

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ГЕОСИСТЕМ И ТЕХНОЛОГИЙ»
(СГУГиТ)

XIII Международные научный конгресс и выставка

ИНТЕРЭКСПО ГЕО-СИБИРЬ-2017

Национальная научная конференция

«НАУКА. ОБОРОНА. БЕЗОПАСНОСТЬ-2017»

Сборник материалов

Новосибирск
СГУГиТ
2017

УДК 614.18
С26

Ответственные за выпуск:

Доктор экономических наук, член-корреспондент РАН РАН,
заместитель директора по кадровым вопросам
ОАО «Научно-исследовательский институт электронных приборов», Новосибирск
В. Г. Эдвабник

Доктор технических наук, доцент,
заведующий кафедрой специальных устройств и технологий СГУГиТ, Новосибирск
В. С. Айрапетян

С26 Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2017. XIII Междунар. науч. конгр., 17–21 апреля 2017 г., Новосибирск : Национ. науч. конф. «Наука. Оборона. Безопасность-2017» : сб. материалов. – Новосибирск : СГУГиТ, 2017. – 241 с.

ISBN 978-5-906948-34-2

ISBN 978-5-906948-11-3

В сборнике опубликованы материалы XIII Международного научного конгресса «Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2017», представленные на Национальной научной конференции «Наука. Оборона. Безопасность-2017».

Печатается по решению редакционно-издательского совета СГУГиТ

Материалы публикуются в авторской редакции

УДК 614.18

ISBN 978-5-906948-34-2

ISBN 978-5-906948-11-3

© СГУГиТ, 2017

Сборник включен в систему РИНЦ.

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОДАВЛЕНИЯ ВОЛНЫ ГАЗОВОЙ ДЕТОНАЦИИ ХИМИЧЕСКИ ИНЕРТНЫМИ МИКРОЧАСТИЦАМИ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ НАЧАЛЬНЫХ ДАВЛЕНИЯХ

Павел Аркадьевич Фомин

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры специальных устройств и технологий; Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 15, тел. (383)361-07-31, e-mail: kaf.suit@ssga.ru

Валерик Сергеевич Айрапетян

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, доктор технических наук, зав. кафедрой специальных устройств и технологий, тел. (383)361-07-31, e-mail: kaf.suit@ssga.ru

Рассмотрен метод управления параметрами и подавления волны газовой детонации облаком химически инертных микрочастиц. Рассчитаны параметры стационарной детонационной волны и относительный размер детонационной ячейки в газовой смеси $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 + \text{N}_2$ с химически инертными микрочастицами (SiO_2). Проанализировано влияние начального давления на эффективность подавления волны. Рассмотрено два сценария: (i) массовая доля конденсированной фазы в двухфазной смеси фиксирована и (ii) абсолютная концентрация частиц постоянна. В первом случае эффективность подавления ДВ увеличивается при увеличении начального давления. Во втором случае увеличение начального давления приводит к снижению эффективности подавления детонационной волны.

Ключевые слова: детонация, газ-частицы, детонационная ячейка, подавление.

ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF GAS DETONATION WAVE SUPPRESSION BY CHEMICALLY INERT MICROPARTICLES AT DIFFERENT INITIAL PRESSURES

Pavel A. Fomin

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., Ph. D., Professor of the Department of Special Devices and Technologies; Lavrent'ev Institute of Hydrodynamics SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 15 Akademik Lavrentiev Prospect, tel. (383)361-07-31, e-mail: kaf.suit@ssga.ru

Valerik S. Ayrapetyan

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., D. Sc., Head of the Department of Special Devices and Technologies, tel. (383)361-07-31, e-mail: kaf.suit@ssga.ru

The method of gaseous detonation wave control and suppression by chemically inert microparticles injection is considered. Parameters of a steady detonation wave and relative detonation cell size in a $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 + \text{N}_2$ mixture with chemically inert microparticles (SiO_2) are calculated. The influence of initial pressure on the efficiency of the gaseous detonation wave suppression is analyzed. Two scenarios are considered: (i) the mass fraction of condensed phase in the two-phase mixture is fixed and (ii) the absolute concentration of particles is fixed. In the first case the efficiency of DW suppression increased with increase of initial pressure. In the second case the increase of initial pressure leads to the decrease of the efficiency of DW suppression.

Key words: detonation, gas-particles, detonation cell, suppression.

На основании модели [1, 2] проанализировано влияние начального давления на эффективность управления параметрами и подавления волны газовой детонации облаками химически инертных микрочастиц. В рамках модели предел распространения детонационной волны соответствовал увеличению размера детонационной ячейки при увеличении концентрации твердой фазы в смеси до определенной величины, зависящей от диаметра канала. Эффективность подавления волны полагалась зависящей от относительного размера детонационной ячейки, т.е. отношения размера детонационной ячейки с частицами a к размеру детонационной ячейки в чистом газе a_P . Чем такое отношение выше, тем выше эффективность подавления волны. Рассчитаны параметры стационарной детонационной волны и относительный размер детонационной ячейки в смеси $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 + \text{N}_2$ с химически инертными микрочастицами (SiO_2). Рассмотрено два сценария: (i) массовая доля конденсированной фазы в двухфазной смеси μ фиксирована (рис. 1, 2) и (ii) абсолютная концентрация частиц постоянна (рис. 3, 4).

Как видно из рис. 1(a-c) и 2(a, b), увеличение начального давления P_0 ведет к увеличению скорости детонации D , давления P , и температуры T . Относительный размер детонационной ячейки также увеличивается (рис. 2(c)). Поэтому эффективность подавления детонационной волны химически инертными микрочастицами при фиксированной массовой доле твердой фазы при увеличении начального давления также увеличивается. Объяснение этого эффекта иллюстрируется рис. 1(d). Рост начального давления ведет к увеличению степени рекомбинации продуктов реакции и соответствующему увеличению теплового эффекта (величина $(\mu_{\max} - \mu) / \mu_{\max} \rightarrow 0$ при увеличении P_0 , μ и μ_{\max} – текущая молярная масса газа и молярная масса газа в предельно рекомбинированном состоянии).

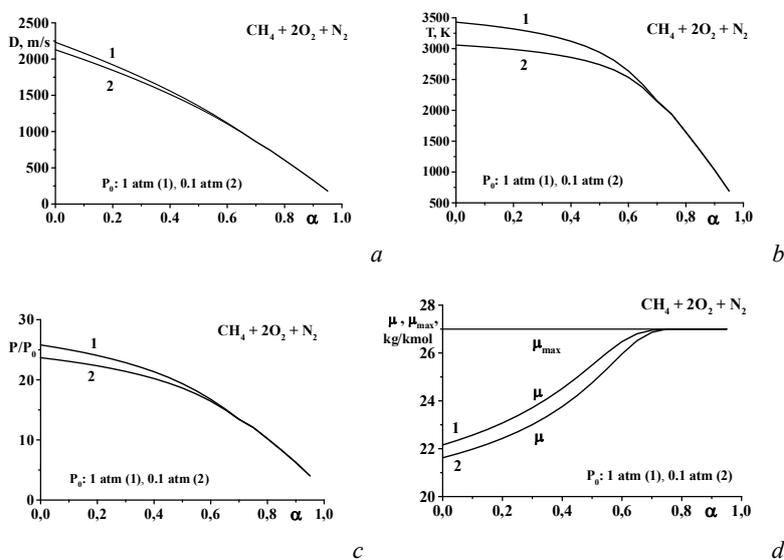


Рис. 1. Параметры волны Чепмена-Жуге в газовой смеси $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 + \text{N}_2$ с химически инертными микрочастицами SiO_2 . $T_0 = 293 \text{ K}$, $P_0 = 1 \text{ атм}$ и $P_0 = 0.1 \text{ атм}$

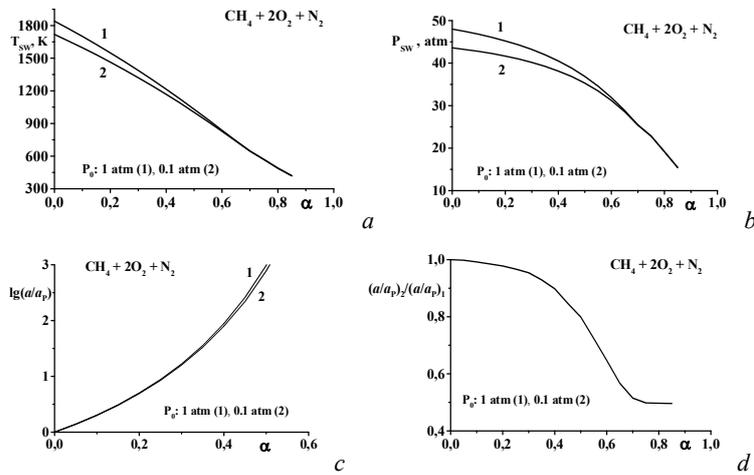


Рис. 2. Параметры пика Неймана и относительный размер ячейки детонационной волны в газовой смеси $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 + \text{N}_2$ с химически инертными микрочастицами SiO_2 . $T_0 = 293 \text{ K}$, $P_0 = 1 \text{ атм}$ и $P_0 = 0.1 \text{ атм}$

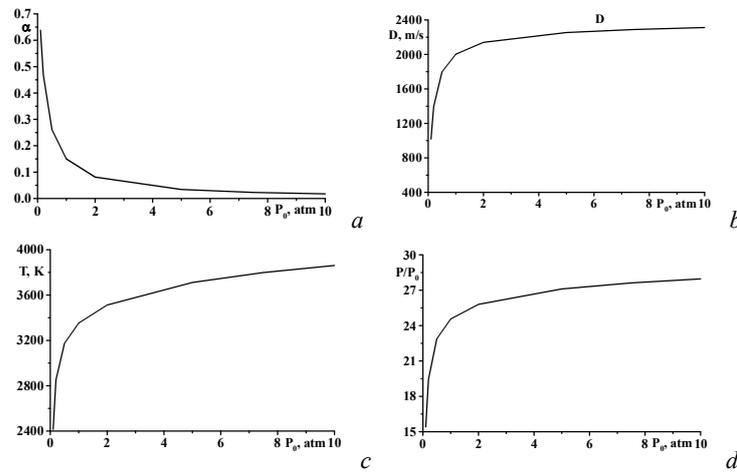


Рис. 3. Параметры Чепмена-Жуге детонационной волны в газовой смеси $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 + \text{N}_2$ с химически инертными микрочастицами SiO_2 . $T_0 = 293 \text{ K}$

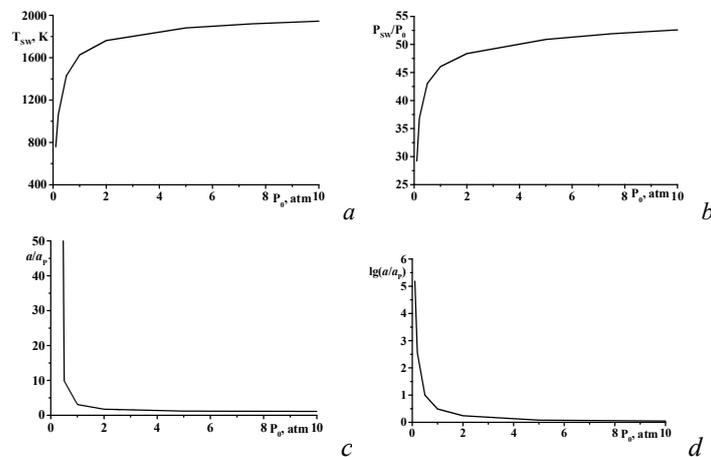


Рис. 4. Параметры пика Неймана детонационной волны и относительный размер детонационной ячейки в газовой смеси $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 + \text{N}_2$ с химически инертными микрочастицами SiO_2 . $T_0 = 293 \text{ K}$.

Рассмотрим случай, когда абсолютная концентрация частиц при изменении начального давления не меняется. Обозначим α при некотором давлении P_* как α_* . Массовая доля конденсированной фазы может быть рассчитана следующим образом:

$$\alpha = \alpha_* / [(P / P_*)(1 - \alpha_*) + \alpha_*].$$

Согласно этому уравнению массовая доля конденсированной фазы уменьшается при увеличении начального давления. Результаты расчета с учетом этой формулы представлены на рис. 3(а). Параметры волны Чепмена-Жуге при $\alpha_* = 0.15$, $P_* = 1 \text{ atm}$ показаны на рис. 3(b-d). Параметры позади переднего ударного фронта и относительный размер детонационной ячейки при различных начальных давлениях показаны на рис. 4(a-d). Как видно из рис. 3(b-d) и рис. 4(a, b) скорость, давление и температура детонационной волны увеличиваются, поскольку массовая доля частиц уменьшается (рис. 3(а)). Относительный размер детонационной ячейки (и, соответственно, эффективность подавления детонации) с ростом начального давления уменьшаются.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Fomin P.A., Chen J. -R. Effect of chemically inert particles on parameters and suppression of detonation in gases. *Combustion, Explosion and Shock waves*, 2009, Vol. 45, № 3, pp. 303-312.
2. Fedorov A.V., Fomin P.A., Fomin V.M., Tropin D.A., Chen J. -R. *Mathematical Analysis of Detonation Suppression by Inert Particles*. Kao Tech Publishing, Kaohsiung, Taiwan, 2012, 144 p.

© П. А. Фомин, В. С. Айрапетян, 2017

ИНТЕГРИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ОХРАНЫ И СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ДОСТУПОМ

Дмитрий Евгеньевич Демидов

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, аспирант кафедры автономных информационных и управляющих систем, тел. (383)346-26-23, e-mail: dmdem@ngs.ru

Владимир Николаевич Легкий

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, доктор технических наук, доцент, зав. кафедрой автономных информационных и управляющих систем, тел. (383)346-26-23, e-mail: sniios@mail.ru

Иван Дмитриевич Фисун

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, аспирант кафедры автономных информационных и управляющих систем, тел. (383)346-26-23, e-mail: xfisunx@gmail.com

Александр Романович Читава

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, аспирант кафедры автономных информационных и управляющих систем, тел. (383)346-26-23, e-mail: alexandrchitava92@yandex.ru

К основным задачам обеспечения безопасности критического инфраструктурного предприятия, или военного (оборонного) объекта относятся:

- предотвращение разглашения, утечки и доступа к источникам режимной информации;
- контроль многоуровневой системы контроля и управления доступом;
- использование системы видеонаблюдения;
- проверка работоспособности комплекса инженерно-технических средств охраны;
- управление программно-аппаратным комплексом средств защиты информации.

Автономная система безопасности предприятия с комплексной обработкой данных средств контроля предназначена для предотвращения совокупности угроз за счет интегрирования систем.

Ключевые слова: системы безопасности, инженерно-технические средства охраны, комплексная система безопасности, охранные извещатели, радиоволновые однопозиционные извещатели, радиоволновые двухпозиционные извещатели, оптико-электронные извещатели, интегрированная система, протокол RSTP.

INTEGRATED COMPLEX OF ENGINEERING AND TECHNICAL MEANS OF ARMING AND CONTROL AND ACCESS CONTROL SYSTEM

Dmitry E. Demidov

Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia, Novosibirsk, 20 K. Marksa Prospekt, graduate student, Department Autonomous Information and Control Systems, tel. (383)346-26-23, e-mail: dmdem@ngs.ru

Vladimir N. Legkiy

Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia, Novosibirsk, 20 K. Marksa Prospekt, D. Sc., associate Professor, Head of the Department Autonomous Information and Control Systems, tel. (383)346-26-23, e-mail: sniios@mail.ru

Ivan D. Fisun

Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia, Novosibirsk, 20 K. Marksa Prospekt, graduate student, Department Autonomous Information and Control Systems, tel. (383)346-26-23, e-mail: xfisunx@gmail.com

Alexandr R. Chitava

Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia, Novosibirsk, 20 K. Marksa Prospekt, graduate student, Department Autonomous Information and Control Systems, tel. (383)346-26-23, e-mail: alexandrchitava92@yandex.ru

The main tasks of ensuring the safety of a critical infrastructure company, or military (defense) facility are:

- prevention of disclosure, leakage and access to sources of regime information;
- control of multi-level access control system;
- use of a video surveillance system;
- checking the operability of the complex of engineering and technical means of protection;
- management of the software and hardware complex of information security.

The autonomous system of enterprise security with integrated processing of control data is intended to prevent a set of threats through the integration of systems.

Key words: security systems, engineering and technical means of protection, integrated security system, security detectors, radio wave single-point detectors, radio wave two-point detectors, optical-electronic annunciators, integrated system, RSTP protocol.

Интегрированная система (ИС, т.е. интегрированный комплекс) представляет собой комплекс инженерно-технических и программных средств защиты информации, охраны периметра и режимных помещений.

Для контроля утечки информации необходимо использовать DLP систему. Она представляет собой сервер с интегрированным программным продуктом, позволяющим контролировать трафик в локальной вычислительной сети.

К инженерно-техническим средствам охраны относятся извещатели:

- 1) Активные – являются источниками электромагнитных, акустических и других волн;
- 2) Пассивные - не являются источниками волн.

По физическому принципу действия, часто используемые извещатели можно отнести к следующим группам:

- 1) Инфракрасные - при движении источника теплового излучения формируют сигнал тревоги;
- 2) Радиоволновые – извещатели, излучающие ультракороткие радиоволны;
- 3) Акустические – извещатели, формирующие сигнал тревоги при характерном звуке;
- 4) Магнитоконтактные - извещатели, формирующие сигнал тревоги при размыкании геркона вследствие удаления от него магнитного элемента;
- 5) Оптико-электронные – извещатели, формирующие сигнал тревоги при пересечении луча от приемника к передатчику; [1]

б) Проводноволновые – извещатели, формирующие сигнал тревоги при изменении параметров электромагнитного сигнала, распространяющегося от передатчика к приемнику при пересечении нарушителя.

Использование двух и более рубежей охраны повысит эффективность системы.

Для интеграции инженерно-технических средств охраны необходимо использовать локальную вычислительную сеть (ЛВС) на основе волоконно-оптических линии связи с применением кольцевой топологии и протокола RSTP (Rapid STP, англ. Rapid spanning tree protocol, быстрый протокол разворачивающегося дерева).

На рис. 1 изображен принцип работы протокола RSTP. При к ольцевой топологии, Коммутатор 1 блокирует порт идущий от Коммутатора 2, вся информация циркулирует от Коммутатора 2 - Коммутатору 3 - Коммутатору 1 и обратно. При разрыве линии связи, как показано на рис. 2. Коммутатор 1 активирует ранее заблокированный порт <1сек. и локальная вычислительная сеть продолжает работать. [3]

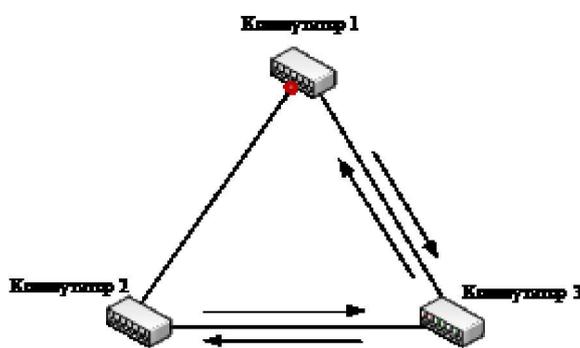


Рис. 1. Принцип работы протокола RSTP

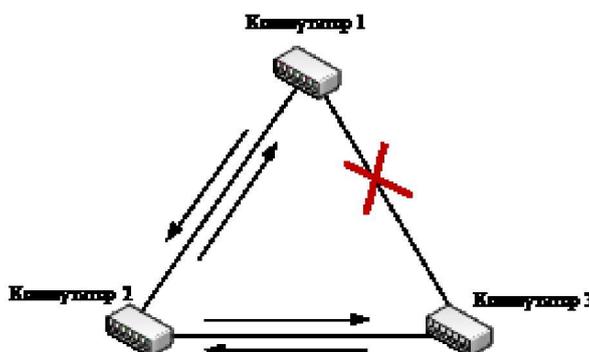


Рис. 2. Локальная вычислительная сеть при разрыве линии связи

Преимущества волоконно-оптической линии связи:

- надежность системы;
- высокая скорость передачи данных;
- малые потери;
- дорогостоящий метод съема информации по каналам линии связи;
- расстояние между устройствами до 800км;
- помехозащищенность;
- небольшие габаритные размеры и масса.

