана. М., 2012.

4. Смородин А.И., Редькин В.В., Кемаев О.В., Коробков А.А. Выбор принципиальных структурных схем рефрижераторных и ожижительных установок для многорежимных азотных криогенных систем атомных электростанций // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. «Машиностроение» / МГТУ им. Н.Э. Баумана. М., 2013 Спец. выпуск №1 Холодильная и криогенная техника, системы кондиционирования и жизнеобеспечения. С.51-59.

5. Коробков А.А., Смородин А.И., Редькин В.В., Кемаев О.В., Кулик М.В., Шабалин О.В. Разработка аванпроекта автономной криогенной азотной системы для атомной электростанции // 3-я международная конференция «Промышленные газы»: сб. тр., 2013. С. 56-59.

6. Коробков А.А., Смородин А.И., Редькин В.В., Кемаев О.В., Кулик М.В. Разработка аванпроекта автономной криогенной азотной системы для атомной электростанции // 10-я международная конференция «Криогенные технологии и оборудование. Перспективы развития»: сб. тез. докладов / МГТУ им. Н.Э. Баумана. М., 2013.

УДК 377, 378

### ЭЛЕКТРОННЫЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ НА WEB-САЙТЕ КАФЕДРЫ

**Константин Иванович Меша**

кандидат технических наук, профессор  
заведующий кафедрой  
«Информационные технологии и управление»  
филиал Университета машиностроения  
в г. Серпухове  
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов,  
Большой Ударный пер., д. 1а  
Тел.: +7(4967)35-38-36  
E-mail: kimbrig@mail.ru

**Валерий Иванович Харитонов**

кандидат технических наук, профессор  
заведующий кафедрой  
«Автоматика и процессы управления»  
Московский государственный  
машиностроительный университет (МАМИ)  
(Университет машиностроения)  
Адрес: 107023, г. Москва,  
ул. Большая Семеновская, д. 38  
Тел.: +7(495)223-05-23 (доб. 1305)  
E-mail: vixman@mail.ru

В статье рассматривается процесс создания мультимедийных электронных образовательных ресурсов и их публикации в среде веб. Рассматриваются программные и аппаратные средства, необходимые для организации системы на базе персонального компьютера или ноутбука. Уделено внимание вопросам разработки интерфейсов пользователя и разработчика. Описана схема коммутации периферийного оборудования для ведения поточной трансляции образовательных ресурсов.

The article describes how to create multimedia e-learning resources and publish them in a web environment. We consider the software and hardware needed to organize a system based on a personal computer or laptop. Attention is paid to the development of user and developer interfaces. The communication circuit of peripheral equipment for the broadcast of streaming educational resources.

**Ключевые слова:** учебно-методический комплекс, учебный план, веб-страница, автоматизированное рабочее место (АРМ), образовательный ресурс, веб-сервер, курсный отбор проектов, линейное программирование, тематическая направленность.

**Keywords:** training complex, the curriculum, the Web page, the computer workstation (AWS), an educational resource, the Web server.

Интерактивная познавательная деятельность с использованием мультимедийных возможностей компьютера обеспечивает создание комфортных условий обучения и возможность организовать мыслительную деятельность в процессе обучения [1].

Структура учебно-методического комплекса изучения дисциплины приведена на *рисунке 1*. Она включает рабочую программу и методические материалы по конкретной дисциплине.

Учебный план представлен в электронном виде на сайте кафедры. Рабочая программа представляется в виде веб-сайта, реализованного с применением системы управления контентом (CMS). При помощи этой системы обеспечивается возможность вносить изменения в программу, открывать доступ к материалам лекций и практических занятий для студентов, оповещать о предстоящем контроле.

Каждой дидактической единице также посвящена своя веб-страничка, которая включает совокупность образовательных ресурсов, необходимых для изучения дисциплины. Эти ресурсы содержат достаточное количество заданий для самоконтроля, видео-, фото- и другой информации. «Введение» мотивирует студентов и отвечает на вопрос «зачем нам это надо учить?».

Созданием электронных образовательных ресурсов занимается коллектив разработчиков. Автоматизированное рабочее место (АРМ) для разработчиков включает: аппаратное и программное обеспечение.

АРМ формируется на базе персонального компьютера с двухъядерным процессором с тактовой частотой ядра от 1,6 ГГц, 512 Мб оперативной памяти, дискретная видеокарта с 256 Мб памяти. Кроме того, АРМ может включать сканер и принтер. Обычно применяется сканер

# ПОДГОТОВКА КАДРОВ



Рис. 1. Структура учебно-методического комплекса по изучению дисциплины

планшетного типа, цветной лазерный принтер, графический планшет, фотоаппарат, видеокамера. Технические характеристики аппаратных средств представлены в *таблице 1*.