Недостатки волоконно-оптической линии связи:

- трудоемкость сварки и ослабление сигнала в месте сварного шва;
- поражение сетчатки глаза световым излучением.

Использование волоконно-оптической линии связи в локальной вычислительной сети с применением кольцевой топологии и протокола RSTP повысит надежность и отказоустойчивость интегрированной системы инженерно-технических средств охраны и системы контроля и управления доступом. [2]

Система контроля и управления доступом

Применение интегрируемых средств ИС позволяет гибко настроить систему контроля и управления доступом с выводом рабочих автоматизированных систем в оптимальное место размещения.

На рис. 3 показана структурная схема системы контроля и управления доступом. Сервер ИСО, автоматизированные системы (АС 1 и АС 2), Ethernet преобразователь интерфейсов, подключены к локальной вычислительной сети. К контроллеру подключаются конечные устройства: считыватель, замок, датчик прохода, кнопка и т.д. Всю полученную информацию обрабатывает сервер ИС, в случае потери связи с сервером система продолжает функционировать.

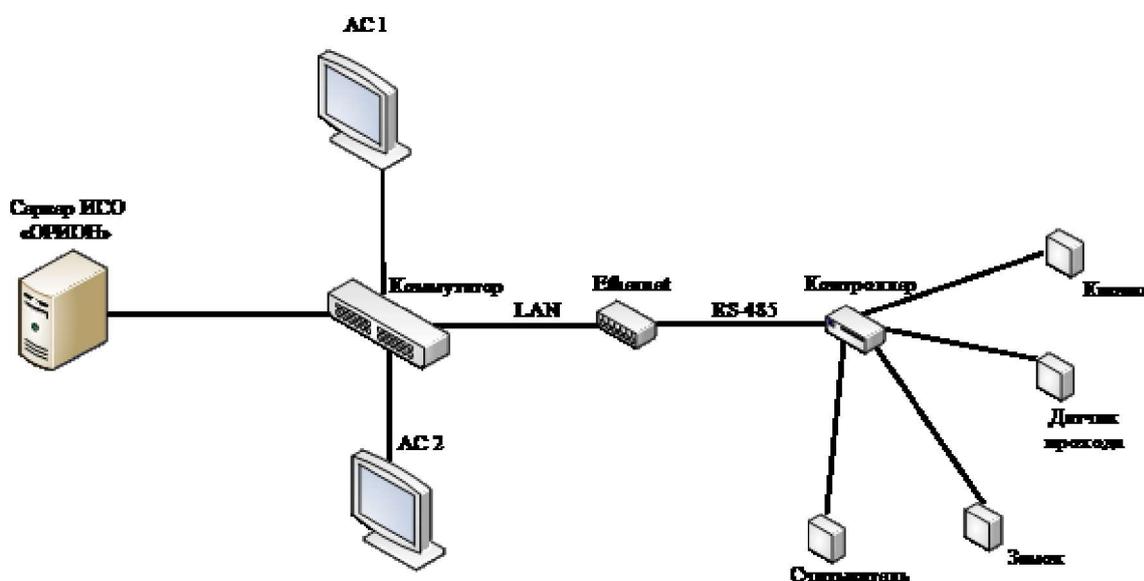


Рис. 3. Структурная схема системы контроля и управления доступом

На рис. 4 изображено технико-экономическое обоснование разработки, и внедрения ИТСО следует выполнять по критерию «Эффективность-стоимость». При стоимости « $C(F)$ » базового комплекта на основе ядра с набором функций « F » дополнение к ядру на величину $C(F)+N$ с дополнительными приобретаемыми средствами поставщика или включение собственных организационных ресурсов, созданных предприятием (« R »), достижение нового качественного эффекта (« $\mathcal{E}\%$ » в пределах 1...5) потребует несущественных затрат, непропорциональным новым показателям защищенности объекта.

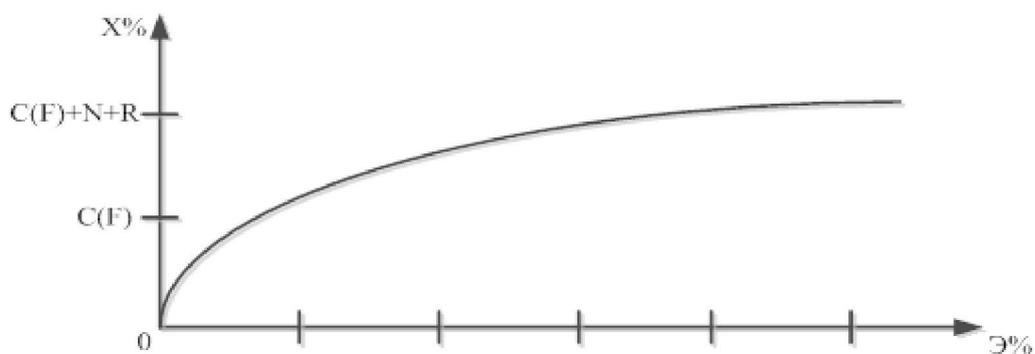


Рис. 4. Технико-экономическое обоснование разработки, и внедрения ИТСО

Выводы

В бортовых автономных информационных и управляющих системах основная составная часть – сенсоры, работающие на различных физических принципах. Далее для принятия решения используется вторичная обработка сигналов и информации в элементах процессорной платформы.

Предлагается на первом этапе исследования оптимизировать состав и характеристики двух данных компонентов.

В качестве сертифицированного оборудования и программного обеспечения, пригодного для дальнейшего модульного наращивания в качестве ядра рекомендуется интегрированная система безопасности централизованного класса.

Система обеспечивает:

- модульную структуру, позволяющую оптимально оборудовать распределенные объекты;
- защиту информационных потоков защищаемого объекта;
- контроль и управление доступом (управление преграждающими устройствами типа шлагбаум, турникет, ворота, шлюз, дверь и т. п.);
- видеонаблюдение и видеоконтроль охраняемых объектов всего предприятия;
- взаимодействие с инженерными системами зданий;
- сбор, обработку, передачу, отображение и регистрацию извещений о состоянии шлейфов инфраструктуры (охранная, тревожная и пожарная сигнализации);

-защищенный протокол обмена по каналу связи между приборами и ядром.

С учетом новых угроз интегрированная система должна постоянно совершенствоваться с соблюдением нормативных документов [4]. В этом плане необходимо дополнять базовую конфигурацию дополнительными компонентами поставщика оборудования с привлечением собственных организационных ресурсов. При этом по критерию «Эффективность-Стоимость» выигрыш в защищенности предприятия превышает дополнительные затраты в 3-5 раз.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Волков В.Г. Физико -технические основы построения телевизионных приборов ночного видения; Спецтехника, 2002.
2. Волков В.Г. Повышение эффективности разработок приборов ночного видения; Спецтехника, 2005.
3. Khan, Rasib, et al., “Modeling a Secure Supply Chain Integrity Preservation System,” in Proceedings of the 2013 IEEE International Conference on Technologies for Homeland Security, IEEE, Piscataway, NJ, 2013.
4. ГОСТ Р 55250—2012 Воздушный транспорт. Аэропорты. Технические средства контроля доступа и инженерно-технические средства охраны. Общие технические требования.

© Д. Е. Демидов, В. Н. Легкий, И. Д. Фисун, А. Р. Читава, 2017

УДК 681.2.083 ; 621.375.826 (075.8)

АНТЕННАЯ РЕШЕТКА ДЛЯ ИНТЕГРИРОВАННЫХ ЛОКАЦИОННЫХ СИСТЕМ С ЦИФРОВЫМ ПРОСТРАНСТВЕННЫМ ДИАГРАММООБРАЗОВАНИЕМ

Мария Александровна Адушинова

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, магистрант кафедры автономных информационных и управляющих систем, тел. (383)346-26-23, e-mail: mary14061994@gmail.com

Любовь Васильевна Шебалкова

АО «Научно-исследовательский институт электронных приборов», 630005, Россия, г. Новосибирск, ул. Писарева, 53, ведущий инженер-руководитель группы; Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, старший преподаватель, тел. (383)216-05-48, e-mail: lvsheb@list.ru

Валерий Григорьевич Эдвабник

АО «Научно-исследовательский институт электронных приборов», 630005, Россия, г. Новосибирск, ул. Писарева, 53, заместитель генерального директора по развитию, чл.-корр. РАН, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, тел. (383)216-05-63, e-mail: niier@oaoiiier.ru; Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, профессор кафедры АИУС, тел. (383)346-26-23

Владимир Николаевич Легкий

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, доктор технических наук, доцент, зав. кафедрой автономных информационных и управляющих систем, тел. (383)346-26-23, e-mail: sniios@mail.ru

Рассматриваются интегрированные локационные системы, использующие СВЧ и оптические каналы обнаружения и сопровождения объектов. Математически моделируется принцип формирования диаграммы направленности цифровой антенной решеткой. На основе данных моделирования показаны преимущества цифрового диаграммообразования с точки зрения адаптации к помехам и оптимизации основных характеристик антенной решетки при обработке сигналов для последующего анализа трехмерных локационных изображений.

Ключевые слова: фазированная антенная решетка, интегрированные локационные системы, диаграмма направленности, компьютерная оптика, цифровое диаграммообразование, моделирование, фазовращатель.

INTEGRATED LOCATION SYSTEMS ANTENNA ARRAY WITH DIGITAL BEAMFORMING

Maria A. Adushinova

Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia, Novosibirsk, 20 K. Marksa Prospekt, undergraduate Department Autonomous Information and Control Systems, tel. (383)346-26-23, e-mail: mary14061994@gmail.com

Lyubov V. Shebalkova

Joint-Stock Company «Scientific Research Institute on Electronic Devices», 630005, Russia, Novosibirsk, 53 Pisareva St., leading engineer-team manager, Novosibirsk State Technical University,

630073, Russia, Novosibirsk, 20 K. Marksa Prospekt, senior lecturer of AICS Department, tel. (383)216-05-48, e-mail: lvsheb@list.ru

Valery G. Edvabnik

Joint-Stock Company «Scientific Research Institute on Electronic Devices», 630005, Russia, Novosibirsk, 53 Pisareva St., Deputy General Director for development, Corresponding member of Russian Academy of Missile and Ammunition Sciences, Ph. D., Senior Researcher, tel. (383)216-05-63, e-mail: niiep@oaoniiep.ru; Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia, Novosibirsk, 20 K. Marksa Prospekt, Professor at the Department of AICS, tel. (383)346-26-23

Vladimir N. Legkiy

Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia, Novosibirsk, 20 K. Marksa Prospekt, D. Sc., associate Professor, Head of the Department Autonomous Information and Control Systems, tel. (383)346-26-23, e-mail: sniios@mail.ru

The article describes the integrated location systems with radar and lidar channels for target detection and tracking. Antenna array digital beamforming principles are formulated. The digital beamforming advantages in clutter and jamming adaptation and radiation pattern optimization with 3D imaging processing are described.

Key words: phased antenna array, integrated location systems, radiation pattern, computer optics digital beamforming, simulation, phase shifter.

Цифровое управление пространственными характеристиками лазерных локационных систем и адаптивная компьютерная обработка принимаемых сигналов, как раздел компьютерной оптики, интенсивно развивается, начиная с 1980-х годов [1]. Реализованы: адаптивный прием лазерных локационных сигналов, автоматическое измерение параметров объекта локации, оценка случайных условий работы и помеховых факторов. Разработаны методы коррекции волнового фронта (в т.ч. адаптивная фазовая коррекция атмосферных искажений), обработки траекторных измерений, способы получения некоординатной информации, включая голографическую, интерферометрическую и адаптивную.

Уровень задач, решаемых в радиоэлектронных системах (РЭС) для радиолокации, радиосвязи, радиоэлектронного противодействия таков, что в этих системах должна применяться цифровая обработка сигнала. Переход от аналоговых фазированных антенных решеток (ФАР) к цифровым (ЦАР) позволяет обеспечить многофункциональность, помехозащищенность, интегрирование радиолокационных и оптико-электронных средств контроля пространства и сопровождения обнаруживаемых объектов.

Интеграция возможностей компьютерной оптики в лазерных системах и принципов цифрового диаграмообразования и обработки сигналов в СВЧ диапазоне позволяет говорить о создании двухспектральных ИНТЕГРИРОВАННЫХ ЛОКАЦИОННЫХ СИСТЕМ большой, средней и малой дальности на базе единой цифровой платформы управления.

В данной работе рассматривается радиолокационный сегмент интегрированной информационной системы (комплекса).

В настоящее время цифровые диаграммообразующие схемы становятся доступными благодаря достижениям в области СВЧ-электроники, многокристальной электроники АЦП и ЦАП, сверхбыстродействующей цифровой и компьютерной электроники. Их применение позволяет повысить быстродействие и эффективность перспективных систем, разрабатываемых для гражданской и оборонной отраслей.

Сложность реализации ФАР определяется необходимостью применения новейшей элементной базы. Первые разработки этого метода формирования диаграмм направленности (ДН) были проведены еще в 70х годах, тогда АЦП и ЦАП были достаточно редкими и дорогими элементами схем, поэтому ЦАР считалась эффективными, но дорогими по стоимости. В начале 2000-х годов ведутся работы по цифровому формированию луча для радиолокационных систем, в которых описываются математические данные и некоторые экспериментальные данные цифровому диаграммообразованию (ЦДО).

Ранее существовали также проблемы по реализации систем на частотах выше мегагерцового диапазона, связанные с элементной базой ЦАР [2-5]. Эта проблема была решена, в том числе и российскими разработчиками НИИ дальней радиосвязи. При этом сигнал преобразовывается на промежуточную частоту, а затем переводится в цифровой. Сейчас эта проблема решается с помощью гетеродинирования. Проблема межканального рассогласования решается несколькими способами, например, фокусировкой на специальную антенну.

Но если все же посмотреть на современные достижения в области СВЧ-техники, электроники, цифровой компьютерной техники и технологий их производства, то можно с уверенностью утверждать, что стоимость указанных элементов будет соизмерима со стоимостью аналоговых компонент.

Следует рассмотреть преимущества, которые дает ЦДО. У современных РЛС, работающих с ФАР, существует недостаток, связанный с управлением лучом. Фазовращатели, управляющие положением луча, имеют свою разрядную сетку – порядка 3-4 разрядов. Из-за этого заданные параметры ДН существенно искажаются. Для более четкого представления подобных явлений была создана математическая модель, в состав которой входят некоторые функции, которые позволили наглядно представить поведение диаграммы направленности (ДН) в зависимости от выбранного разряда управления фазами. В основе расчета значений диаграммы направленности лежит сумма всех произведений амплитуд и фаз.

Фазы на каждом элементе высчитываются посредством направляющих косинусов, исходя из заданного нами направления главного луча, которое задается с округлением до ближайшего разряда фазовращателя.

В качестве примера на рис. 1 приведена ДН планарной ЦАР размером 10×10 элементов, с длиной волны $0,1$ м и полуволновым расстоянием между элементами. При разных разрядностях фазовращателя в диаграмме направленности ЦАР возникают искажения, которые сказываются на точности управления лучом и адаптации РЛС к помеховой обстановке. В результате снижается помехоустойчивость комплекса. Отсюда можно сделать вывод, что применение ЦДО позволит более точно определять направление помехи и максимально ослаблять ее [6,7].

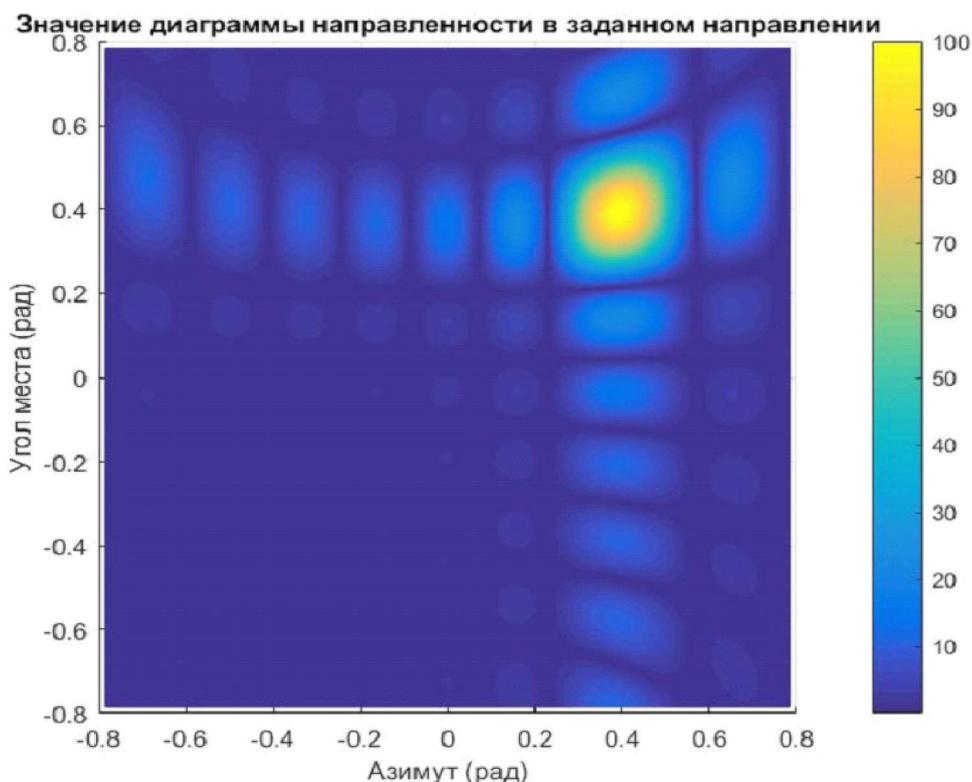


Рис. 1. ДН планарной ЦАР размером 10×10 элементов

Еще одно преимущество связано с гибкостью цифровой обработки информации. Как известно, импульс на антенную решетку подается не всегда равномерно. Амплитудное распределение позволяет формировать форму луча. В РЛС, как правило, стоит сумматор, который и определяет постоянное амплитудное распределение сигнала для пространственной диаграммы направленности. В принципе работы цифровой решетки заложено предположение, что сигнал после приемника проходит сначала через АЦП, затем вся обработка происходит уже в цифровом виде. Поэтому требуется задать амплитудное распределение подходящим математическим законом, а в результате получить диаграмму направленности антенны (рис. 2).

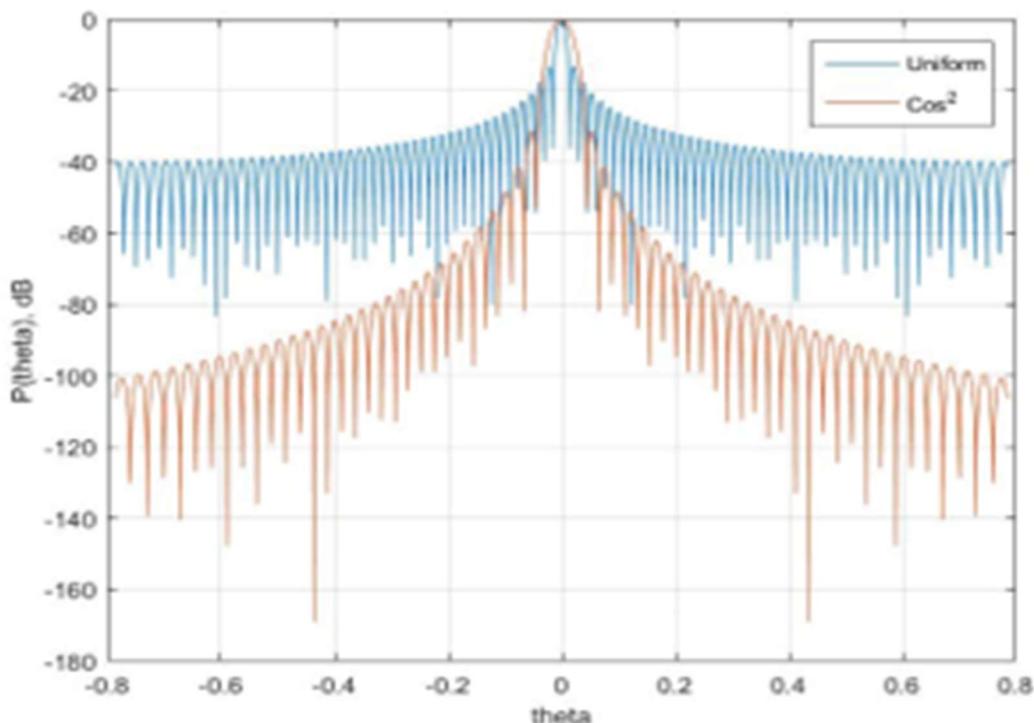


Рис. 2. Диаграмма направленности антенны

Исходя из вышесказанного, можно предположить, что сейчас ЦАР должны активно использоваться в оборонных и гражданских отраслях, системах спутниковой связи.

Выводы:

Рассмотрены перспективы развития двухспектральных интегрированных локационных измерительных комплексов с цифровой пространственной обработкой сигналов и компьютерным диаграммообразованием.

Базовым физическим принципом работы СВЧ и оптического систем являются дифракционные подходы к радиотехнике и оптике, цифровые информационные технологии.

Применение ЦАР обусловлено малым весом и габаритными размерами, повышением помехозащищенности и энергетического потенциала радиолокационной системы в целом. Описаны принципы построения и модель цифровой антенной решетки для оптимизации пространственных характеристик СВЧ радиолокационного сегмента интегрированного комплекса.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лазерная локация / И. Н. Матвеев, В. В. Протопопов, И. Н. Троицкий, Н. Д. Устинов Под редакцией Н.Д. Устинова . – М. : Издательство «Машиностроение», 1984. – 272 с.
2. Активные фазированные антенные решетки. Под ред. Д. И. Воскресенского. М.: радио и связь. 2004, - 488 с.

3. Слюсар В. И. Цифровые антенные решетки: Аспекты развития // Специальная техника и вооружение. - 2002. - № 1,2. С. 17–23.
4. Григорьев Л. Н. Цифровое формирование диаграммы направленности в фазированных антенных решетках. Москва. Радиотехника. 2010, 144 с.
5. Кузьмин С. З. Цифровая радиолокация: Введение в теорию. Киев. Кв іц. 2000, 428 с.
6. Адушинова М. А. Применение аналого-цифрового преобразования при формировании диаграммы направленности в фазированных антенных решетках. // XVI Всеросс. конференция «Наука. Промышленность. Оборона.» – Новосибирск, НГТУ, 2015.– С. 5–9.
7. Анализ преимуществ цифрового диаграммообразования в фазированных антенных решетках / М.А. Адушинова, А.С. Коваленко, А.А. Слободяненко, В.С. Семенихин / XVII Всеросс. Конференция Наука. Промышленность. Оборона. – Новосибирск, НГТУ, 2016. – С. 160 –

© М. А. Адушинова, Л. В. Шебалкова, В. Г. Эдвабник, В. Н. Легкий, 2017

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ, ПРОТЕКАЮЩИХ ПРИ ВЫСОКОСКОРОСТНОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ УДАРНИКОВ НА ОСНОВЕ ФТОРПОЛИМЕРОВ С ПРЕГРАДАМИ НА ОСНОВЕ АЛЮМИНИЯ

Евгений Александрович Хмельников

Нижнетагильский технологический институт (филиал) Уральского федерального университета, 622000, Россия, г. Нижний Тагил, пр. Мира, 54, доктор технических наук, зав. кафедрой «Специальное машиностроение», тел. (3435)42-09-18, e-mail: khmelnikov7@gmail.com

Константин Владимирович Смагин

Нижнетагильский технологический институт (филиал) Уральского федерального университета, 622000, Россия, г. Нижний Тагил, пр. Мира, 54, ассистент кафедры «Специальное машиностроение», тел. (3435)42-09-18, e-mail: smaginkv@mail.ru

Татьяна Евгеньевна Заводова

Нижнетагильский технологический институт (филиал) Уральского федерального университета, 622000, Россия, г. Нижний Тагил, пр. Мира, 54, зав. лабораторией кафедры «Специальное машиностроение», тел. (3435)42-09-18, e-mail: tanushka-zavodova@yandex.ru

В статье представлен метод расчета кинематических характеристик проникания фторопластового снаряда в алюминий содержащую преграду с учетом происходящей химической реакции между фторопластом и алюминием. Учет кинематических характеристик проводился с помощью метода крупных частиц. Учет химической реакции проводился с помощью метода Counterflow Diffusion Flame. Приведены результаты расчетов. Найдены расчетные местные скорости смешанных ячеек, зависимости давлений в смешанной ячейке от времени для различных скоростей проникания.

Ключевые слова: фторопластовый снаряд, алюминий содержащая преграда, метод крупных частиц, противоточное диффузионное пламя, расчет кинематических характеристик, расчет химического взаимодействия.

NUMERICAL MODELING OF HIGH-SPEED INTERACTION PROCESSES BETWEEN FLUOROPOLYMER PROJECTILES AND ALUMINUM-BASED TARGETS

Evgeny A. Khmelnikov

Nizhny Tagil Technical Institute (branch) Ural Federal University, 622000, Russia, Nizhny Tagil, 54 Mira St., D. Sc., Head of the Department «Special Engineering», tel. (3435)42-09-18, e-mail: khmelnikov7@gmail.com

Konstantin V. Smagin

Nizhny Tagil Technical Institute (branch) Ural Federal University, 622000, Russia, Nizhny Tagil, 54 Mira St., assistant of the Department «Special Engineering», tel. (3435)42-09-18, e-mail: smaginkv@mail.ru

Tatiana E. Zavodova

Nizhny Tagil Technical Institute (branch) Ural Federal University, 622000, Russia, Nizhny Tagil, 54 Mira St., Head of the laboratory of the Department «Special Engineering», tel. (3435)42-09-18, e-mail: tanushka-zavodova@yandex.ru

The paper presents a method for calculating the kinematic characteristics penetration of PTFE projectile into the aluminum target considering the chemical reaction between PTFE and aluminum. Accounting of kinematic characteristics was conducted by the method of large particles. Accounting of the chemical reaction was carried out by the method of Counterflow Diffusion Flame. The results of the calculations are given. Qualitative and quantitative agreement results of the calculation fit with the experimental data.

Key words: PTFE striker, aluminum-based target, method of large particles, counterflow diffusion flame, calculation of chemical interaction, calculation of kinetic energy.

При проведении исследований авторами была обнаружена химическая экзотермическая реакция [1,2], проходящая при ударе фторопластового ударника об алюминий содержащую преграду на скоростях встречи более 600 м/с.

Целью исследования является подбор физико-математической модели, адекватно отражающей условия динамического взаимодействия фторопластового ударника с преградами из алюминиевых сплавов.

Для сравнения результатов расчетов был поставлен численный эксперимент с одинаковыми входными параметрами, соответствующими параметрам эксперимента. Расчеты проводились без учета дополнительной энергии, выделяющейся при химической экзотермической реакции, а также для различных моделей, описывающих упругопластическое деформирование ударника и преграды (модели Джонсона-Кука, Мизеса, Глушака Б.Л.) и для различных уравнений состояния материалов (Глушака Б.Л., Забабахина, Ми-Грюнайзена, Мизеса) [3].

Появление сажи на поверхности преграды, а также наличие фторидов алюминия показывают, что в процессе проникания идет интенсивная окислительная реакция материала преграды.

При этом слои материала преграды и деформирующегося бойка движутся параллельно. Процессы параллельного окисления были рассмотрены на различного рода газовых смесях и сформированы в методе Counterflow Diffusion Flame (CDF), впервые предложенном Цудзи и Ямаока [4].

Ламинарное противоточное диффузионное пламя устанавливается в передней критической области проникающего фторопластового снаряда в алюминий содержащую преграду (рис. 1).

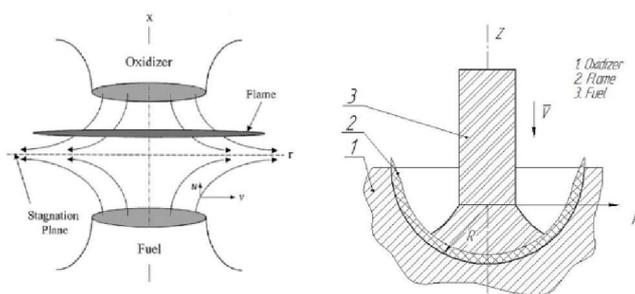


Рис. 1. Схема возникновения противоточного диффузионного пламени при проникании фторопластового ударника в алюминий содержащую преграду. Скорость потока окислителя (фторопласта) можно рассчитать, как радиальный компонент скорости срабатывающей части снаряда. Образующая боковой

поверхности ударника, как показатели экспериментальные результаты, хорошо описывается в цилиндрической системе координат ORZ уравнением вида

$$ZR^n = const \quad (1)$$

где $n > 0$ - показатель степени, зависящий от материала ударника и условий его деформирования. Полагая, что уравнение линий тока для скорости частиц материала ударника в процессе его деформирования также будет описываться уравнением (1). Найдем функциональную связь между осевой g_z и радиальной g_r компонентами скорости данной частицы материала:

$$g_r = -\frac{R}{nZ} g_z \quad (2)$$

Уравнение состояния для скорости реакции может быть преобразовано в простую форму:

$$w_i = -\rho D (g_r \xi)^2 \frac{d^2 Y_i}{d\xi^2} \quad (3)$$

где w_i является чистой скоростью реакции (масса на единицу объема в секунду), g_r – единая скорость потока окислителя и D – молекулярная диффузия.

Отличительной чертой этого уравнения является то, что для получения скорости химической реакции необходимы измерения только состава и температуры. Необходимые параметры температуры мы получаем при решении задачи упруго-пластики в каждой ячейке.

Для учета влияния химической энергии на процесс проникания в метод крупных частиц введен блок расчета тепловыделения по модели CDF.

Важным этапом, на котором возникает химическая реакция, является создание смешанной ячейки, в которой появляются продукты реакции в виде фторида алюминия. Возникновению этой реакции способствует давление, возникающее на поверхности контакта. Проведенный расчет позволил оценить величину возникающих давлений (рис. 2). Анализ показывает, что максимальные давления значительно превышают величину предельных давлений, при которых возбуждается химическая реакция (200 Мпа) [5].

Для определения скорости химической реакции был проведен анализ радиальных скоростей течения фторопласта (рис. 3).

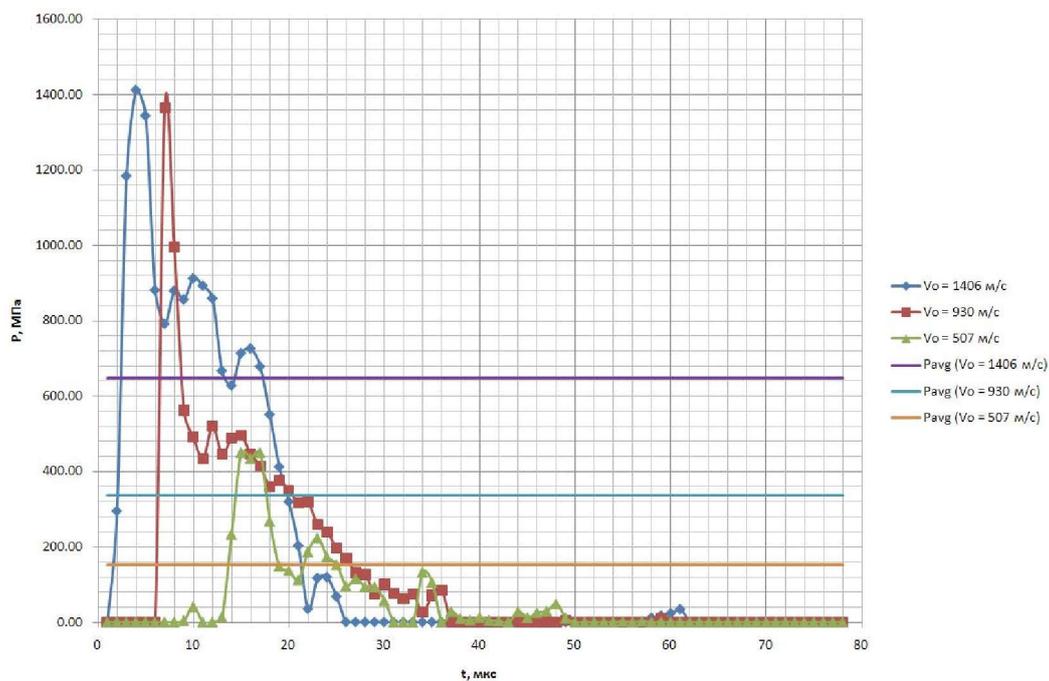


Рис. 2. Давления, возникающие на границе контакта в смешанных ячейках, МПа

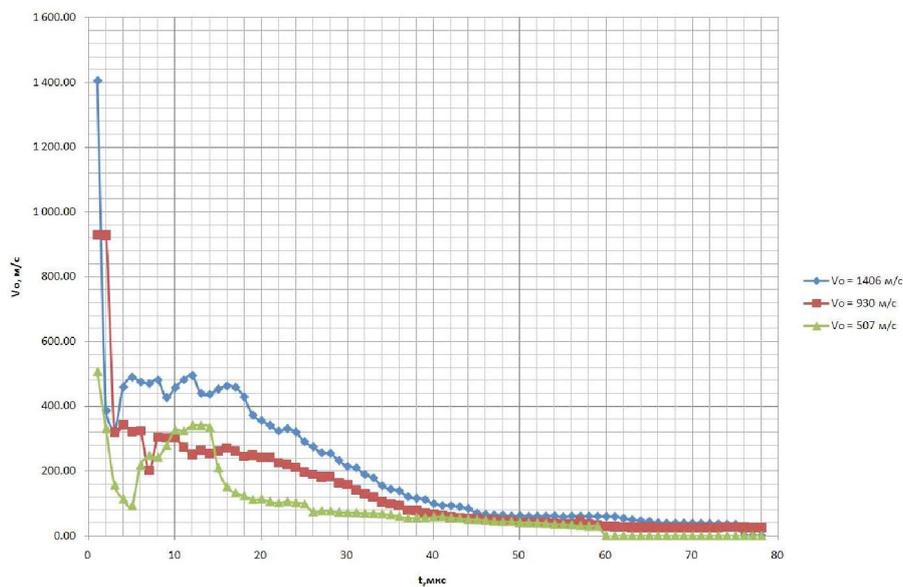


Рис. 3. Радиальные скорости течения фторопласта в смешанной ячейке, м/с

Анализ показывает, что применение метода МКЧ-CDF позволяет получить результаты, которые качественно и количественно совпадают с результатами эксперимента.

Выводы

1. Исследование процесса деформирования фторпластового ударника на преграде содержащей алюминий с учетом процесса параллельного окисления позволило разработать комбинированный метод расчета этого процесса.

2. Предложенный метод позволяет учитывать результаты проникания фторопласта в алюминий содержащие преграды в широком диапазоне скоростей проникновения с высокой степенью точности (погрешность составляет менее

3. Результаты делают возможным применение этого метода для расчета проникания других взаимодействующих пар, таких как фторопласт-титан.

4. Анализ результатов показывает, что при таких условиях взаимодействия химическая реакция не реализуется в полной мере. Повышение количества полезно используемой химической энергии возможно при использовании смесей, полученных путем механического перемешивания алюминиевых и фторопластовых nano частиц, в качестве материала ударника. Ударник может быть получен компрессионным обжатием механо-активируемой смеси.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Khmelnikov, E.A.; Styrov, A.V.; Smagin, K.V.; Rudenko, V.L. etc.; 27th International Symposium on Ballistics, Vol.2, 2013, 1264.

2. Khmelnikov, E.A.; Derebenko, A.V. etc; New Models and Hydrocodes for Shock Wave Processes in Condensed Matter, Lisbon, Portugal, 2008, 103.

3. Khmelnikov, E.A.; Styrov, A.V.; Smagin, K.V.; Kravchenko, N.S etc.; Defence Technology, Vol. 11, Issue 1, 2015, 56.

DOI: 10.1016/j.dt.2014.09.006

4. Hiroshi Tsuji, Counterflow diffusions flames. 1982. Institute of Interdisciplinary Research, Faculty of Engineering, The University of Tokyo, Komaba, Merguro-Ku, Tokyo 153, Japan

5. Стыров А.В., Селиванов В.В., Осипов А.И., Хмельников Е.А. Исследование процесса взаимодействия алюминия с фторопластом в условиях высокоскоростного соударения // Тез. докл. XIII Всесоюз. семинара Электрофизика горения. - Чебоксары, 1990

© Е. А. Хмельников, К. В. Смагин, Т. Е. Заводова, 2017

КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ КАНАЛОВ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОЙ БОРТОВОЙ ЛОКАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ С ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКОЙ СИГНАЛОВ

Мария Владимировна Орлова

АО «Научно-исследовательский институт электронных приборов», 630005, Россия, г. Новосибирск, ул. Писарева, 53, кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник, тел. (383)216-05-68; Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск пр. К. Маркса, 20, доцент кафедры АИУС, тел. (383)216-05-68, e-mail: onp_aius@mail.ru

Валерий Григорьевич Эдвабник

АО «Научно-исследовательский институт электронных приборов», 630005, Россия, г. Новосибирск, ул. Писарева, 53, заместитель генерального директора по развитию, чл.-корр. РАН, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, тел. (383)216-05-63, e-mail: niier@oanpiier.ru; Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, профессор кафедры АИУС, тел. (383)346-26-23

Олег Валерьевич Санков

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, старший преподаватель кафедры АИУС, тел. (383)346-26-23, e-mail: sankov-o@mail.ru

Владимир Николаевич Легкий

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, доктор технических наук, доцент, зав. кафедрой автономных информационных и управляющих систем, тел. (383)346-26-23, e-mail: sniiios@mail.ru

Системы ближней локации работают в условиях воздействия различных помех, поэтому актуально комплексирование информационных каналов с различными физическим принципами действия. Разработана методика оценки характеристик комплексированной системы и выбора характеристик радиолокационного канала, оптического дальномера и магнито-метрического канала (феррозондовый датчик), позволяющая оценить выигрыш в достоверности обнаружения объекта.