Для создания и обработки фото- и видеоматериалов используются цифровые фотоаппараты и пленочные фотокамеры с последующим сканированием пленок. В таких случаях передача

изображения в компьютер осуществляется при помощи сканера, оцифровывающего фотопленки. Для передачи данных с цифровых фотоаппаратов достаточно кардридера, встроенного в фотоаппарат или выполненного в виде отдельного устройства. Наиболее распространены цифровые камеры с электронным и зеркальным видеодискателем. Зеркальные фотоаппараты обеспе-

Таблица 1

Технические характеристики периферийных аппаратных средств АРМ

Тип средства	Область применения	Основная характеристика
Сканер	Документы, графика	Разрешающая способность от 1000 dpi, возможность сканировать фотопленки
Графический планшет	Графика, управление ПК	Размер планшета (А5)
Фотоаппарат	Графика	Тип видеодискателя, тип носителя, разрешение фотографий
Видеокамера	Видео	Формат, носитель

## ПОДГОТОВКА КАДРОВ

Таблица 2  
Программные средства разработки ЭОР

Область применения	Популярное ПО	Бесплатный аналог
Документооборот	MS Office	OpenOffice.org
Графика	Adobe InDesign	GIMP
Фото	Adobe Photoshop	GIMP
Видео	Canopus Edius	Windows MovieMaker
Создание web-сайтов	MS FrontPage	Amaya, Notepad++

чивают высшее качество изображения, однако имеют высокую стоимость. Камеры с электронным видискателем обеспечивают приемлемое качество для большинства задач при невысокой стоимости.

Некоторые задачи могут успешно выполняться стандартным для современного компьютера манипулятором типа «мышь», но для сложных графических работ необходимо использование манипулятора типа графический планшет. Среди разработчиков электронных образовательных ресурсов планшет преимущественно используется вместо мыши.

При разработке мультимедийных образовательных ресурсов применяются преимущественно видеокамеры любительского класса, поскольку профессиональная техника не даст ощутимого выигрыша в качестве. В рассматриваемом сегменте рынка видеоаппаратуры существует техника двух форматов: Standard и High Definition. HD поток обладает большим разрешением (1900×1080 пикселей), но вместе с тем увеличивается ширина канала при потоковой

трансляции и размер файла при пакетной. HD-камеры могут записывать и транслировать SD-картинку, но цена на них выше, поэтому используются камкордеры стандартной четкости.

Программное обеспечение при разработке ЭОР, представленное пакетами для работы с текстовыми, графическими, видеоматериалами и средами веб-разработки, иллюстрируется *таблицей 2*.

Для оформления текстовых документов и электронных таблиц используются программные продукты MS Word и Excel. Бесплатные аналоги этих приложений входят в пакет OpenOffice.org. Достоинством пакета OpenOffice.org является полная совместимость с продукцией Microsoft.

Сканер укомплектовывается программой оптического распознавания символов (OCR). OCR-программы распознают отсканированный документ и формируют из него текстовый файл, автоматически конвертируя его в требуемый пользователю формат, к примеру, pdf или doc. Признанный лидер в этой области – программа

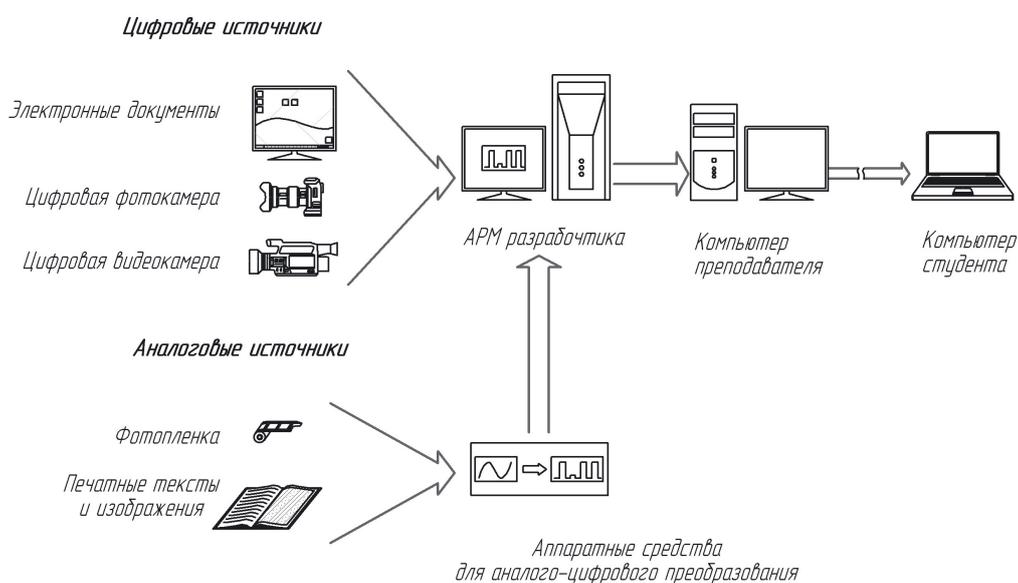


Рис. 2. Архитектура системы разработки и публикации ЭОР

## ПОДГОТОВКА КАДРОВ

Таблица 3

Требования к системе для реализации образовательных задач

Задача	Периферийное оборудование, ПО	Требования к ПК
Верстка текстов, электронных таблиц	MS Office, OpenOffice.org, OCR	Минимальные
Работа с графическими файлами	GIMP, Adobe Photoshop, графический планшет, фотоаппарат, сканер	Дискретная видеокарта, достаточное количество оперативной памяти
Работа с видеоматериалами	Видеоредакторы, видеокамера	Большой объем ПЗУ, большое количество оперативной памяти, дискретная видеокарта, мощное ЦПУ

ABBY FineReader. Аналогом FineReader'a является распространяемый на условиях freeware-лицензии OCR CuneiForm.

Для создания графических файлов применяются программные продукты Adobe Illustrator, Adobe Photoshop и Adobe InDesign. Из бесплатного программного обеспечения применяется GIMP, распространяемый по условиям лицензии GNU.

Обработка видео осуществляется в видеоредакторах. Продукция компаний Canopus, Adobe, Sony, наиболее распространенная на сегодняшний день. В комплект программного обеспечения операционных систем семейства Microsoft Windows входит программа Windows MovieMaker. Компания Pinnacle недавно анонсировала freeware-программный продукт со схожими характеристиками.

Инструментальные средства создания электронных образовательных ресурсов представлены на *рисунке 2*.

В состав системы входит АРМ разработчика ЭОР, оснащенное необходимыми периферийными интерфейсами и устройствами. На нем же находится база данных. Этими данными оперирует компьютер преподавателя, на котором установлен веб-сервер. К веб-серверу подключаются клиентские компьютеры. Аппаратные средства для аналого-цифрового преобразования включают сканер, устройство для оцифровки аналоговых звукозаписей и т.д.

Благодаря этому система становится мобильной, миниатюрной и надежной. Возможно развертывание системы на базе ноутбука. Таким образом система обеспечивает возможность ведения потоковых трансляций из нескольких источников. Такая схема применяется для дистанционного образования при использовании сети Интернет и практических занятий в локальной вычислительной сети.

Основные инновационные качества предложенной системы разработки и публикации ЭОР представлены в *таблице 3*.

Рассмотренные инструментальные средства создания электронных образовательных ресурсов предполагают размещение в образовательном Web-сайте учебно-методического комплекса и персонализированный доступ к ресурсам Web-сайта.

Web-сайт кафедры является рекламной площадкой по привлечению абитуриентов, служит инструментом в привлечении партнеров для научной и практической деятельности кафедры, содержит электронные образовательные ресурсы для обучения студентов с достаточным количеством заданий для самоконтроля, видео-, фото- и другую информацию.

На главной странице сайта представлена презентационная информация о кафедре, образовательные программы, информация о специальностях и направлениях обучения, перспективах карьерного, профессионального и финансового роста выпускников кафедры.

Сайт соответствует современным требованиям к функциональности, внешнему оформлению, кроссбраузерности, контенту, мультиязычности системы, стандартам языков программирования, удобству работы с системой, навигации, масштабируемости, документации ресурса.

На *рисунке 3* представлена структура web-сайта:

1. Абитуриентам, родителям, гостям.
2. Профессорско-преподавательский состав.
3. Учебный процесс.
4. ГЭК и ГАК.
5. Галерея.
6. Портфолио.
7. Практики.
8. Проектирование.
9. Контакты.