Ключевые слова: комплексированная бортовая система, ближняя локация, радиоканал, оптоэлектронный дальномер, магнитный датчик, помехоустойчивость, алгоритмы обнаружения, характеристики обнаружения.

ON-BOARD ANTIJAMMING LOCATION SYSTEM CHANNELS COMPLEXING WITH DIGITAL PROCESSING

Maria V. Orlova

Joint-Stock Company «Scientific Research Institute on Electronic Devices», 630005, Russia, Novosibirsk, 53 Pisareva St., Ph. D., Associate Professor, Senior Researcher, tel. (383)216-05-68; Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia, Novosibirsk, 20 K. Marksa Prospekt, Associate Professor at the Department of AICS, tel. (383)216-05-68

Valery G. Edvabnik

Joint-Stock Company «Scientific Research Institute on Electronic Devices», 630005, Russia, Novosibirsk, 53 Pisareva St., Deputy General Director for development, Corresponding member of Russian Academy of Missile and Ammunition Sciences, Ph. D., Senior Researcher, tel. (383)216-05-63,

e-mail: niiep@oaoniep.ru; Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia, Novosibirsk, 20 K. Marksa Prospekt, Professor at the Department of AICS, tel. (383)346-26-23

Oleg V. Sankov

Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia, Novosibirsk, 20 K. Marksa Prospekt, Senior Lecturer of the Department of AICS, tel. (383)346-26-23, e-mail: sankov-o@mail.ru

Vladimir N. Legkiy

Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia, Novosibirsk, 20 K. Marksa Prospekt, D. Sc., associate Professor, Head of the Department Autonomous Information and Control Systems, tel. (383)346-26-23, e-mail: snios@mail.ru

Short-range location systems operate in various jamming conditions, so the diverse operating mode information channels complexing is an important problem. The complexing system performance evaluation procedure and radar channel, optical rangefinder channel and magnetic measurement (ferroprobe sensor) channel performance optimization procedure are proposed. These procedures applying is able to estimate detection probability gain.

Key words: short-range location, on-board system, complexing, antijamming capability, optoelectronic rangefinder, magnetic sensor, detection algorithms, detection capabilities.

Одной из актуальных задач при разработке локационных систем является повышение характеристик обнаружения при воздействии различного вида помех. Применение комплексирования, то есть, совместной обработки информации, поступающей с нескольких каналов, позволяет повысить помехоустойчивость и надежность системы.

Совместная обработка аналоговых реализаций дает большой выигрыш в помехоустойчивости только в том случае, когда помехи, поступающие с выходов приемников различных каналов, коррелированы между собой [1, 2]. Если реализации помехи с выходов каналов между собой не коррелированы, например, в том случае, когда в каналах используются различные физические принципы действия, обработку принятых реализаций целесообразно проводить в каждом канале отдельно, а результаты подавать на блок комплексирования для дальнейшей обработки. Это может быть использовано также в том случае, когда в качестве информационных каналов комплексированной системы используются уже разработанные автономные локаторы. При этом в каждом канале принимается предварительное решение об обнаружении объекта, и в результате совместной обработки решений принимается окончательное решение об обнаружении. Могут использоваться датчики различного принципа действия (радиолокационный, оптический, магнитный). Например, разработанные на кафедре АИУС НГТУ наносекундный лазерный измеритель расстояния [3,6,7,8], рис. 1, и феррозондовый двухкоординатный датчик металлосодержащих целей [5], рис. 2, способны решать задачи обнаружения объекта и измерения расстояния до него на фоне подстилающей поверхности.



Рис. 1. Экспериментальный образец лазерного дальномера - высотомера (диапазон 1-32 м, погрешность 10 %) с длительностью излучаемого импульса 2 нс, период измерения менее 50 мкс, габаритные размеры 25 × 50 × 50 мм

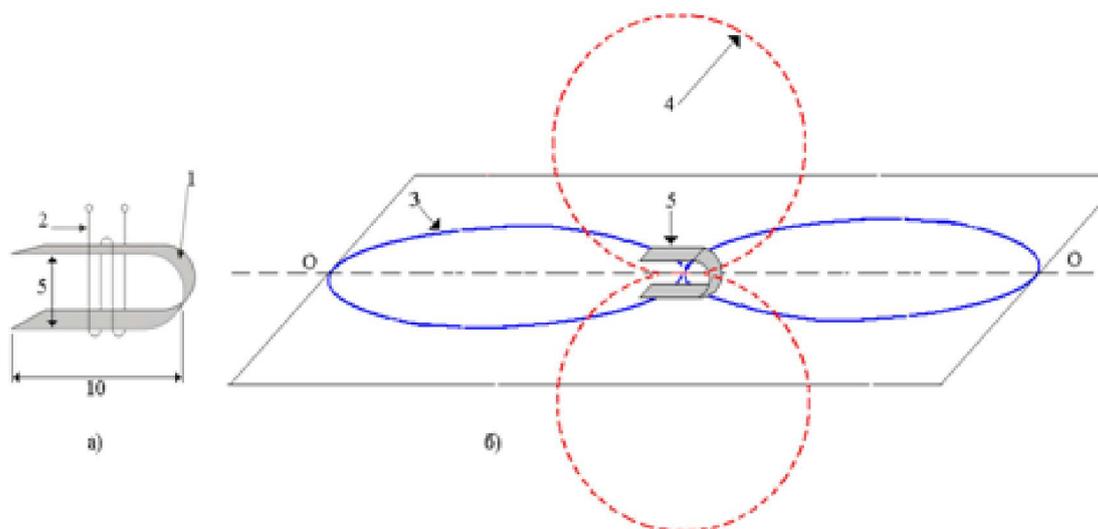


Рис. 2. а) феррозондовый двухкоординатный датчик металлосодержащих объектов, б) диаграммы направленности, позволяющие фиксировать момент пролета: 1 – сердечник датчика, 2 – измерительная катушка, 3, 4 – диаграммы направленности в продольной и поперечной плоскостях, 5 – датчик высотой 5 мм при длине 10 мм

Важное перспективное направление – создание многофункциональных устройств управления (МФУУ), работающих в радиочастотном и оптическом диапазонах, позволяет создать эффективные комплексы. МФУУ включает в себя систему датчиков для обнаружения объектов, информационный канал (автономный или спутниковый), цифровую процессорную платформу, элементы управления действием компонентов носителя. Датчики (каналы получения данных) могут быть однотипными или разными по физическому.

Комплексированные системы обнаружения объектов применяются в сложной помеховой обстановке. При разработке алгоритмов обнаружения используются параметры сигналов от заданных объектов, а также характеристики помех, воздействующих на каналы МФУУ [1].

При обнаружении объекта n -й канал выдает напряжение $U_n = 1$, а при необнаружении – $U_n = 0$. Кроме того, каждый канал с определенной достоверностью фиксирует тип помехи. При фиксации воздействия на n -й канал помехи типа « k » этот канал вырабатывает напряжение $V_{nk} = 1$, иначе – $V_{nk} = 0$. Таким образом, обрабатываемая информация представляет собой вектор бинарных сигналов.

Алгоритм принятия решения об обнаружении может быть получен при использовании интегрального критерия идеального наблюдателя [4]. Под интегральным критерием идеального наблюдателя понимается условие минимума результирующей суммарной вероятности ошибки R_{nu} за весь интервал времени T , в течение которого ожидается появление полезного сигнала от объекта.

$$R_{nu} = \sum_{i=1}^{N_T} p_1(i) p_{ош}(i) = \min, \quad (1)$$

где $N_T = T/\Delta T$ – количество интервалов ΔT , равных длительности сигнала отраженного от объекта, T – общая длительность интервала обнаружения, в течение которого ожидается полезный сигнал; $p_{ош}(i)$ – результирующая суммарная вероятность ошибки, которая определяется через вероятность ложной тревоги до i -го интервала и вероятность пропуска на i -м интервале; $p_1(i)$ – вероятность появления сигнала на i -м интервале.

Для симметричного закона распределения вероятностей появления сигнала на интервалах ΔT относительно среднего интервала и при неизменяющихся параметрах системы в течение времени возможного появления сигнала от обнаруживаемого объекта алгоритм обнаружения может быть записан в виде [1]

$$\sum_{m=1}^M b_m W_{n+s}(\mathbf{V}, \mathbf{U} / m) \geq (N_{cp} - 1) \sum_{m=1}^M b_m W_n(\mathbf{V}, \mathbf{U} / m) \quad (2)$$

где M – возможное число помеховых ситуаций; b_m – априорная вероятность m -й помеховой ситуации; $W_{n+s}(\mathbf{V}, \mathbf{U}/m)$, $W_n(\mathbf{V}, \mathbf{U}/m)$ – условные вероятности принятия реализации $\mathbf{Y}(\mathbf{V}, \mathbf{U})$ при воздействии помехи совместно с сигналом и одной помехи соответственно; N_{cp} – средний интервал появления сигнала.

В том случае, когда реализации \mathbf{V} и \mathbf{U} на выходах, фиксирующих воздействие полезного сигнала и тип помех, независимы, алгоритм имеет вид

$$\sum_{m=1}^M b_m w_{hm} s_{gm} \geq (N_{cp} - 1) \sum_{m=1}^M b_m w_{hm} p_{gm} \quad (3)$$

где w_{hm} – вероятность принятия реализации h вектора \mathbf{V} на выходах, фиксирующих воздействие помехи определенного типа, при m -й помеховой ситуации; s_{gm} – вероятность принятия реализации g вектора \mathbf{U} на выходах, фиксирующих воздействие полезного сигнала, при воздействии сигнала совместно с помехой при m -й помеховой ситуации; p_{gm} – вероятность принятия реализации g при воздействии одной помехи при m -й помеховой ситуации.

Вероятности s_{gm} и p_{gm} определяются вероятностями правильного обнаружения и ложной тревоги для каждого канала для каждой из M помеховых ситуаций. Вероятности w_{hm} определяются вероятностями правильной селекции помехи каналами. Эти вероятности могут быть определены для каждого канала по результатам испытаний и моделирования работы каналов.

В соответствии с алгоритмом (3), на каждом интервале обнаружения принимается решение о принадлежности входной реализации к классу «сигнал плюс помеха» или к классу «помеха».

Разработанная программа оценки комплексированной системы позволяет исследовать характеристики обнаружения системы при различных вероятностях помеховых ситуаций и характеристиках каналов. Для оценки выигрыша за счет комплексирования сравниваются характеристики обнаружения двухканальной системы и отдельных каналов при воздействии помех двух типов. Например, на рис. 3 приведены зависимости вероятности обнаружения системы и отдельных каналов от вероятности ложной тревоги для первого канала, при условии воздействия помехи типа «А». На рис. 4 – зависимости от коэффициента N_{cp} в формуле (3), который определяет порог обнаружения. Как видно из графиков, отдельные каналы имеют невысокую вероятность обнаружения, в то время как двухканальная система обеспечивает гораздо более высокие характеристики обнаружения.

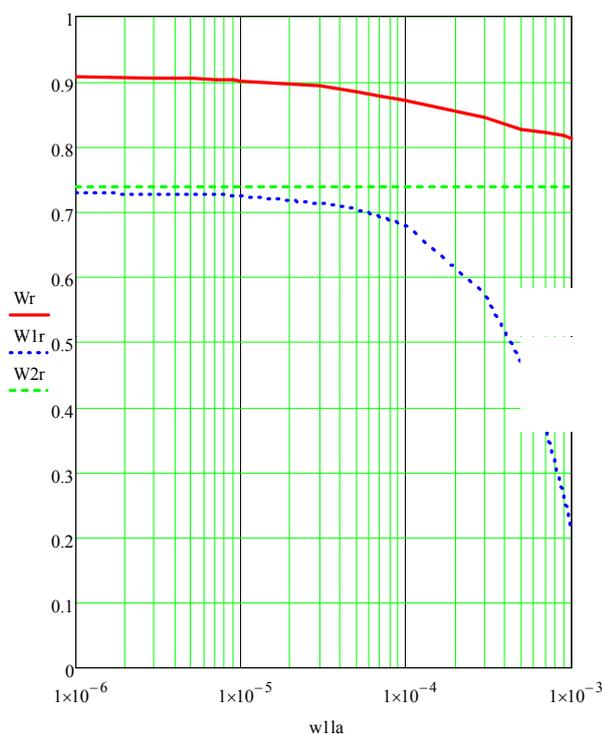


Рис. 3. Зависимости вероятности обнаружения от вероятности ложной тревоги первого канала при воздействии помехи типа «А»

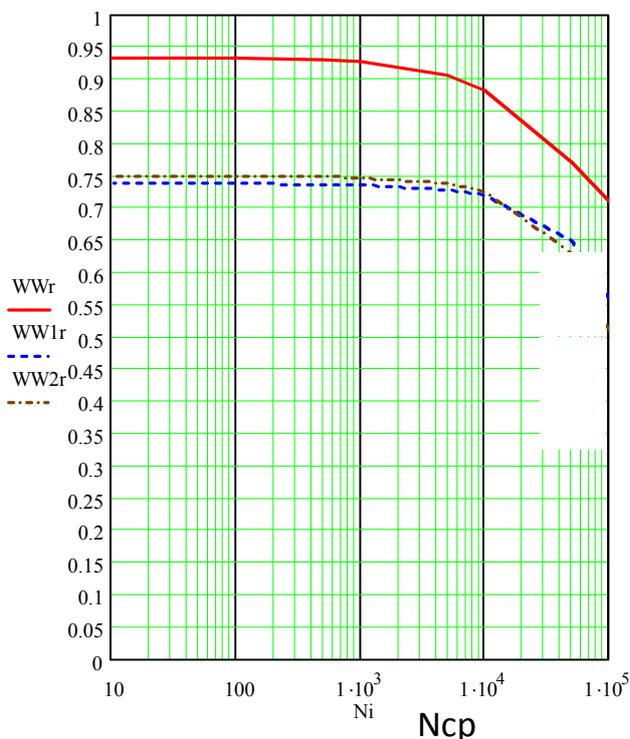


Рис. 4. Зависимости вероятности обнаружения двухканальной системы, 1-го и 2-го каналов от порогового коэффициента N_{cp}

Максимальный выигрыш за счет применения комплексирования достигается в том случае, когда каналы системы дополняют друг друга по помехоустойчивости. В зависимости от задачи, возможно рассмотрение помеховых ситуаций по отдельности для определения оптимальных характеристик каналов и исследования возможности корректировки алгоритма в процессе работы адаптивной системы. Полученные результаты могут применяться при разработке комплексированных систем для выбора параметров отдельных каналов и системы в целом, обеспечивающих максимальную эффективность действия МФУУ и комплекса в целом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Орлова М.В. Обработка сигналов в комплексированных системах ближней локации: учеб. пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2007. – 76 с.
2. Орлова М.В. Адаптивная компенсация помех в комплексированных системах ближней локации // Интерэкспо Гео-Сибирь – 2015. Сборник материалов международной научной конференции «СибОптика – 2015». – Новосибирск.: СГГА, 2015. – т. 5. № 3. С. 197 – 201.
3. Легкий В.Н., Помехоустойчивость импульсных оптоэлектронных дальномерных систем, “Безопасность информационных технологий”, МИФИ, 2002.-С.94-97.
4. Орлова М.В. Оптимизация обработки сигналов в комплексированных системах ближней локации одноразового действия // Труды вузов России. Радиоэлектроника. Санкт -Петербург. Выпуск 4, 2004. – С. 46 – 53.
5. Санков О.В., Легкий В.Н. Исследование феррозондовых датчиков магнитных объектов для систем ближней локации // Вестник МГТУ имени Н.Э. Баумана. - Москва, МГТУ имени Н.Э. Баумана, 2(75) 2009. - Сер. Машиностроение №2. - С. 90-102.
6. В.Н.Легкий, Б.В.Галун, С.А.Литвиненко, О.В.Санков, Шумейко В.А., И.Ю.Баласов, А.О.Башмаков. Принципы построения помехоустойчивых миниатюрных лазерных импульсных дальномеров, высотометров и датчиков для бортовых и транспортных систем // Оптический журнал. – Санкт-Петербург. Выпуск 78, №5, 2011. - С.64-69.
7. Легкий В.Н., Галун Б.В., Санков О.В. Оптоэлектронные элементы и устройства систем специального назначения. - Новосибирск: Издательство НГТУ, 2011. - 455 с.
8. Принципы построения помехоустойчивых миниатюрных лазерных импульсных дальномеров, высотометров и датчиков для бортовых и транспортных систем / В.Н.Легкий, Б.В.Галун, С.А.Литвиненко, О.В.Санков, В.А.Шумейко, И.Ю.Баласов, А.О.Башмаков // Оптический журнал. –2011.-Т. 78, №5. - С.64-69.

© М. В. Орлова, В. Г. Эдвабник, О. В. Санков, В. Н. Легкий, 2017

ПРИМЕНЕНИЕ ОРИЕНТАЦИИ ГРАДИЕНТА ЯРКОСТИ ДЛЯ АВТОСОПРОВОЖДЕНИЯ ЦЕЛЕЙ

Ирина Валентиновна Борисова

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, кандидат технических наук, доцент кафедры автономных информационных и управляющих систем, тел. (383)346-26-23, e-mail: i.v.borisova@corp.nstu.ru

Владимир Николаевич Легкий

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой автономных информационных и управляющих систем, тел. (383)346-26-23, e-mail: sniios@mail.ru

Сергей Александрович Кравец

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, аспирант кафедры автономных информационных и управляющих систем, тел. (383)346-26-23, e-mail: santoserg@yandex.ru

Рассматривается задача автосопровождения цели, находящейся на сложном естественном фоне. Предлагаемый метод основан на представлении каждой точки изображения ориентацией градиента яркости в локальной окрестности. В пространстве признаков эталон поэлементно сравнивается с фрагментами изображения. Для достижения устойчивого сопровождения применяется особое правило перезаписи эталона - динамическая мера близости.

Ключевые слова: обработка изображений, автосопровождение целей, направление градиента яркости, эталонный фрагмент.

APPLICATION OF THE GRADIENT ORIENTATION FOR AUTOMATIC TARGET DETECTION

Irina V. Borisova

Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia, Novosibirsk, 20 K. Marksa Prospekt, Ph. D., associate Professor of the Department Autonomous Information and Control Systems, tel. (383)346-26-23, e-mail: i.v.borisova@corp.nstu.ru

Vladimir N. Legkiy

Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia, Novosibirsk, 20 K. Marksa Prospekt, D. Sc., associate Professor, Head of the Department Autonomous Information and Control Systems, tel. (383)346-26-23, e-mail: sniios@mail.ru

Sergey A. Kravets

Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia, Novosibirsk, 20 K. Marksa Prospekt, graduate student, Department Autonomous Information and Control Systems, tel. (383)346-26-23, e-mail: santoserg@yandex.ru

In this paper we consider the problem of automatic tracking for targets in complex natural backgrounds. The proposed method is based on a representation of each pixel as the gradient orientation in its vicinity. The element wise comparison of the reference image and current fragment is performed in the space of the features. Target detection in each frame of the video sequence is performed. A

special rule overwriting the standard so-called dynamic proximity measure is used to achieve stable tracking.

Key words: image processing, target detection, gradient orientation, reference image.