# ПОДГОТОВКА КАДРОВ

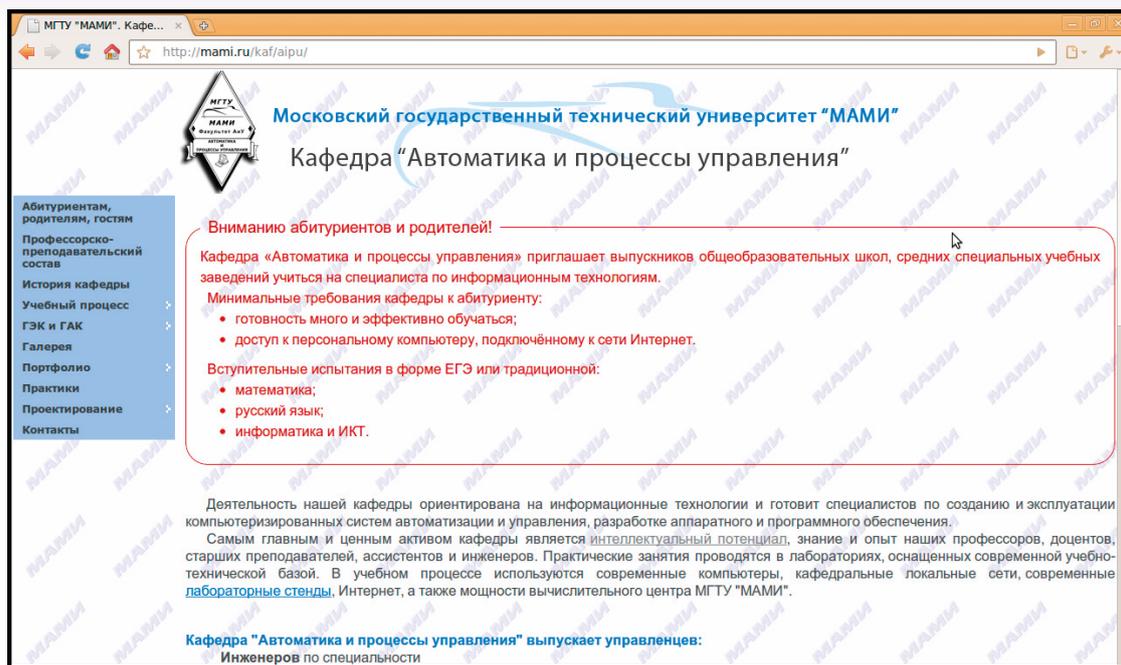


Рис. 3. Скриншот главной страницы

Сайт состоит из 83 web-страниц. Особый интерес представляет раздел «Галерея», где представлена подборка фотографий по материально-техническому обеспечению лабораторий кафедры в формате слайд-шоу. Галерея реализована на языке программирования JavaScript. В разделе так же представлены презентационные видео-материалы о кафедре.

В разделе «Портфолио» отмечены научно-технические достижения студентов кафедры на олимпиадах и конкурсах разных уровней. Дипломы призеров соревнований по мобильным роботам, международных конкурсах по программированию.

В разделе «Практики» студентам доступны методические указания в формате html по организации и прохождению практик, образцы нормативных документов, необходимых для прохождения практики, а так же правила оформления отчета по практике и способы реализации. Каждый раздел указаний представлен на отдельной web-странице. Разделы доступны для скачивания.

В разделе «Учебный процесс» представле-

ны учебно-методические комплексы по изучению дисциплин. Например, в подразделе «Электронные образовательные ресурсы» представлены конспекты лекций, вопросы к зачетам и экзаменам, on-line тесты, по изучению учебной информации.

Использование гиперссылок обеспечивает удобную и логичную навигацию, использование виртуализации при демонстрации материально-технической базы создает эффект присутствия.

Большинство страниц снабжено внутрикодовыми комментариями, которые позволяют с легкостью разобраться в исходном коде. Разработчиками сделан упор на то, чтобы сайт был полезен и удобен студентам, абитуриентам, родителям, сотрудникам кафедры.

## Литература

1. Информационная-когнитивная система и ее актуализация в языке. Хомякова Е.Г., Коммуникация и образование. Сборник статей. Под ред. С.И. Дудника. СПб.: Санкт-Петербургское философское общество, 2004. С.180-197.

2. Alan Cooper, About Face 3: The Essentials of Interaction Design, Wiley Publishing, Inc., Indianapolis, Indiana. ISBN 978-0-470-08411-3.



## AUTHORS

**Alexander A. Alekseev.** Ministry of Defence of the Russian Federation.

**Fizuli K. Aliiev.** Ph.D., senior scientist. Ministry of Defence of the Russian Federation.

**Obadi Hesam Mohammed Ali.** Postgraduate student. Vladimir State University. Vladimir, Gorky st., 87.

**Mohammad Mahmud Amro.** Postgraduate student. Vladimir State University. Vladimir, Gorky st., 87.

**Oleg N. Andruh.** Cand.Tech.Sci., associate professor. Vice-president IPO "IEP". Director of the branch of Moscow state university of mechanical engineering (MAMI). Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyu l., 1a.

**Igor A. Bugakov.** Dr.Sci.Tech., professor. Honoured divisor of Russia. IPO "IEP". Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyu l., 1a.

**Maya K. Chaduneli.** Chair of Department. The branch of Moscow state university of mechanical engineering (MAMI). Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyu l., 1a.

**Albert G. Demidenko.** Cand.Tech.Sci. Joint-stock company "PANORAMA". Moscow reg., Noginsk, Rogozhskaya st., 117.

**Alexander P. Galkin.** Dr.Sci.Tech., professor, head of Department. Vladimir State University. Vladimir, Gorky st., 87.

**Sergey G. Goncharov.** Cand.Tech.Sci., associate professor. Russian Federal Nuclear Center – The All-Russian Research Institute of Experimental Physics (RFNC – VNIIEF). Nizhny Novgorod reg., Sarov, Mira av., 37.

**Gennadiy A. Gordeev.** Department head. IPO "IEP". Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyu l., 1a.

**Oleg V. Kemaev.** Cand.Tech.Sci., senior scientist. IPO "IEP". Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyu l., 1a.

**Al-Jabery Ramzy Khamid.** Postgraduate student. Vladimir State University. Vladimir, Gorky st., 87.

**Valeriy I. Kharitonov.** Cand.Tech.Sci., professor. The branch of Moscow state university of mechanical engineering (MAMI). Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyu l., 1a.

**Mikhail A. Kondrashin.** Cand.Tech.Sci., senior scientist. IPO "EPI". Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyu l., 1a.

**Alexey A. Korobkov.** Cand.Tech.Sci., associate professor. Senior scientist. IPO "EPI". Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyu l., 1a.

**Igor V. Kosteniuk.** Leading authority. Russian Railways.

**Sergey N. Koltakov.** Ministry of Defence of the Russian Federation.

**Sergey Y. Korotkov.** Senior scientist. IPO "EPI". Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyu l., 1a.

**Maxim S. Kovaliov.** Scientist. IPO "EPI". Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyu l., 1a.

**Andrey E. Kuznetsov.** Cand.Tech.Sci., associative professor. Senior lecturer. IPO «IEP». Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyu l., 1a.

**Alexander V. Martynov.** Dr.Sci.Tech., professor. Department head. Russian Federal Nuclear Center – The All-Russian Research Institute of Experimental Physics. Nizhny Novgorod reg., Sarov, Mira av., 37.

**Igor G. Mashin.** Russian Armed Forces. Nizhny Novgorod reg., Sarov, Mira av., 37.

**Konstantin I. Mesha.** Cand.Tech.Sci., professor. The branch of Moscow state university of mechanical engineering (MAMI). Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyu l., 1a.

**Alexander A. Murashko.** Deputy director. The State Atomic Energy Corporation «ROSATOM». Moscow, Bolshaya Ordynka, 24.

**Oleg R. Nikitin.** Honoured scientist of Russia, Dr.Sci.Tech., professor, head of Department. Vladimir State University. Vladimir, Gorky st., 87.

**Viacheslav A. Nikitin.** Engineer. Russian Federal Nuclear Center – The All-Russian Research Institute of Experimental Physics. Nizhny Novgorod reg., Sarov, Mira av., 37.

**Artem N. Novikov.** Cand.Tech.Sci., scientist. The Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow, Kitaygorodskiy l., 9/5.

**Alexey V. Osin.** Cand.Tech.Sci. Vladimir State University. Vladimir, Gorky st., 87.

**Marina V. Orlova.** Senior lecturer. Managing director (DESIGN PRAKTIKA). State University of Management. Moscow, Riazanskiy av., 99.

**Vladimir P. Pashintsev.** Honored Worker of Higher School of Russia. Dr.Sci.Tech., professor. Senior scientist. IPO «IEP». Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyu l., 1a.

**Vadim V. Pisetskiy.** Senior lecturer. Sarov Physico-Technical Institute. Nizhny Novgorod reg., Sarov, Duhova st., 6.

**Sergey V. Pogreban.** Ministry of Defence of the Russian Federation.

**Anton V. Podzorov.** Cand.Tech.Sci., junior scientist. Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

**Nikolay A. Prudkoy.** Head of laboratory. Russian Federal Nuclear Center – The All-Russian Research Institute of Experimental Physics (RFNC – VNIIEF). Nizhny Novgorod reg., Sarov, Mira av., 37.

**Yuri A. Pushkarev.** Honoured scientist of Russia, Dr.Sci.Tech., professor. Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

**Elena Y. Pushkareva.** Dr.Sci.Tech., professor, chief department. Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

**Valeriy G. Rau.** Doctor of Physical and Mathematical Sciences, professor. Vladimir State University. Vladimir, Gorky st., 87.

**Tamara F. Rau.** Candidate of Physical and Mathematical Sciences, associate professor. Vladimir State University for the Humanities. Vladimir. Stroiteley av., 11.