Рассмотрим задачу автосопровождения цели, которая находится на сложном естественном фоне и имеет низкий контраст относительно фона. Элементы фона могут заслонять цель на некоторое время. Общая яркость изображения, а также его частей, может изменяться. Для таких изображений алгоритмы сопоставления изображений, использующие непосредственно полутоновую информацию, например, корреляционные методы, оказываются неэффективными. Избавиться от яркостной зависимости позволяет описание изображений в терминах фасетной модели [1].

Фасетная модель описывает изображение как совокупность наклонных фасетов, т.е. плоскостей, ближайших к локальной окрестности, в смысле некоторого критерия (например, метода наименьших квадратов). Фасеты составляют с горизонтальной плоскостью двугранный угол и характеризуются величиной угла наклона и ориентацией в плоскости координат.

Ориентация фасета в координатной плоскости совпадает с ориентацией вектора градиента яркости в данной локальной окрестности. В настоящее время ориентация градиента в окрестности используется для описания и распознавания изображений в таких известных дескрипторах как SIFT и HOG [2, 3]. Эти дескрипторы предполагают разбиение изображения объекта на фрагменты (блоки), в которых формируются гистограммы направлений градиентов. В данной задаче рассматриваются объекты небольшого размера, к которым не применяется фрагментация. Использование гистограммы направлений градиентов только по одному блоку дает низкие результаты сопоставления [4]. Поэтому рассматриваемый подход основан на поточечном сопоставлении с эталоном.

Разделим окрестности изображения на условные группы (классы) в зависимости от ориентации градиента яркости. Номер класса окрестности рассматриваемой точки изображения (нумерация классов может быть произвольной) принимается в качестве признака этой точки. Таким образом, формируется псевдоизображение, каждая точка которого кодируется номером класса окрестности.

Дискретные изображения, заданные на квадратной решетке, могут быть описаны моделью, использующей пять классов окрестностей: четыре из них соответствуют направлениям градиента яркости, составляющим углы 0 , $\pi/4$, $\pi/2$, $3\pi/4$ с горизонталью (беззнаковый градиент); пятый класс составляют окрестности с изотропной структурой.

Характеристики вектора градиента яркости могут быть получены различными методами, в том числе при обработке окрестности изображения пространственными дифференциальными операторами (например, операторами Собела или Превитта). Также хорошие результаты показал метод локальных анизотропных признаков (ЛАП) [5]. В методе ЛАП для каждой локальной окрестности находится спектр Фурье, и анализируются суммы элементов энергетического

спектра E_m и E_n - в направлении с максимальной энергией и в перпендикулярном направлении. Используя отношение E_n/E_m , окрестность проверяется на изотропность:

$$\begin{aligned} E_n/E_m < Q & - \text{анизотропность;} \\ E_n/E_m \pi Q & - \text{изотропность,} \end{aligned} \quad (1)$$

где Q – порог анизотропности.

Для анизотропных окрестностей направление с максимальной энергией определяет ориентацию градиента и класс окрестности.

Проблема выделения изотропных окрестностей очень важна при поточечном сопоставлении с эталоном. Если структура окрестности близка к изотропной, т.е. окрестность не имеет четко выраженной анизотропии спектра, то существует большая вероятность определения ложных направлений. Признак, соответствующий такой точке, будет неустойчив и может меняться под воздействием шумов. Поэтому окрестности такого вида следует рассматривать как изотропные. Для этого требуется корректно определить порог анизотропности Q . Эта процедура, названная «эффектом отскока» подробно описана в работе [5].

Мерой близости двух закодированных изображений одного размера служит компарационная функция:

$$S = \sum_j \sum_k \delta_{b(j,k)}^{a(j,k)}, \quad (2)$$

где $a(j, k)$ и $b(j, k)$ – элементы сравниваемых псевдоизображений, а δ – символ Кронекера $\delta_{b(j,k)}^{a(j,k)} = \begin{cases} 1, & a(j,k) = b(j,k) \\ 0, & a(j,k) \neq b(j,k) \end{cases}$.

Функция S дает количество совпадающих элементов закодированных изображений. Сравнивая закодированные эталон и текущие фрагменты анализируемого изображения в режиме двухкоординатного сканирования, получаем компарационную матрицу (КМ).

Компарационная матрица аналогична корреляционной матрице, но в ином пространстве признаков. Признаком точки теперь является не яркость, а направление перепада яркости. При сравнении эталонного и анализируемого изображений местоположение эталона и его координаты определяются по максимальному значению КМ.

Когда эталон сравнивается с фрагментом фона, количество совпавших элементов случайно. Предположим, что значения признаков равновероятны. Тогда значения «фоновых» элементов КМ подчиняются биномиальному распределению:

$$P(M, W, p) = \binom{W}{M} p^M q^{W-M}, \quad (3)$$

где W – площадь фрагментов, M – значение элемента КМ, p – вероятность совпадения классов в точке, q – вероятность несовпадения, $p+q=1$.

Для обнаружения цели фоновые элементы КМ должны иметь как можно меньшие значения при неизменной величине компарационного пика. Это достигается выбором такого порога анизотропности Q_0 , при котором пик распределения фоновых элементов максимально смещен влево по оси M . Этот порог называется точкой отскока [5] и определяет оптимальный режим работы для заданных изображения и эталона. Для того чтобы найти точку отскока, строится кривая смещения координаты максимума распределения значений элементов КМ для разных порогов Q .

Рассмотрим систему автосопровождения цели. Будем считать, что первый эталонный фрагмент уже имеется. Это фрагмент реального изображения, который указал оператор или выделила система обнаружения. После кодировки производится поиск цели посредством вычисления в режиме скользящего фрагмента компарационной меры близости текущего кадра с эталоном. Локация объекта производится по максимальному из полученных значений КМ. Обновление эталона происходит после каждого кадра. Если зафиксирован срыв слежения, то перезапись эталона запрещается до тех пор, пока цель не будет обнаружена.

Знание статистики КМ имеет еще одно важное следствие - возможность контроля достоверности результатов. Если компарационный пик лежит в области фоновых значений КМ, то результат нельзя принимать как достоверный. Основными причинами срыва слежения являются заслонение или затенение цели, а также попадание в эталон фрагментов окружающего фона.

Для устойчивого слежения и возможности продолжать автосопровождение в том случае, когда видна лишь часть цели или она на некоторое время совсем пропадает из поля зрения, используется динамическая мера близости (ДМБ) [6]:

$$D(j,k,1) = 1, \quad 1 \leq D(j,k,t) \leq K \quad \forall j,k$$

$$D(j,k,t) = \begin{cases} D(j,k,t-1) + \tau_1, & u(j,k,t) = u(j,k,t-1) \\ D(j,k,t-1) - \tau_2, & u(j,k,t) \neq u(j,k,t-1), \end{cases} \quad (4)$$

где $\tau_1, \tau_2 > 0$ – постоянные величины, t – количество перезаписей эталона, $u(j,k,t)$ – элемент (j,k) эталона на шаге t , K – пороговое значение, определяется количеством сравнений эталона, необходимых для получения установившейся матрицы.

Смысл динамической меры близости состоит в том, что элементы эталона, не изменяющие свое значение от кадра к кадру, будут иметь больший «вес» по сравнению с остальными. Таким образом, производится адаптация эталона к форме динамической цели. При исчезновении цели матрица D некоторое время сохраняет информацию о ней. Через некоторое количество кадров, определяемое величинами τ_1 и τ_2 , эта информация стирается из кратковременной памяти, если цель снова не появится в поле зрения следящей системы. Кроме того, использование матрицы сравнения D позволяет автоматически варьировать размеры эталона, согласуя их с размерами цели.

В качестве эталонов возможно использование не только фрагментов реальных изображений, но и графических изображений, в частности схематичных рисунков. Применение графических эталонов оправдано в начале слежения до накопления матрицы D и при срыве слежения.

Описанный алгоритм проиллюстрирован на рис. 1, приведена последовательность кадров с обнаруженными объектами.

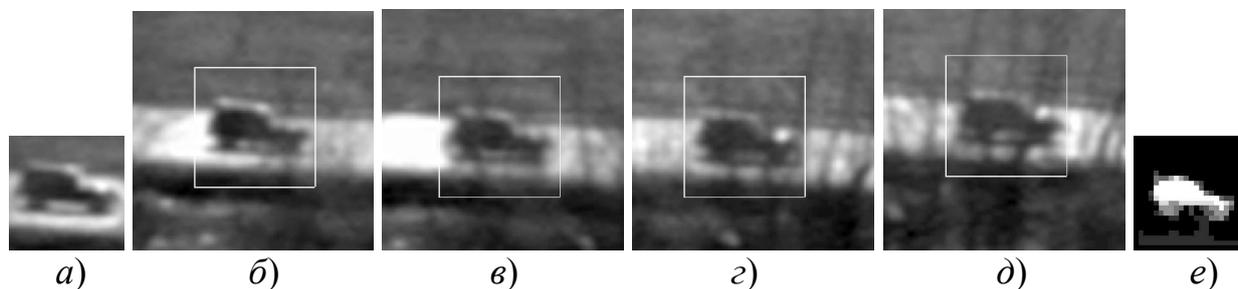


Рис. 1. Процедура поиска объекта с перезаписью эталона:

a) начальный эталон (кадр 1); *б)* кадр 4; *в)* кадр 8; *г)* кадр 12; *д)* кадр 14;
е) накопленная матрица D

Тестирование рассмотренного метода показало устойчивое сопровождение при кратковременном заслонении цели. В то время как при использовании классической нормированной корреляционной меры наблюдалась потеря объекта (рис. 2). На рис. 3 приведены значения сформированных компарационной и корреляционной матриц для зоны поиска в кадре № 16.



Рис. 2. Кадр 16 с найденными объектами при использовании:

a) компарационной меры; *б)* корреляционной меры

Рассмотренный метод автосопровождения целей эффективен, если параметры движения объекта и носителя, на котором установлен датчик изображений, обеспечивают сопоставимость кадров в темпе перезаписи эталона. Поточечное сопоставление с эталоном, вообще говоря, не обеспечивает инвариантности к изменению масштаба и поворотам. Смена масштаба эталона должна производиться исходя из анализа матрицы D .

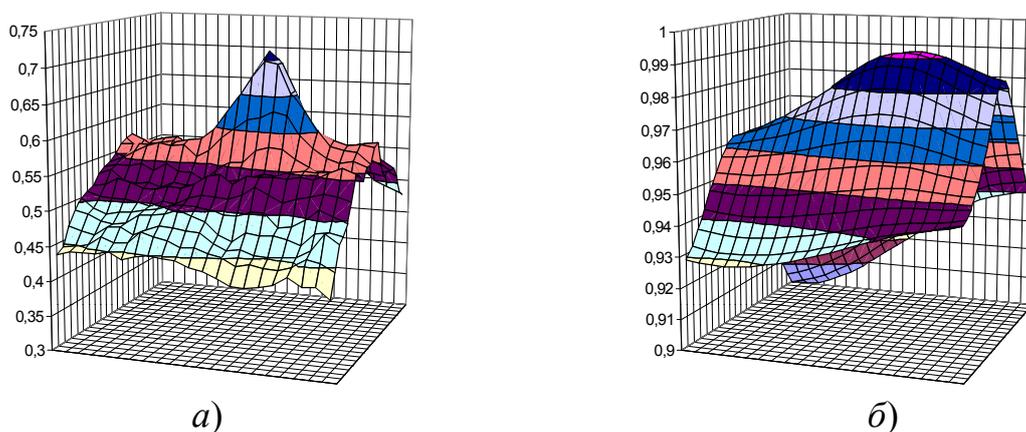


Рис. 3. а) компарационная матрица, б) корреляционная матрица

Если эталонный объект обладает ярко выраженной анизотропией структуры, предлагается применять модификацию рассмотренного метода формирования КМ, которая обеспечивает инвариантность к повороту в плоскости изображения. Для эталона формируется гистограмма направлений градиентов. Затем выполняется циклический сдвиг гистограммы, таким образом, чтобы первое направление соответствовало пику гистограммы направлений. Гистограмма направлений для текущего фрагмента изображения строится аналогично и сравнивается с эталонной. Фрагменты изображения, в которых гистограммы направлений градиента наиболее близки к эталонной, поворачиваются на соответствующий угол, кодируются и сравниваются с эталоном. Либо наоборот, заранее формируется набор повернутых эталонов, и сравнение проводится с эталоном, соответствующим пику гистограммы направлений.

Предложенный метод обнаружения целей применим даже в тех случаях, когда эталон и изображение отличаются по яркостям друг от друга, когда они получены от датчиков, работающих в различных спектральных диапазонах и т.п. Выбор оптимальных параметров и сама процедура обнаружения выполняются автоматически.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Haralick R.M., Watson L. A facet model for image data // Computer Graphics and Image Processing.-1981.- V.15, №.2. - P. 113 -129.
2. Lowe D.G. Object recognition from local scale-invariant features // Proc. International Conference on Computer Vision.- 1999.- V. 2. -P. 1150 -1157.
3. Dalal N., Triggs B. Histograms of Oriented Gradients for Human Detection // Computer Vision and Pattern Recognition.- 2005.- V. 1. -P. 886–893.
4. Алгоритм сопоставления изображений на основе скользящих гистограмм направленных градиентов / Д. Мирамонте-Харамилло, В.Х. Диас-Рамирес, В.И. Кобер, В.Н.Карнаухов // Информационные процессы.- 2014.- Т. 14, № 1.-С. 56–63.
5. Попов П.Г., Борисова И.В. Практическое применение эффекта «отскока» в обработке изображений // Оптический журнал.-1999.- Т.66, №4. - С. 94-101.
6. Попов П.Г. Динамическая мера близости изображений: Часть I: Выделение движения // Автометрия.-1994.- № 1.- С.60-67.

ОПТИЧЕСКИЙ ДАТЧИК С СЕКТОРНОЙ ЗОНОЙ ОБНАРУЖЕНИЯ ОБЪЕКТА

Юрий Анатольевич Печенкин

АО «Научно-исследовательский институт электронных приборов», 630005, Россия, г. Новосибирск, ул. Писарева, 53, начальник лаборатории, тел. (913)462-18-73, e-mail: zjapz@ya.ru

Валерий Анатольевич Колесников

АО «Научно-исследовательский институт электронных приборов», 630005, Россия, г. Новосибирск, ул. Писарева, 53, начальник лаборатории, тел. (913)945-42-83, e-mail: kolesnikov@cn.ru

Степан Александрович Буднов

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, аспирант кафедры автономных информационных и управляющих систем, тел. (383)346-26-23, e-mail: stepan_budnov@mail.ru

Валерий Григорьевич Эдвабник

АО «Научно-исследовательский институт электронных приборов», 630005, Россия, г. Новосибирск, ул. Писарева, 53, заместитель генерального директора по развитию, чл.-корр. РАН, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, тел. (383)216-05-63, e-mail: niiep@oaoiiiep.ru; Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, профессор кафедры АИУС, тел. (383)346-26-23

В работе решается задача повышения достоверности обнаружения малоразмерных объектов в широком угловом секторе. Предложена оптическая схема датчика с секторной зоной чувствительности. Анализируются конструктивные и энергетические требования к датчику.

Ключевые слова: оптическая локационная система, обнаружение малоразмерных объектов, оптическая схема, дистанционная характеристика, приемный модуль.

OPTICAL SENSOR WITH SECTORIAL DETECTION AREA

Yuriy A. Pechenkin

Joint-Stock Company «Scientific Research Institute on Electronic Devices», 630005, Russia, Novosibirsk, 53 Pisareva St., Head of Laboratory, tel. (913)462-18-73, e-mail: zjapz@yandex.ru

Valeriy A. Kolesnikov

Joint-Stock Company «Scientific Research Institute on Electronic Devices», 630005, Russia, Novosibirsk, 53 Pisareva St., Head of Laboratory, tel. (913)945-42-83, e-mail: kolesnikov@cn.ru

Stepan A. Budnov

Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia, Novosibirsk, 20 K. Marksa Prospekt, graduate student, tel. (383)346-26-23, e-mail: stepan_budnov@mail.ru

Valery G. Edvabnik

Joint-Stock Company «Scientific Research Institute on Electronic Devices», 630005, Russia, Novosibirsk, 53 Pisareva St., Deputy General Director for development, Corresponding member of Russian Academy of Missile and Ammunition Sciences, Ph. D., Senior Researcher, tel. (383)216-05-63, e-mail: niiep@oaoiiiep.ru; Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia, Novosibirsk, 20 K. Marksa Prospekt, Professor at the Department of AICS, tel. (383)346-26-23

In this paper we consider the problem of increasing the reliability of small-target detection in a wide angular sector. The optical scheme of a sensor with a sector sensitivity zone is proposed. Constructive and energy requirements to the sensor are analyzed.

Key words: optical radar system, small-target detection, optical scheme, remote characteristic, receiving module.

Лазерные датчики (ЛД) обнаружения приближающихся объектов, датчики предотвращения столкновений с препятствиями применяются на защищаемых объектах, в робототехнике, на транспорте, в аппаратуре скоростных измерений.

Традиционные оптоэлектронные передающие и приемные устройства имеют узкие диаграммы направленности (ДН): единицы градусов [1-6]. Рассмотрим влияние коэффициента перекрытия сечения ДН датчика и малогабаритного в одной плоскости объекта при достаточном энергетическом потенциале ЛД [4]. Вероятность обнаружения объекта (усредненная по равновероятным траекториям приближения датчика) в зависимости от углового сектора обзора при дальности обнаружения 2м показана в табл. 1. Здесь рассматриваются ЛД с квадратным сечением ДН и прямоугольный объект, пересекающий ДН полностью в продольной плоскости и частично (стороной минимального поперечного размера) в другой. Вероятность обнаружения изменяется обратно пропорционально расстоянию до объекта.

Таблица 1

Диаметр (ширина) объекта, м	Ширина углового сектора контроля, град			
	60	45	36	30
0,5	0,24	0,30	0,38	0,45
0,4	0,20	0,24	0,31	0,36
0,3	0,15	0,18	0,23	0,27

Повышение вероятности обнаружения возможно путем увеличения ширины ДН приемного и передающего устройств, т.е. создание ЛД с непрерывной зоной чувствительности. При этом вероятность обнаружения может приближаться к 1 для всех потенциальных объектов обнаружения.

Разработанный датчик с секторной ДН (60°), обеспечивает обнаружение объекта с коэффициентом диффузного отражения $\rho=0,15$ и минимальным размером 250 мм в широкой плоскости ДН на дальности не менее 3,5 м. Ограничение зоны обнаружения по дальности составляет 6 м. Габаритные размеры: 40x50x80 мм.

В ЛД применен полупроводниковый лазерный излучатель ИЛПИ-135 с импульсной мощностью излучения 100 Вт и многоплощадочный фотоприемный модуль. Фотоприемный модуль (ФПМ) имеет протяженную светочувствительную область, состоящую из двух рядов площадок (по 4 в каждом ряду) с индивидуальными каналами усиления. За счет цилиндрических оптических систем ряд

площадок модуля и излучатель формируют широкие ДН в горизонтальной плоскости с возможностью определения углового направления на объект (3 или 4 «подсектора»).

Каждая пара площадок из верхнего и нижнего ряда формирует двойное узкое поле зрения в вертикальной плоскости (рис. 1), что позволяет реализовать алгоритм обработки сигнала по методу равносигнальной зоны. При этом возможно измерение текущего расстояния через соотношение амплитуд принятых импульсов, а также выбор зоны обнаружения по дальности.

Для ЛД спроектированы сферические, асферические и цилиндрические линзы, позволяющие построить необходимую оптическую схему, обеспечивающую требуемые диаграммы направленности на излучение и прием.