**Victor V. Red'kin.** Cand.Tech.Sci., Senior scientist. IPO "IEP". Bolshoy Udarnyu l., 1a

**Mikhail V. Rufitskiy.** Dr.Sci.Tech., professor. Vladimir State University. Vladimir, Gorky st., 87.

**Anatoliy G. Sentsov.** Scientist. Nanotechnology Institute Microelectronics. Moscow, Leninskiy av., 32a.

**Igor A. Sheremet.** Dr.Sci.Tech., professor. The Military-Industrial Commission of the Russian Federation.

**Sergey N. Shimanov.** Dr.Sci.Tech., associate professor. IPO "IEP". Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyu l., 1a.

**Evgeniy V. Shmyrin.** Senior scientist. IPO "IEP". Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyu l., 1a.

**Anatoliy A. Skorobogatuy.** Chief engineer. General Staff of the Armed Forces of the Russian Federation.

**Konstantin V. Skvortsov.** Vladimir State University. Vladimir, Gorky st., 87.

**Dmitriy V. Smirnov.** Dr.Sci.Tech., associate professor. General director of IPO "IEP". Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyu l., 1a.

**Vladimir I. Strekozov.** Lecturer. Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

**Alexey V. Svistunov.** Junior scientist. IPO "EPI". Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyu l., 1a.

**Evgeniy N. Talitskiy.** Dr.Sci.Tech., professor. Vladimir State University. Vladimir, Gorky st., 87.

**Vitaliy N. Temnenko.** Ministry of Defence of the Russian Federation.

**Dmitriy A. Tokarev.** Ministry of Defence of the Russian Federation.

**Alexey N. Tzar'kov.** Honoured scientist of Russia, Dr.Sci.Tech., professor. President of IPO "EPI". Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyu l., 1a.

**Sergey V. Yaremchenko.** Senior scientist. IPO "EPI". Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyu l., 1a.

**Anastasia V. Zaitseva.** Bauman Moscow State Technical University. Moscow, 2 Baumanskaya st., 5.

**Andrey A. Zakharov.** Cand.Tech.Sci. Lecturer. Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

**Evgeniy P. Zaramenskikh.** Senior scientist. IPO "EPI". Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyu l., 1a.

**Marfa G. Zavodchikova.** Vice-president. IPO "EPI". Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyu l., 1a.

**Vladimir V. Zelenevskiy.** Dr.Sci.Tech, professor. The Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

**Yuriy V. Zelenevskiy.** Cand.Tech.Sci., associate professor. Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow, Kitaygorodskiy d., 9/5.

### «ПРЕДПРИЯТИЕ ГОДА – 2013»

Институт инженерной физики стал лауреатом Всероссийской премии «Предприятие года – 2013». Награда «Предприятие года» вручается предприятиям и организациям, использующим современные знания, внедряющим инновационные технологии, повышающим эффективность и культуру управления с целью создания благоприятных условий для дальнейшей реализации государственной политики по обеспечению стабильного подъема российской экономики, повышению конкурентоспособности отечественной продукции и интеграции российских предприятий в систему международных хозяйственных связей. Торжественная церемония и прием в честь лауреатов состоялись в «Президент-Отеле» Управления делами Президента РФ. МОУ «ИИФ» представляли Президент Института – Председатель Правления Института, заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор А.Н. Царьков и Генеральный директор – Первый Вице-президент Института, доктор технических наук, доцент Д.В. Смирнов.

Присуждение Институту этой почетной премии свидетельствует о признании заслуг серпуховских ученых в инновационной научной и производственной деятельности на благо страны.

### ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ – ДОБРОСОВЕСТНЫЙ ПОСТАВЩИК

МОУ «ИИФ» внесен в Федеральный реестр добросовестных поставщиков. Орган по сертификации ЗАО «Международный центр инвестиционного консалтинга» выдал Институту сертификат соответствия, который удостоверяет, что МОУ «ИИФ» соответствует требованиям национального стандарта поставки и признано добросовестным поставщиком. В Сертификате сказано, что «Организация подтвердила соблюдение действующего законодательства РФ в области поставок продукции (работ, услуг), способность выпускать продукцию требуемого качества в установленные контрактами (договорами) сроки, добросовестно и гарантированно исполняет контракты, имеет аргументированное право на участие в тендерах и государственных заказах в качестве надежного и эффективно исполнителя». Институт получил разрешение на использование знака «Добросовестный поставщик», нанесение его на свою продукцию, товаросопроводительную документацию, бланки, рекламную продукцию.



### ИЗДЕЛИЕ СДАНО В ЭКСПЛУАТАЦИЮ

Завершением семилетнего труда отдела навигационных систем и комплексов и всего коллектива МОУ «ИИФ» стала сдача в эксплуатацию серийного изделия зав. №1 «Автоматическая система определения азимута». Руководил проводимыми работами главный конструктор по данному направлению, ведущий научный сотрудник, кандидат технических наук, профессор Николай Иванович Котов.

Высочайший профессионализм при монтаже системы, упорство и высокий уровень организаторских способностей проявили заместитель начальника отдела, заслуженный геодезист РФ Александр Юрьевич Махаев (в течение многих лет возглавлявший службу КП и АГО штаба РВСН) и старший научный сотрудник Александр Николаевич Фельдшеров (возглавлявший службу КП и АГО соединения), которые не только грамотно организовали работу, но и провели все виды сложнейших астрономо-геодезических работ по обеспечению испытаний при сдаче системы на объекте эксплуатации.



## ТРЕБОВАНИЯ К АВТОРАМ СТАТЕЙ

Для публикации принимаются статьи на русском языке. Рекомендуемый объем статьи – 0,2–0,4 п.л. (8000–16000 знаков).

**Тексты** должны быть представлены:

○ в электронном виде (Win Word 6.0 или 7.0).  
Иллюстративный материал (сложные формулы, рисунки, фотографии и т.д.) кроме размещения в тексте обязательно должны предоставляться отдельными файлами!

○ на бумажном носителе формата А4.

**Текст статьи** должен быть набран через 1,5 интервала (гарнитура «Times New Roman»), кегль 14.

**Простые символы и формулы не набирать в математическом редакторе!**

Напечатанный текст должен иметь поля: верхнее и левое – 2,5 см, правое и нижнее – 2 см.

Вверху первой страницы статьи размещаются:

- рубрика журнала (см. Приложение 1);
- УДК;
- название статьи;
- имя, отчество, фамилия автора (авторов), ученая степень, ученое звание, должность и место работы.

**Список литературы** (Литература) размещается в конце статьи.

После литературы помещается:

- список ключевых слов;
- краткая аннотация (1–2 абзаца, но не более одного листа А4) на русском и английском языках.

Завершает рукопись полная информация об авторе (авторах):

- ФИО;
- ученая степень, ученое звание, должность и место работы с переводом на английский язык;
- адрес места работы, контактные телефоны, электронный адрес (по желанию автора – домашний адрес и телефон).

**Обращаем особое внимание на:**

○ точность и правильность библиографического оформления списка литературы (в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5-2008);

○ выверенность статьи в компьютерном наборе;

○ полное соответствие файла на электронном носителе (диске, дискете) и бумажного варианта.

Редакционная коллегия оставляет за собой право на редактирование статей, при этом с точки зрения научного содержания авторский вариант сохраняется.

Статьи, не принятые к публикации, не возвращаются.

Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается!

### Приложение 1

#### Рубрикация журнала

#### «Известия Института инженерной физики»

##### Управление, вычислительная техника и информатика

- Технологии обработки и передачи данных;
- Средства и методы защиты информации;
- Информационно-расчетные системы;
- Вычислительные методы;
- Тестирование и сертификация программно-аппаратного обеспечения;
- Компьютерные сети и системы;
- Новые информационные технологии;
- Электромагнитная безопасность систем и комплексов;
- Искусственный интеллект;
- Базы данных;
- Моделирование процессов управления и оптимизации;
- Информационные технологии проектирования;
- Информационные технологии в образовании;
- Геоинформационные системы;
- Программно-аппаратное обеспечение;
- Автоматизированные системы управления;
- Компьютерная графика.