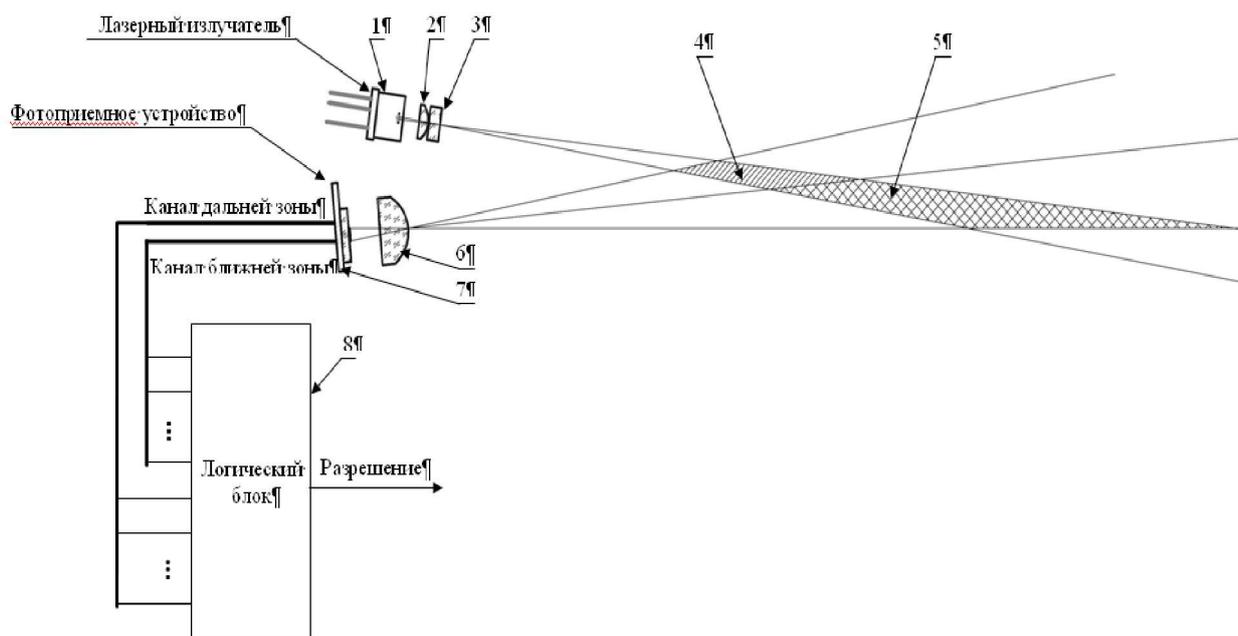


Рис. 1. Диаграммы направленности ЛД в вертикальной плоскости:

- 1, 2, 3 – излучатель с оптической системой; 4, 5 – зоны перекрытия диаграмм;
6, 7 – ФПМ с оптической системой

ЛД с секторной зоной обнаружения, в сравнении с узко-лучевыми ЛД, содержат ряд особенностей, а их применение имеет принципиальные ограничения:

а) Высокая импульсная мощность излучения.

В ЛД с широкой ДН с объектом взаимодействует только часть излучаемой мощности, поэтому для сохранения обнаружительной способности системы и при прочих одинаковых условиях, мощность излучения должна быть увеличена пропорционально расширению ДН. Для дальности действия 3-5 м импульсная мощность излучения составляет не менее 100 Вт при длительности импульса 100-300 нс.

б) Сложность формирования ДН.

Оптические системы должны формировать согласованные ДН приемного и передающего устройств с равномерным распределением интенсивности сигнала, обеспечивающей одинаковую чувствительность системы, как в центре, так и на краях сектора зрения.

в) Высокие требования к изображению, формируемому на фоточувствительных элементах, обеспечиваются относительно сложной и качественной оптикой.

Радиус кружка рассеяния на элементах ФПМ должен быть минимальным как в центре сектора обзора, так и на его краях. Малый радиус кружка рассеяния способствует быстрому увеличению разницы между сигналами с рядов элементов фотоприемника (крутизны дистанционной характеристики) при изменении положения изображения, обусловленного изменением расстояния до объекта, тем самым повышается точность измерения текущего расстояния до объекта и уменьшается разброс по дальности границы области обнаружения.

г) Большой динамический диапазон линейной части фотоприемного тракта.

Линейная часть амплитудной характеристики фотоприемного тракта должна обеспечивать работоспособность системы в большем (по сравнению с узко-лучевыми ЛД) диапазоне входных сигналов и уровней фоновой засветки пропорционально расширению ДН.

д) Помехозащищенность при работе в аэрозольной среде.

Аэрозольные образования естественного и искусственного происхождения (туман, дым, пыль, снег, дождь) являются неблагоприятной средой для прохождения оптического излучения, что снижает дальность действия ЛД, а отражение от аэрозольных помех (помеха обратного рассеяния), начиная с некоторой ее плотности, может привести к ложному решению об обнаружении при отсутствии объекта.

В ЛД с широкой ДН с аэрозольной помехой взаимодействует вся часть излучаемой мощности, согласованной со всеми элементами ряда фотоприемника. При этом амплитуда помехи обратного рассеяния будет превышать пороговый уровень, начиная с плотности, соответствующей метеорологической дальности видимости (МДВ) около 50 м. Для сравнения, узко-лучевые ЛД при прочих равных условиях сохраняют работоспособность в помехе с МДВ порядка 12-15 м.

Задача помехозащиты секторного ЛД от пассивных помех в значительной степени решается формированием дистанционной характеристики с «мертвой зоной», исключаящей высокий потенциал ЛД в ближней области пространства.

Выводы

Опыт разработки показал возможность решения ряда технических проблем, возникающих при переходе от узко-лучевых ЛД к датчикам с секторной зоной обнаружения. При этом следует учитывать определенные ограничения, накладываемые на их применение в сложных метеоусловиях.

Основное преимущество ЛД с секторным зоной чувствительности - близкая к единице вероятность обнаружения малогабаритных объектов с измерением текущего расстояния расширяет области применения и повышает их конкурентоспособность.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Печенкин Ю. А., Колесников В. А. Оценка и учет влияния помехи обратного рассеяния на работу оптико-локационных устройств // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «СибОптика -2013» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск : СГГА, 2013. Т. 1. – С. 225–228.
2. Печенкин Ю.А., Колесников В.А., Эдвабник В.Г. Разработка предконтактных оптических датчиков со стабилизацией дальности действия в аэрозольных помехах. Новосибирск: НГТУ // Труды 14 Всероссийской научно-технической конференции «Наука. Промышленность. Оборона», – Новосибирск: НГТУ, 2013. – С. 497–500.
3. Легкий В.Н., Помехоустойчивость импульсных оптоэлектронных дальномерных систем, “Безопасность информационных технологий”, МИФИ, 2002.-С.94-97.
4. Легкий В.Н., Топорков В.Д. Лазерные системы ближней локации. Оптоэлектронные датчики. Под ред. В.Н. Легкого. - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002. – 179 с.
5. Легкий В.Н., Галун Б.В., Санков О.В. Оптоэлектронные элементы и устройства систем специального назначения: Учебник /- Новосибирск: Издательство НГТУ, 2011. - 455 с.
6. Принципы построения помехоустойчивых миниатюрных лазерных импульсных дальномеров, высотометров и датчиков для бортовых и транспортных систем / Легкий В.Н., Галун Б.В., Литвиненко С.А., Санков О.В., Шумейко В.А., Баласов И.Ю., Башмаков А.О.// Оптический журнал. –2011.-Т. 78, №5.- С.64-69.

© Ю. А. Печенкин, В. А. Колесников, С. А. Буднов, В. Г. Эдвабник, 2017

МОДЕРНИЗАЦИЯ ПАТРОНОВ ДЛЯ СТРЕЛКОВОГО ОРУЖИЯ

Валерик Сергеевич Айрапетян

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Ново-сибирск, ул. Плахотного, 10, доктор технических наук, зав. кафедрой специальных устройств и технологий, тел. (383)361-07-31, e-mail: kaf.suit@ssga.ru

Михаил Александрович Кислин

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Ново-сибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, доцент, тел. (383)361-07-31

Данная статья посвящена модернизации патронов для стрелкового оружия по трем направлениям, среди которых повышение начальной скорости пули нарезного патрона за счет применения разделенного порохового заряда; повышение безотказности срабатывания капсюля-воспламенителя и уменьшение времени срабатывания капсюля-воспламенителя.

Ключевые слова: патроны, воспламенительный состав, пулевой снаряд, конструкция капсюльтрованной гильзы.

MODERNIZATION OF CARTRIDGES FOR SMALL ARMS

Valerik S. Ayrapetyan

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., D. Sc., Head of the Department of Special Devices and Technologies, tel. (383)361-07-31, e-mail: kaf.suit@ssga.ru

Michael A. Kislin

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., Ph. D., associate Professor, tel. (383)361-07-31

This article is devoted to modernization of cartridges for small arms in three directions, among which increase of initial speed of a bullet of the cut boss due to application of the divided powder charge; increase of non-failure operation of operation of a cap igniter and reduction of reaction time of a cap igniter.

Key words: cartridges, flammable structure, bullet shell, konsturktion of a kapsyultrovanny sleeve.

С момента изобретения унитарного патрона в стрелковом оружии появилось велико многообразие боеприпасов для различного оружия и предназначенных для широкого круга задач. В 1861 году француз Потте изобрел первый унитарный патрон центрального воспламенения. В отношении улучшения патронов центрального воспламенения много сделал англичанин Боксер. В частности, он заменил бумажную гильзу, предложенную Потте, металлической. С 60-х годов 19 века патроны центрального воспламенения получают широкое распространение. И так, к середине 19 века практически сформировались облики современного индивидуального оружия и унитарного патрона к нему. Типичный унитарный патрон для стрелкового оружия имеет капсюль-воспламенитель, пороховой

заряд, металлическую гильзу и пулю. Однако понятно, что за 150-170 лет, прошедших с момента появления унитарных патронов. Обязательно должны были предприняты попытки по совершенствованию этих патронов. Количество таких удачных и неудачных попыток достаточно большое. К концу прошлого столетия сменился воспламенительный состав ударного действия капсюлей-воспламенителей. Гремучертутные воспламенительные составы ударного действия были вытеснены неоржавляющими, которые постепенно заменяются экологически чистыми составами ударного действия, не содержащими солей тяжелых металлов. Следует отметить, что капсюль-воспламенитель во многом определяет скорость воспламенения порохового заряда, а, значит, и баллистику выстрела. Возможно, именно из-за этого конструкция капсюля-воспламенителя остается в патроне самым консервативным элементом.

В настоящее время в работах (1-7) предложены и принципиально обоснованы новые технические решения, не имеющие аналогов в мире, по новой конструкции высокоскоростного нарезного патрона для стрелкового оружия с разделенным пороховым зарядом и с высокой степенью безотказности срабатывания капсюля-воспламенителя. Уменьшено также и время срабатывания капсюля-воспламенителя.

В настоящее время известны нарезные патроны (Патрон калибра 44 Magnum), (Патрон .45-70-405 или .45-70 Government - американский винтовочный патрон центрального воспламенения разработанный специалистами Спрингфилдского арсенала под винтовку Springfield Model 1873 на основе боеприпаса .50-90 Sharps) и (Патрон калибра .45 Colt), имеющие: относительно длинные цилиндрические капсюлированные гильзы (капсюль типа «Боксер») пороховой заряд и пулю, которая может врезаться в нарезы ствола для предания ей вращения. Относительное удлинение гильзы данных патронов (отношение длины гильзы к ее внутреннему диаметру) составляет от 2,7 до 5,0. Патроны могут применяться для стрельбы из длинноствольного нарезного оружия. Такое относительное удлинение гильзы сравнимо с относительным удлинением гильзы гладкоствольных патронов калибра 12/70, 12/76 и 410/70, в которых успешно работает метод увеличения начальной скорости полета пули за счет разделения порохового заряда на части диафрагмой с отверстием.

Известен также патрон для нарезных ружей патрон калибра .454 Casull (патрон был представлен широкой публике в 1959 году в Американском оружейном журнале «Пушки и Пули» («Guns and Ammo») и на оружейной выставке в том же году), который выбирается за прототип. Относительное удлинение гильзы данного патрона составляет 3,0. Производство патронов .454 Casull было налажено многими фирмами. А сам патрон кроме США стал стандартным и для Европы, прописавшись в том числе в каталоге фирмы Франкония. Патрон разработан в 1957 году Диком Казуллом и Джеком Фалмером и впервые был анонсирован в ноябре 1959 года в журнале «Guns and Ammo». За основу патрона была взята удлиненная гильза патрона .45 Colt.

Одним из недостатком перечисленных выше патронов является низкая скорость полета пулевого снаряда. Вторым недостатком патронов является то, что в

нем применен капсюль-воспламенитель «Боксер», который по своим потребительским свойствам уступает, например, капсюлю-воспламенителю по известному патенту РФ № 2256148 (8).

Боевые качества оружия - прежде всего его эффективность определяются баллистическими характеристиками выбранного патрона. Патрон вместе со стволом непосредственно определяет баллистические характеристики оружия, в том числе величину начальной скорости пули, необходимую для преодоления пулей расстояния до цели и последующего ее поражения.

С увеличением начальной скорости сокращается полетное время пули, что способствует улучшению меткости стрельбы вследствие уменьшения влияния ошибок подготовки исходных данных. Рост начальной скорости пули сопровождается улучшением настильности траектории и увеличением дальности прямого выстрела, облегчающим использование оружия вследствие возможности стрельбы на постоянном прицеле. При этом одновременно увеличивается скорость и кинетическая энергия пули у цели и улучшается ее убойное и пробивное действие. Повысить скорость полета пули за счет повышения полной массы метательного заряда без увеличения максимального давления пороховых газов в патроне для нарезного оружия с цилиндрической гильзой с отнесенным удлинением не менее 2,7 возможно размещением в гильзе второй дополнительной части порохового заряда, отделенной от основного порохового заряда диафрагмой с отверстием. При этом диафрагма с отверстием должна быть размещена внутри гильзы с натягом и иметь первоначальный диаметр на 0,05-0,2 мм больше внутреннего диаметра гильзы (см. рис. 1)

Повышение надежности и уменьшение времени срабатывания капсюля-воспламенителя при стрельбе из длинноствольного нарезного оружия возможно достигнуть тем, что в капсюле-воспламенителе, состоящего из металлического колпачка с запрессованным в него воспламенительным составом ударного действия, покрытого герметизирующей мембраной, размещена трехлепестковая наковаленка куполообразной формы, которая вершиной своего купола плотно соприкасается с герметизирующей мембраной, а основания лепестков наковаленки упираются во внутреннюю стенку колпачка капсюля-воспламенителя и плотно соприкасаются со специальным кольцевым выступом, расположенным в капсюльном гнезде гильзы, при этом диаметр кольцевого выступа меньше диаметра капсюльного отверстия на величину учетверенной толщины стенки колпачка капсюля-воспламенителя плюс 0,15 мм. Такое выполнение капсюля-воспламенителя и наличие специального кольцевого выступа в капсюльном гнезде гильзы приводит к увеличению жесткости удара боя оружия на ударно-воспламенительный состав, так как наковаленка опирается на специальный кольцевой выступ. При такой конструкции капсюля-воспламенителя возможный сдвиг колпачка капсюля-воспламенителя от удара бойка не уменьшает силу удара на ударно-воспламенительный состав. Кроме того такое выполнение оболочки с загибом позволяет даже в случае, когда наковаленка запрессована внутрь колпачка не точно с допусками $0,05 \div 0,1$ мм, всегда жестко опереть её на специаль-

ный кольцевой выступ в капсюльном гнезде гильзы, что приведет также к плотному прижатию купола наковаленки к ударно-воспламенительному составу через герметизирующую мембрану. Данная конструкция описана в работе (2). Недостатком конструкции является то, что в ней применена трех лепестковая наковаленка, изготовление которой в массовом количестве на прессовом оборудовании с помощью многоместных штампов является трудной технологической задачей.

Для этого применяются многоместные штампы, которые в силу своей многоместности не могут обеспечить единообразия высоты трех лепестковой наковаленки. Наковаленки обычно изготавливаются холодной штамповкой из металлической ленты. Полученные наковаленки после предварительной обработки (галтовка, обезжиривание, травление поверхности, гальваническое покрытие, промывка, сушка) поступают в сборочный цех и досылаются групповым способом в снаряженные ударным воспламенительным составом колпачки (9). К недостаткам указанного способа относится то, что он не обеспечивает точного изготовления наковаленок и поэтому возникает возможность попадания на групповую сборку бракованных наковаленок с завышенной высотой, что приведет к недопустимому внедрению наковаленки в ударный состав, срабатыванию состава, выходу пресс-инструмента из строя и остановке процесса сборки капсюлей на ремонтно-профилактические работы. Кроме того, к недостаткам относится необходимость получения максимально точной по высоте наковаленки за счет использования проката повышенной точности с ограниченными механическими свойствами и за счет высоких требований по точности к изготовлению многоместных штампов. При этом невозможно добиться единообразных размеров отдельных пуансонов и матриц в многоместном штампе. В связи с этим известная конструкция не обеспечивает высокую надежность и чувствительность срабатывания капсюля-воспламенителя из-за отсутствия в ней минимального возможного приближения наковаленки гильзы к герметизирующей мембране, которая покрывает ударно-воспламенительного состава капсюля-воспламенителя. Возможно упростить конструкцию капсюлированной гильзы в патроне (см. рис. 1, рис. 2) и обеспечить за счет смены конструктивного элемента (вместо трех лепестковой наковаленки применить металлический шарик) более высокую надежность и чувствительность срабатывания капсюля-воспламенителя, а также уменьшить время от момента удара бойка по капсюлю-воспламенителю до срабатывания капсюля-воспламенителя. В новой конструкции металлический шарик одним боком примыкает к герметизирующей мембране, а другим боком примыкает к дну капсюльного отверстия, частично помещаясь внутрь центрального отверстия в дне капсюльного гнезда, и имеет такой диаметр, что он углублен в капсюльном гнезде относительно торца шляпки гильзы на величину «Д», равную величине «С» максимальной высоты воспламенительного состава ударного действия с герметизирующей мембраной, плюс на величину толщины стенки металлического колпачка и плюс на величину «Н» заданной на патрон по углублению капсюля-воспламенителя относительно торца шляпки гильзы для не допущения

инерционного накола, при этом величина «А» глубины капсюльного гнезда а величине «В» высоты металлического колпачка с учетом допуска плюс величина «Н», заданная на патрон по углублению капсюля -воспламенителя относительно торца шляпки гильзы для исключения инерционного накола. (Т.е должны выполняться две формулы: «А»= «В»+«Н» и «Д»= «С»+ «Н»). При этом на внутренней поверхности центрального отверстия в дне капсюльного гнезда выполнены три симметрично расположенные по окружности отверстия для протекания продуктов детонации воспламенительного состава ударного действия к пороховому заряду.

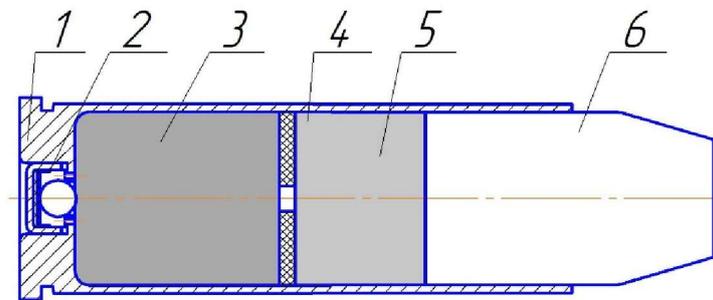


Рис. 1.