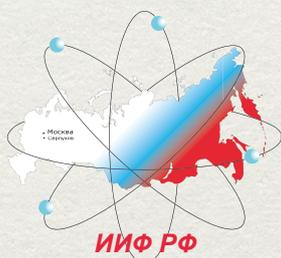
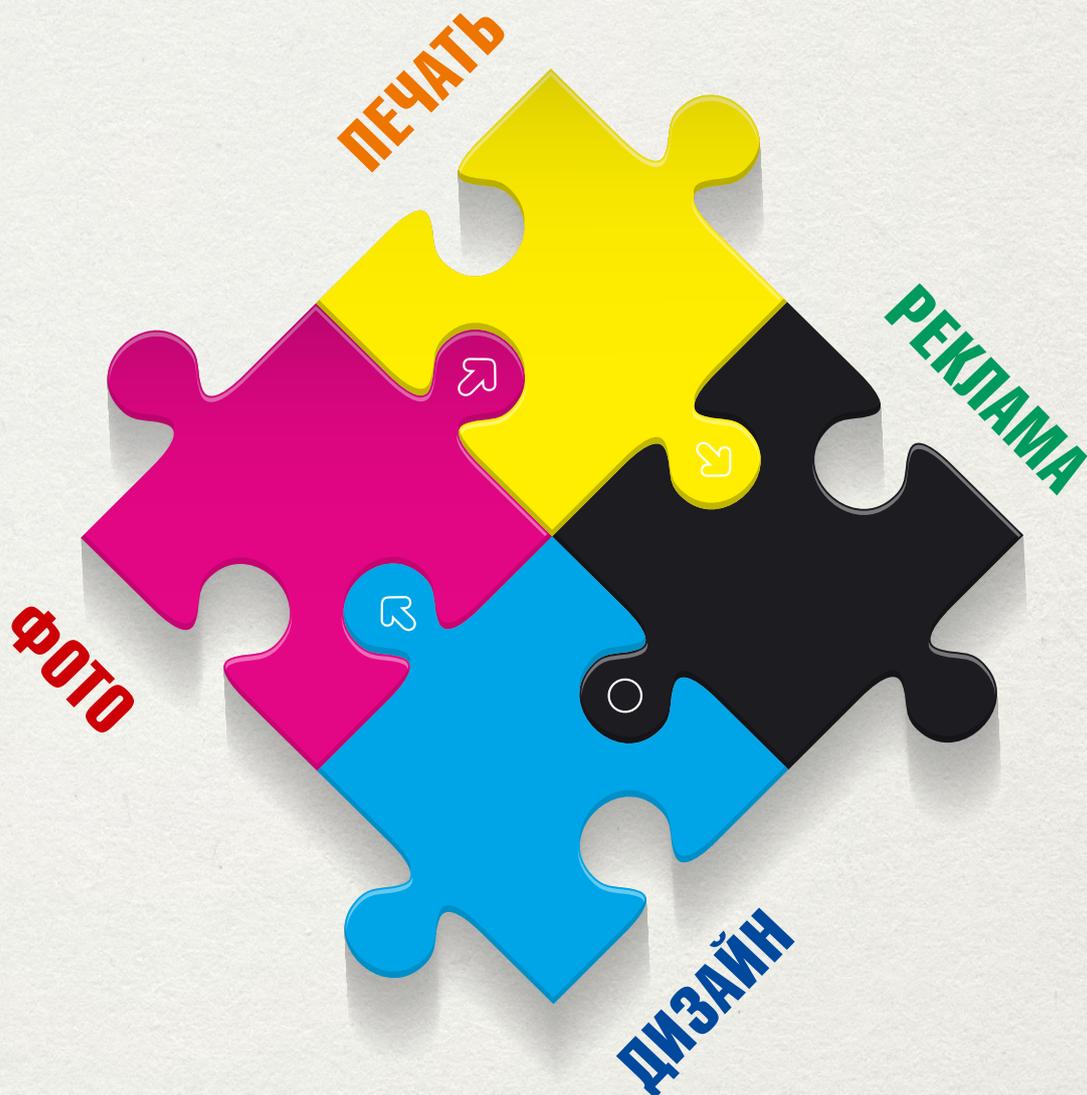
##### Электроника, измерительная техника, радиотехника и связь

- Методы и способы измерения, оценка погрешностей;
- Информационно-измерительные системы;
- Методы обработки сигналов;
- Диагностические системы;
- Радиоэлектронные системы;
- Антенны, распространение радиоволн;
- Элементная база;
- Радиотехническая аппаратура;
- Системы связи.

##### Постоянные под рубрики:

- Навигация;
- Механика твердого тела;
- Техника общего назначения;
- Инновационные проекты;
- Техническое регулирование;
- Совершенствование образования;
- Подготовка кадров.

В соответствии с Решением Межведомственной комиссии РФ по защите государственной тайны №69 от 26 февраля 2001 г., требованиями законов №5485-1 «О государственной тайне» от 21 июля 1993 г., №149-ФЗ «Об информации, информационных технологиях и защите информации» от 27 июля 2006 г. статьи для публикации принимаются только при наличии экспертного заключения с разрешением на открытое опубликование.



**ИНСТИТУТ  
ИНЖЕНЕРНОЙ  
ФИЗИКИ  
НАУЧНОЕ,  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ И  
ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ**

редакционно-издательский и фото-видео центр МОУ «ИИФ»

**КОГДА  
ВСЁ  
СКЛАДЫВАЕТСЯ  
ПРАВИЛЬНО**



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



**Межрегиональное  
общественное  
учреждение**

**«Институт  
инженерной  
физики»**

**(МОУ «ИИФ»)**

**научное, образовательное  
и производственное  
учреждение**