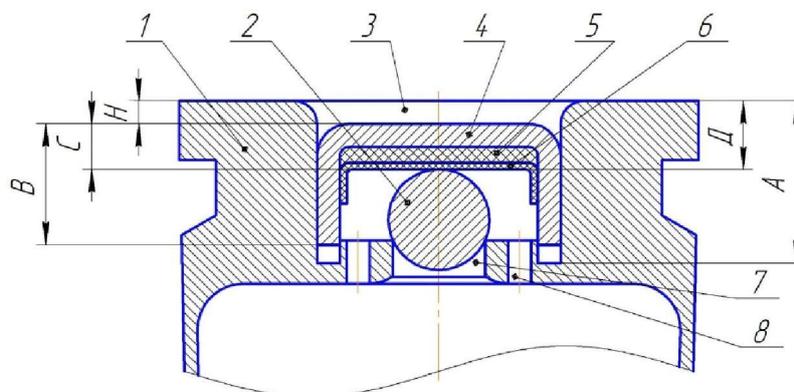


Рис. 2.

В случаях, когда конструкция капсюлированной гильзы выполнена таким образом, что происходит одновременно или по одному выполнение неравенств : «А» \geq «В»+«Н» и «Д» \geq «С»+ «Н» происходит необоснованной удаление одного бока металлического шарика от герметизирующей мембраны и воспламенительного состава ударного действия капсюля -воспламенителя, что понижает надежность срабатывания капсюля -воспламенителя и его чувствительность.

В случаях, когда конструкция капсюлированной гильзы выполнена таким образом, что происходит одновременно или по одному выполнение неравенств:

«А» \leq «В»+«Н» и «Д» \leq «С»+ «Н» возникает возможность недопустимого внедрению наковаленки в ударный состав, срабатыванию состава, выходу пресс-инструмента из строя и остановке процесса сборки капсюлей на ремонтно-про-

филактические работы. Заданная величина «Н» углубления капсюля-воспламенителя относительно торца шляпки гильзы определяется конструкцией оружия, для которого предназначен патрон и связана с воздействием на капсюлированную гильзу в составе патрона инерционного накола ударником оружия. Необходимость углубления капсюля-воспламенителя в капсюльном гнезде гильзы также обосновано ГОСТ В 23241. Капсюлированная гильза в новой конструкции патрона состоит из: гильзы -1; металлического шарика -2; капсюльного гнезда -3; металлического колпачка -4; воспламенительного состава ударного действия-5; герметизирующей мембраны-6; центрального отверстия в дне капсюльного гнезда -7; три симметрично расположенные по окружности поднутрения для протекания продуктов детонации воспламенительного состава ударного действия к пороховому заряду на внутренней поверхности центрального отверстия в дне капсюльного гнезда -8.

В данном исполнении конструкцию капсюлированной гильзы патрона, уменьшается трудоемкость изготовления, а следовательно уменьшается себестоимость, повышается надежность срабатывания капсюля-воспламенителя, повышается чувствительность и стабильность срабатывания капсюля-воспламенителя в составе патрона. В настоящее время российской промышленностью выпускается стальная дробь для спортивных дробовых патронов с использованием технологии изготовления высокоточных шариков для шарикоподшипников (10). Точность наружного диаметра шарика (дробинки), имеющего размер 2,5 мм, составляет ± 50 мкм. Такая точность диаметра металлического шарика вполне приемлема для создания дешевой, технологичной капсюлированной гильзы для нарезного патрона. Согласно ГОСТ 3722-81 промышленность России также выпускает металлические шарики для подшипников качения размерами от 0,25 до 6 мм с отклонением среднего диаметра шарика всего ± 25 мкм. Предлагаемая конструкция капсюлированной гильзы очень удобна для домашнего переснаряжения (релодинга) патронов для стрелкового оружия, через имеющее центральное отверстие 7 в дне капсюльного гнезда гильзы штоком выбивается или выпрессовывается стрелянный (использованный) капсюль-воспламенитель из гильзы патрона стрелкового оружия вместе с металлическим шариком. Затем гильза снова может быть закапсюлирована в следующей последовательности: на центральное отверстие в дне капсюльного гнезда устанавливается либо новый металлический шарик (либо использованный, если он не приобрел видимых деформаций). Затем в капсюльное гнездо запрессовывается металлический колпачок с запрессованным в него воспламенительным составом ударного действия, покрытым герметизирующей мембраной. Перед запрессовкой металлического колпачка необходимо специальным индикатором-глубиномером измерить величину «Д» утопания металлического шарика в капсюльном гнезде относительно торца шляпки гильзы. чтобы убедиться гильзы в выполнении двух формул: «А»= «В»+«Н» и «Д»= «С»+ «Н» с учетом геометрических размеров конструкции применяемого капсюля-воспламенителя, состоящего из металлического колпачка с запрессованным в него воспламенительным составом ударного действия, покрытого герметизирующей мембраной.

При капсюлировании гильз в автоматическом режиме на специальных линиях необходимо будет разместить на них дополнительное оборудование -пита- тель металлических шариков, который будет подавать металлические шарики на центральное отверстие в дне капсюльного гнезда гильзы. Данное отверстие бу- дет надежно фиксировать положение металлического шарика при дальнейшем автоматической операции запрессовки металлических колпачков с запрессован- ным в них воспламенительным составом ударного действия, покрытого гермети- зирующей мембраной.

Для изучения влияния величины зазора между наковаленкой и ударно вос- пламенительным составом на единообразие баллистики выстрела (также на точ- ность выстрела) и на его безотказность рассмотрим механику сил действующих на ружье с момента прицеливания до воспламенения порохового заряда. При этом отвлечемся от факторов, влияющих на точность стрельбы, но не зависящих от процессов срабатывания ударного состава капсюля-воспламенителя и пере- дачи воспламеняющего импульса пороховому заряду. Для удобства рассмотрим стрельбу по неподвижной мишени в горизонтальной плоскости. В этом случае ружье можно рассматривать как балку на двух опорах, плечо стрелка и опорная рука. Еще раз упростим задачу, будем считать, что плечо, на котором лежит при- клад – опора неподвижная, на нее давит часть веса ружья P_1 , а опорная рука ис- пытывает нагрузку P_2 .

$$P_1 + P_2 = P,$$

где P – вес ружья.

Для удержания ружья на линии прицела стрелок опорной рукой прилагает усилие $F = P_2$ в противоположном направлении. Прицелившись, стрелок начи- нает давить на спусковой крючок с усилием, равным силе сопротивления предо- хранительной пружины ударно-спускового механизма. При этом возникает до- полнительная сила, которая тянет ствол вниз. Для того, чтобы уравновесить эту силу, стрелок прилагает дополнительное усилие – $-F$.

После того, как усилие предохранительной пружины ударно-спускового ме- ханизма преодолено и начинается движение бойка, противодействие пружины прекращается и соответственно, исчезает и сила которая тянет ствол вниз. Но по инерции, естественной для человека, DF продолжает действовать, а это означает движение ствола вверх относительно неподвижного приклада на определенный угол α . Величина угла α зависит от силы предохранительной пружины ударно- спускового механизма и определенного интервала времени t от начала движения бойка до воспламенения порохового заряда и начала движения пули. Величина силы сопротивления пружины для данного оружия величина постоянная и при постоянном времени t , угол α был бы так же постоянным и корректировался прицелом. Но время t не является величиной постоянной. Имеются технологиче- ские допуски на габариты компонентов патрона, такие как высота запрессовки состава капсюля-воспламенителя, глубина утопания наковаленки, глубина по- садки капсюля-воспламенителя. Эти допуски при сборке могут компенсировать

друг друга, но могут и суммироваться, в результате наковаленка может либо упираться в состав, либо между наковаленкой и составом может образоваться зазор до 0,5 мм. В первом случае импульс удара бойка непосредственно передается ударно-воспламенительному составу, соответственно происходит мгновенное загорание состава и передача воспламеняющего импульса пороховому заряду. Во втором - вначале происходит деформация доньшка колпачка и таблетки запрессованного ударно-воспламенительного состава до упора ударно-воспламенительного состава в наковаленку. Естественно, что, чем дальше ударно-воспламенительный состав от наковаленки, тем больше время t от соприкосновения бойка о доньшко капсюля-воспламенителя до воспламенения состава, а значит и больше угол α . И тем хуже точность стрельбы из стрелкового оружия.

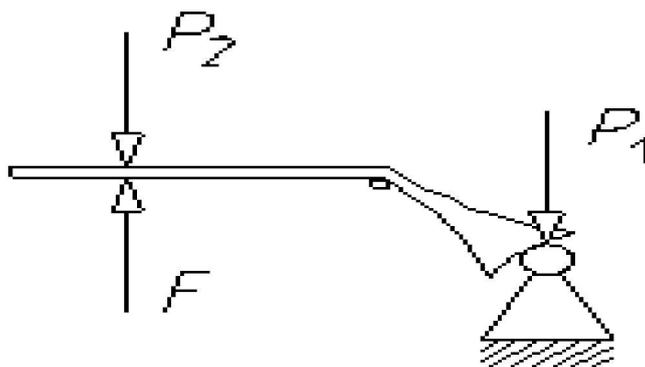


Рис. 3.

На рис. 3 приведены действующие силы на нарезное оружие при стрельбе.

В конструкции нарезного патрона (см. рис. 1) обеспечивается определенная временная задержка воспламенения дополнительной части порохового заряда 5, что позволяет увеличить массу полную массу метательного заряда и скорость полета пулевого снаряда.

Патрон работает следующим образом: от удара бойка длинноствольного нарезного оружия срабатывает капсюль-воспламенитель патрона 2 и загорается основной пороховой заряд 3. Начинает возрастать давление пороховых газов, которые выделяются от сгорания дополнительной части порохового заряда. Под действием давления пороховых газов, образующихся от горения этой части порохового заряда, разгоняется внутри гильзы сборка: диафрагма 4, часть порохового заряда 5 и пуля 6. В процессе разгона указанной сборки указанной сборки пороховые газы через отверстие в диафрагме 4 втекают внутрь пространства, занятого дополнительной частью порохового з аряда 5 и прогревают ее пороховые зерна. При достижении определенной степени прогрева зерен часть порохового заряда 5 также воспламеняется и образующиеся при горении пороховые газы увеличивают давление и обеспечивают более полное заполнение диаграммы «давление-время», т.е. без увеличения максимального давления увеличивается

величина импульса силы давления пороховых газов на пулю 6, а это повышает ее начальную скорость полета.

Горение части порохового заряда 5, масса которой подбирается экспериментальным путем, уже не вызывает повышение уровня максимального давления пороховых газов, потому что пуля уже движется с достаточно высокой скоростью и объем за пулевого пространства в стволе резко увеличивается. В дальнейшем для поражения цели по баллистической траектории движется только пуля, которая вращается от прохождения нарезов ствола. Легкая диафрагма, разделяющая пороховой заряд на части, вылетает из ствола позднее пули и сразу тормозится сопротивлением воздуха, не вызывая нарушений в точности полета пули.

Для выполнения эффекта натяга установки диафрагмы внутри полости гильзы диафрагма выполняется либо из картона, либо из эластичной пластмассы.

В связи с тем, что относительные удлинения цилиндрических гильз по прототипу и аналогам близки к относительным удлинения цилиндрических гильз патронов для гладкоствольных ружей, у которых хорошо изучены принципы увеличения скорости полета метаемого элемента за счет разделения порохового заряда на части диафрагмами с отверстиями (это патенты РФ №2102693, №102103, №2301954, №143745, №2512815, № 2522753), то можно предположить, что данный принцип увеличения скорости полета пули будет применим и к нарезным патронам. В качестве обоснования этого утверждения можно привести результаты баллистических испытаний пулевого патрона калибра .410, который по калибру близок к патронам по прототипу и аналогам (см. статью «Кучность. Точность» ж. Арсенал Охотника, г. Москва, №9, 2006 г.). ЗАО «Барнаульский патронный завод» провел работу по модернизации пулевого патрона 410-го калибра со стальной гильзой. Модернизированный патрон отличается от штатного тем, что имеет на 30% усиленный по массе пороховой заряд, состоящий из пороха «сунар-410». Прокладка, разделяющая заряд на части, представляла собой кружок толщиной 1,5 мм, диаметром 11,3 мм, с центральным отверстием диаметром 1,8 мм. Остальные элементы патрона прежние, но в связи с тем, что разделяющая прокладка и добавочный заряд пороха заняли определенный участок внутри гильзы, пыж-компенсатор был укорочен на длину этого участка: со стороны контакта с пулей у пыжа-компенсатора была отрезана секция длиной 5,5 мм. По аналогии с результатами подобной модернизации пулевого патрона 12-го калибра ожидалось, что средняя скорость возрастет на 70 D 80 м/с, среднее максимальное давление возрастет незначительно, снижение траектории на дистанции 100 м будет меньше, чем у штатного патрона, а кучность стрельбы будет выше. Последние серийные патроны снаряжались порохом «Сунар-410» партии 1-05К. Масса заряда 1,39 г. Общий заряд для опытных патронов калибра .410 с разделенным пороховым зарядом составил $1,39 - 1,3 = 1,8$ г. Масса основного порохового заряда составила $1,8 \cdot \frac{2}{3} = 1,2$ г. Дополнительная часть порохового заряда соответственно $1,8 - \frac{1}{3} = 0,6$ г. Разделяющую картонную прокладку вставляли с усилием $2 \cdot 5$ кг. Патроны испытаны: 10 штук на скорость и давление;

10 штук на кучность на дистанции 35 м; 10 штук на кучность на дистанции 100 м, параллельно с патронами от образцовой партии ОБ-01.

Анализ результатов стрельб показал следующее:

- для модернизированных патронов калибра .410 с разделенным пороховым зарядом: скорость на расстоянии 10 м от дульного среза 580 м/с; разброс скорости пули 33 м/с; максимальное давление 929 кгс/см²; кучность стрельбы на 35 м - 11,5 см; кучность стрельбы на 100 м - 31 см;

- для штатных патронов калибра .410: скорость на расстоянии 10 м от дульного среза 496 м/с; разброс скорости 19 м/с; максимальное давление 825 кгс/см²; кучность стрельбы на 35 м - 15 см; кучность стрельбы на дистанции 100 м - 64,5 см.

Таким образом, модернизированный патрон с разделенным пороховым зарядом при практически одинаковом максимальном давлении с штатным патроном превосходит его в скорости на 17%, а в кучности на 100 м - в 2 раза. Известно согласно инструкции по переснаряжению (vihtavuori reloading manual), что патрон калибра .454 Casull с пулей массой 16 г по прототипу в нарезном оружии обеспечивает начальную скорость пули 530-570 м/с. Поэтому выполнение модернизации патрона по предлагаемому изобретению позволит увеличить начальную скорость полета пули массой 16 г на 10-15 %, т.е. получить значения 610-660 м/с. В данном патроне калибра .410 по предлагаемому изобретению для основного заряда и дополнительной части использовался один и тот же порох «Сунар-410». Однако, если снова провести аналогию с баллистическими исследованиями по эффективности применения разделенного порохового заряда для гладкоствольных патронов, изложенных в патентах РФ №102103 и №14374, где доказано о целесообразности применения различных марок порохов для основного заряда и для дополнительной части, то также в патроне для нарезного оружия по предлагаемому изобретению можно также экспериментальным путем подобрать условиями с двумя различными порохами для основного заряда и дополнительной части. Снаряжение патрона для нарезного оружия по предлагаемому изобретению возможно как на современных автоматических линиях с двумя дозаторами пороха, так и на ручных приспособлениях, массово выпускаемых промышленностью для перезаряжания (релоудинге) стрелянных гильзы нарезных патронов с цилиндрическими гильзами с относительным удлинением более 2,7. На отдельном автоматизированном оборудовании вырубается из картона или отливаются из эластичной пластмассы диафрагмы с отверстием малого диаметра.

В настоящее время появился новый патрон ТКМ 366 (производитель ЗАО «Техкрим»), который может применяться для вновь созданного карабина ВПО - 208. Данный карабин и патрон ТКМ-366 хотя и формально относятся к оружию с термином «гладкоствольные» фактически по своим параметрам являются нарезными. Карабин ВПО-208 калибра .366 имеет значительную длину нарезной части ствола и практически является аналогом карабина Симонова, известного как карабин СКС, и выдерживает эксплуатационное давление патрона

ТКМ-366 на уровне 3300 бар. Такой уровень максимального давления пороховых газов превышает уровень максимального давления пороховых газов гладкоствольного оружия более чем в 3 раза. Поперечник рассеивания пуль при стрельбе из ВПО-208 на 50 и 100 м практически находится на уровне стрелкового нарезного оружия. Успешное применение разделенного заряда в данном патроне может идеально продемонстрировать универсальность и практическую целесообразность применения разделенных зарядов в нарезных патронах, включая боевые, для стрелкового оружия. Для натурных испытаний модернизированных патронов с разделенным пороховым зарядом в калибре ТКМ-366 были приобретены и расснаряжены заводские патроны ТКМ-366 с пулей «ДЭРИ» (масса пули 13,5 г) партии 02 К III (срок годности до 27/05/2019), которые обеспечивали при стрельбе из карабина ВПО-208 начальную скорость 550 м/с. Затем с использованием гильз и пуль были заново снаряжены патроны такого же калибра, но с порохом «Сунар 410» и с разделением порохового заряда картонной прокладкой на две равные части (см. рис. 4).



Рис. 4.

Масса первой части порохового заряда составляла 0,75 г. Масса второй части порохового заряда составляла 0,75 г. Пороховой заряд был разделен картонной прокладкой толщиной 1,5 мм с центральным отверстием 1,8 мм. Наружный диаметр прокладки составлял 11 мм. Средняя начальная скорость из десяти выстрелов из ВПО-208 патронами с разделенным пороховым зарядом, измеренная хронометром, составила 636 м/с. Данная скорость выше скорости штатного патрона с пулей ДЭРИ на 14%. (так как штатная скорость 550 м/с). Следовательно кинетическая энергия пули патрона с разделенным пороховым зарядом выше энергии пули штатного заводского патрона практически на 30%. Максимальное давление, определенное по смятию капсюля-воспламенителя модернизированного патрона на уровне штатного патрона (см. рис. 5). Из письма МИНПРОМТОРГа РОССИИ вх. 5998 от 17.08.2016, разосланного на предприятия отрасли,

известно, что «...в США ведется разработка новых порохов, при использовании которых максимум давления смещается вперед к дульному срезу. Для изготовителей порохов и патронов это практический способ повышения энергии снаряда без увеличения массы/объема заряда и без увеличения максимального давления (что интересно и для применения в боевом оружии)». Однако предлагаемый в данной работе способ повышения энергии снаряда за счет применения разделенного порохового заряда также является перспективным и может быть реализован без существенных материальных затрат.



Рис. 5. Слева гильза от штатного патрона после выстрела, справа гильза от модернизированного патрона после выстрела

Кроме того произведена стрельба в упор в стальную плиту патронами с пулей ДЭРИ в штатном исполнении и патронами с разделенным пороховым зарядом. Общий вид кратера приведен на рис. 6. Определены глубины кратеров, которые для штатного патрона и патрона с разделенным пороховым зарядом, соответственно, равны 3,6 и 4,4 мм.



Рис. 6. Кратер, образовавшийся при попадании пули «ДЭРИ» в стальную плиту при стрельбе в упор из ВПО-208 патроном с разделенным пороховым зарядом

Модернизированный патрон дал более глубокий кратер. Глубина кратера возросла на 22 % (на 0,8 мм). Модернизация патрона .366 ТКМ за счет применения разделенного порохового заряда не потребует вносить модернизированный патрон в Таблицы размеров патронов и патронников ПМК. В связи с этим упрощается его внедрение в массовое производство.

Разработана новая конструкция высокоскоростного патрона для нарезного оружия. Конструкции патрона защищены патентами РФ. Натурными стрельбами из карабина ВПО-208 доказана принципиальная работоспособность конструкции высокоскоростных патронов с разделенным пороховым зарядом для стрелкового оружия. Конструкция гильзы патрона обеспечивает простоту извлечения корпуса использованного капсюля-воспламенителя из гильзы, без нарушения конструкции последней, и обеспечивает высокие потребительские свойства системы воспламенения порохового заряда: повышенная вероятность безотказного срабатывания капсюля-воспламенителя и уменьшение времени срабатывания капсюля-воспламенителя. Уменьшение времени срабатывания капсюля-воспламенителя напрямую увеличит точность стрельбы стрелкового оружия на больших дистанциях как по не подвижным целям, так и подвижным.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кислин М.А. Патрон для нарезного оружия // патент на изобретение RU 2577163, 10.03.2016 г.
2. М. Дягтерев « В погоне за скоростью. Модернизация патронов для стрелкового оружия». Ж. Калашников, №5, 2015, с.70-73.
3. Кислин М.А., Зыков В.А, Маликов А.А. Капсюлированная гильза для стрелкового оружия // патент на изобретение RU 2585092, 27.05.2016 г.
4. Кислин М.А., Зыков В.А, Маликов А.А. Капсюлированная гильза для стрелкового оружия // патент на изобретение RU 2585092, 27.05.2016 г.
5. Кислин М.А., Зыков В.А, Маликов А.А. Капсюлированная гильза для стрелкового оружия // патент на изобретение RU 2525595, 20.08.2014 г.
6. Кислин М.А., Зыков В.А, Маликов А.А. Способ изготовления капсюлей -воспламенителей типа «BOXER» // патент на изобретение RU 2580544, 10.04.2016 г.
7. Кислин М.А., Зыков В.А. Патрон для стрелкового оружия // патент на изобретение RU 2596230, 10.09.2016 г.
8. Кислин М.А., Маликов А.А., Пеньков В.А. Капсюль -воспламенитель для патронов охотничьих и спортивных ружей» // патент на изобретение RU 2256148, 10.07.2005 г.
9. П.Ф. Бубнов и И.П. Сухов «Средства инициирования», Москва, 1945., Оборонгиз, с.16,с.27,28,с.41-52
10. С.Г. Митичкин, Г.С. Митичкин «Боеприпасы нового поколения» г. Москва, 1997, типография «Академия МВД России».

© В. С. Айрапетян, М. А. Кислин, 2017

МОДУЛЯЦИОННЫЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ СВЕРХМАЛЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ПОДВИЖНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ МЭМС

Владимир Станиславович Корнеев

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры физики, тел. (383)343-29-33, e-mail: korneyv@mail.ru

Рассмотрен модуляционный метод измерения сверхмалых перемещений подвижных элементов МЭМС, представлены результаты экспериментов и расчетов по измерению углов наклона микромеханической отражательной дифракционной решетки.

Ключевые слова: микро-электромеханические системы (МЭМС), подвижные элементы, модуляционный метод, отражательная дифракционная решетка.

MODULATION METHOD OF MEASURING OF ULTRA -SMALL MOBILE ELEMENTS MEMS MOVEMENTS

Vladimir S. Korneyev

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., Ph. D., associate Professor, Department of Physics, tel. (383)343-29-33, e-mail: korneyv@mail.ru

Modulation method of measuring of ultra-small mobile elements MEMS movements considered, the results of experiments and calculations to measure the angles inclination of the micromechanical reflection grating presented.

Key words: micro-electromechanical systems (MEMS), movable elements, modulation method, reflective diffraction grating.

Микро-электромеханические системы (МЭМС) находят широкое применение в современных системах лазерного сканирования, оптических каналах связи, системах экспресс-анализа и обработки данных о состоянии природной среды и техногенных объектов. К основным преимуществам МЭМС относятся их повышенное быстродействие, стабильность эксплуатационных параметров, низкое энергопотребление и повышенный ресурс непрерывной работы.

В работах [1; 2] представлены образцы МЭМС устройств имеющие сходный принцип управления потоками отраженного излучения. В основе управления параметрами таких устройств лежит электромагнитный принцип, основанный на взаимодействии переменного магнитного поля с собственными магнитными моментами подвижных элементов МЭМС.

Измерение сверхмалых перемещений подвижных элементов МЭМС является сложной технической задачей, для решения которой используют разные методы. Хорошо известным является емкостной метод, подробно описанный в ра-

боте [3], измеренная величина воздушного зазора между подложкой и подвижным элементом, изготовленным из бериллиевой бронзы, составляла 110 нм, величина погрешности оценена в 5 нм [3].

В оптической интерферометрии и радиофизике широко применяется модуляционный метод, предложенный Г.С. Гореликом в работе [4]. Сущность метода заключается в том, что периодически меняющуюся разность фаз, вызванную смещением источников излучения, можно определить по модуляции контрольно-измерительного сигнала на выходе интерферометра.

Особенности модуляционного метода можно проиллюстрировать следующим рисунком (рис. 1).

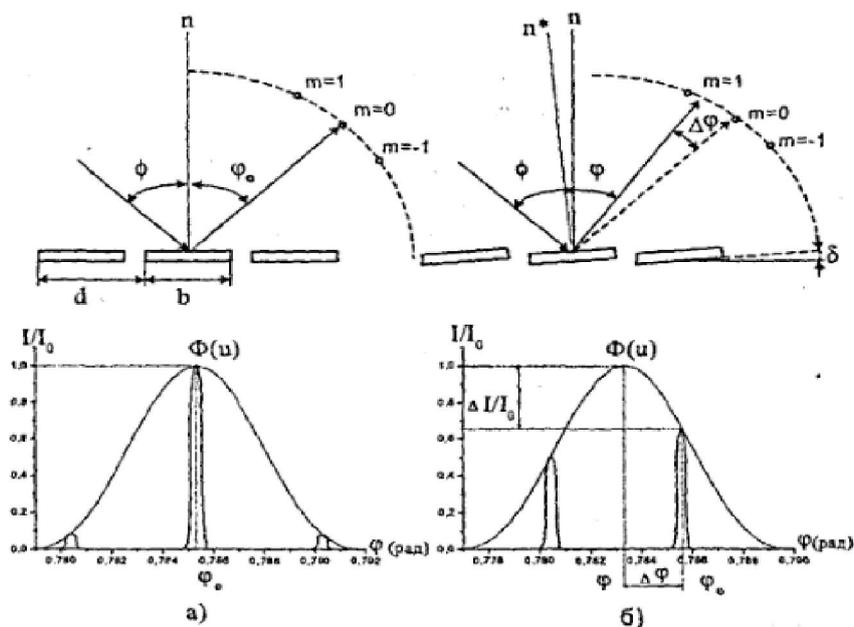


Рис. 1. Распределение интенсивности отраженного излучения:

- а) при отсутствии разности фаз между соседними микро-зеркалами;
- б) при наличии разности фаз, обусловленной наклоном плоскости микро-зеркал на угол δ относительно плоскости поверхности дифракционной решетки

Пространственное распределение интенсивности отраженного излучения представляет собой дифракционную картину, максимум которой совпадает с направлением зеркального отражения от плоскости дифракционной решетки с заданным периодом (рис 1а).

Функция распределения интенсивности отраженного излучения имеет вид:

где: λ – длина волны лазерного излучения, d – период дифракционной решетки, b – ширина микро-зеркала.

При синхронном повороте всех микро-зеркал на угол δ возникает дополнительная разность фаз $\Delta\phi$ между потоками излучения отраженными от соседних

микро-зеркал, и происходит пространственное перераспределение энергии отраженного излучения в область максимумов с более высоким интерференционным порядком. Если угол наклона δ периодически изменяется в некотором интервале значений $\Delta\delta$, то относительная интенсивность излучения в главном максимуме ($m = 0$) изменяется на величину $\Delta I / I_0$ (рис 1б).

Модулированный по амплитуде сигнал можно измерить и записать с помощью фотодиода, установленного в положении главного интерференционного максимума нулевого порядка. Записи модулированного на разных частотах сигнала фототока в максимуме нулевого порядка ($m = 0$) были выполнены и представлены в работах [5; 6].

Измеренная подобным методом разность фаз $\Delta\varphi$ связана с переменным углом наклона подвижных элементов – δ геометрическим соотношением:

Чувствительность модуляционного метода измерений достаточно высока и определяется отношением минимального значения амплитуды контрольно -измерительного сигнала к величине собственного шума измерительной аппаратуры. Теоретическое значение разности фаз $\Delta\varphi$, которая может быть обнаружена модуляционным методом, составляет порядка

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{10^6} \approx 0,006 \text{ (mrad)} \quad [4].$$

Наименьшее экспериментальное значение переменного угла наклона подвижных элементов, вычисленное модуляционным методом, по данным [5; 6] составляет $\delta_{\min} = 0,25 \text{ (mrad)}$.

Практическое применение модуляционного метода измерений достаточно широко: везде, где присутствуют процессы, связанные с периодическим изменением положения подвижных элементов или их частей, можно воспользоваться первой гармоникой разложения в ряд Фурье модулированного контрольно -измерительного сигнала, и определить соответствующую разность фаз. Например, модуляционный метод подойдет для измерения амплитуды поверхностных упругих волн тонкопленочных мембран и волноводов, при этом методы возбуждения упругих волн (пьезоэлектрический, электромагнитный или акустический) не имеют решающего значения. Необходимо отметить, что определяемая модуляционным методом разность фаз $\Delta\varphi$ имеет усредненное значение $\langle \Delta\varphi \rangle$ по всему массиву отражающих микро-зеркал.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пат. № 2 383 908 Российская Федерация МПК G02В 26/10 (2006.01) Устройство управляемого углового дискретного позиционирования оптического луча / В.В. Чесноков, Д.В. Чесноков, В.С. Корнеев; заявитель и патентообладатель: Сиб. гос. геодез. академ. (ГОУ ВПО СГГА); заявл. 16.06.08; опубл. 10.03.10; Бюл. № 7.
2. Корнеев В. С. Микромеханическая управляемая дифракционная решетка с изменяемым углом блеска // Оптический журнал. – 2010. – Т. 77. – № 5. – С. 69–71.

3. Косцов Э. Г., Соболев В. С. Низковольтный элемент программируемой полев динамической дифракционной решетки // Автометрия. – 2010. – Т. 46 – № 3. – С. 101–108.
4. Горелик Г.С. Применение модуляционного метода в оптической интерферометрии / Г.С. Горелик // Доклады Академии Наук СССР. – 83, 549 – 1952.
5. Корнеев В. С. Экспериментальное исследование крутильных колебаний полосок микромеханической управляемой дифракционной решетки // Вестник СГГА. – 2010. – Вып. 1 (12). – С. 177–121.
6. Корнеев В. С. Разработка и исследование оптических магнитоуправляемых микромеханических устройств : диссертация кандидата технических наук: 01.04.05 // [Место защиты: СГГА.]. – Новосибирск, 2010. – 84 с.: ил. РГБ ОД, 61 11-5/774.

© В. С. Корнеев, 2017

ТРИАНГУЛЯЦИОННЫЙ ЛАЗЕРНЫЙ ДАЛЬНОМЕР

Максим Николаевич Бондарь

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, аспирант кафедры автономных информационных и управляющих систем, тел. (383)346-26-23, e-mail: max_bond@mail.ru

Анастасия Дмитриевна Лаптева

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, студентка кафедры полупроводниковых приборов и микроэлектроники, тел. (383)346-08-77, e-mail: naskalapteva@gmail.com

Степан Александрович Буднов

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, аспирант кафедры автономных информационных и управляющих систем, тел. (383)346-26-23, e-mail: stepan_budnov@mail.ru

В работе рассматривается лазерный дальномер, в основу которого положен активный триангуляционный метод измерения расстояния с «базой на дальномере». Метод заключается в решении задачи треугольника по известной базе – стороне треугольника и измеренному углу между сторонами треугольника, образованными оптическими осями лазерного излучателя и фотоприемника.

Ключевые слова: лазерный дальномер, триангуляция, лазер, линейный фоточувствительный прибор, микроконтроллер.

TRIANGULAR LASER RANGEFINDER

Maxim N. Bondar

Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia, Novosibirsk, 20 K. Marksa Prospekt, graduate student, Department of Autonomous Information and Control Systems, tel. (383)346-26-23, e-mail: max_bond@mail.ru

Anastasia D. Lapteva

Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia, Novosibirsk, 20 K. Marksa Prospekt, student, Department of Semiconductor Devices and Microelectronics, tel. (383)346-08-77, e-mail: naskalapteva@gmail.com

Stepan A. Budnov

Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia, Novosibirsk, 20 K. Marksa Prospekt, graduate student, Department of Autonomous Information and Control Systems, tel. (383)346-26-23, e-mail: stepan_budnov@mail.ru

In this paper, considered a laser range finder based on an active triangulation method for measuring distances with a «base on a rangefinder». The essence of the method is the solution of the triangle task from the known base - the side of the triangle and the measured angle between the sides of the triangle formed by the optical axes of the laser emitter and the photodetector.

Key words: laser rangefinder, triangulation, laser, linear photosensitive device, microcontroller.

Высокоточное позиционирование объектов путем измерения расстояния между двумя объектами необходимо в строительстве, геодезии, военном деле, навигации и т. п. При этом растут требования к точности, предельной измеряемой дальности, темпу измерений, массе и габаритам аппаратуры. Аналог [1], выполненный на основе «подручных» компонентов, не обеспечивает указанные противоречивые параметры.

Известные дальномеры с фазовым или импульсным методом измерения расстояния обеспечивают заданные дальность и точность измерения, но отличаются высокой стоимостью электронных и оптических компонентов.

Триангуляционный (или параллаксный) метод измерения реализуется рационально для целого ряда применений с достаточными показателями по точности и дальности.

Суть данного метода заключается в решении задачи треугольника по известной базе – стороне треугольника и измеренному углу между сторонами треугольника, образованными оптическими осями лазерного излучателя и фотоприемного устройства.

Дальномер состоит из лазерного модуля поз. 1 и светосильного объектива поз. 2, в фокальной плоскости которого установлен линейный фоточувствительный прибор (ЛФП) поз. 3.

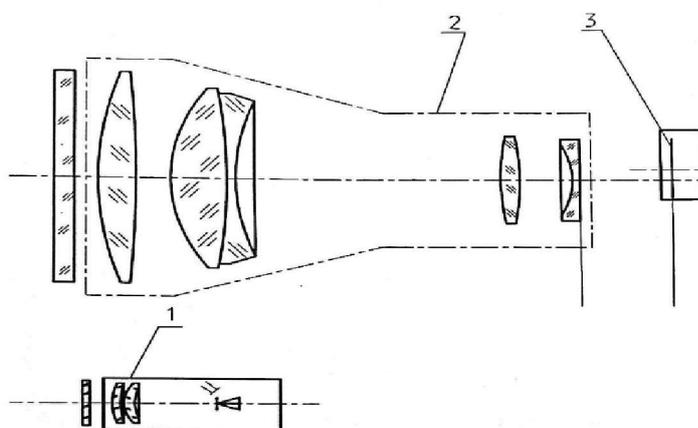


Рис. 1. Состав дальномера

Дальномер на основе метода триангуляции работает следующим образом. Лазерный модуль формирует оптическое пятно на предмете, до которого измеряется дальность. Объектив (диаметр 50 мм) формирует на ЛФП (формат 1024 элемента) изображение этого пятна, положение которого в пределах линейки элементов зависит от измеряемой дальности. Юстировка оптических осей показана на рис. 2.

Так как оптические оси лазерного пучка и дальномера параллельны и смещены друг относительно друга на постоянное расстояние, то изображение пятна на ЛФП смещено относительно оптической оси объектива, и величина этого сме-

щения зависит от измеряемой дальности до предмета. Смещение ЛФП относительно оптической оси приемного объектива определяет рабочий диапазон измерений по дальности.

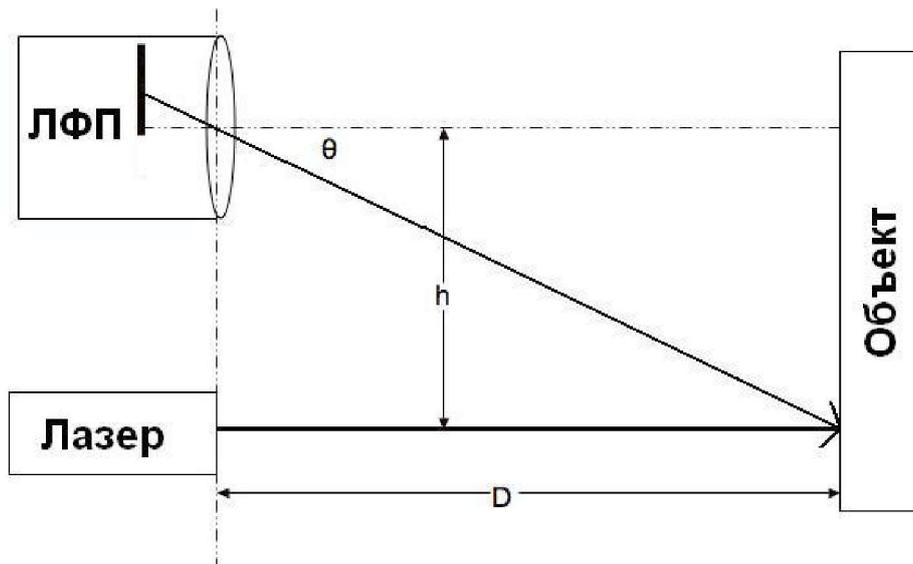


Рис. 2. Принцип измерения расстояния

Так как при изменении расстояния до экрана изменяется положение плоскости изображения относительно фокальной плоскости объектива, то изменяется и размер пятна на ЛФП, поэтому отсчет положения пятна ведется по расположению его центра тяжести.

Структурная схема лазерного дальномера (ЛД) показана на рис. 3.



Рис. 3. Структурная схема лазерного триангуляционного дальномера

После прихода команды на запуск, контроллер запускает излучатель и начинает процесс измерения. Оптическое излучение, отражённое от объекта, посту-

пает на ЛФП, после чего микроконтроллер обрабатывает с него сигналы, вычисляет координаты центра тяжести пятна, производит необходимые вычисления и преобразования, и передаёт соответствующее значение дальности на внешнее устройство.

В результате проведённой работы бы разработан лазерный дальномер на основе триангуляционного метода измерения.

Основные параметры ЛД приведены в таблице.

Таблица

Параметры ЛД

Наименование параметра, характеристика	Значение параметра
Диапазон измерения, м	1...12
Время готовности к работе, мин.	<0.5
Погрешность измерения, не более, мм	±10
Обмен информацией, тип интерфейса	RS-422
Диапазон рабочих температур, °С	-60 ... +60
Напряжение питания, В	4...12

Эпюры напряжений сигналов на выходе ЛФП приведены на рис. 4.

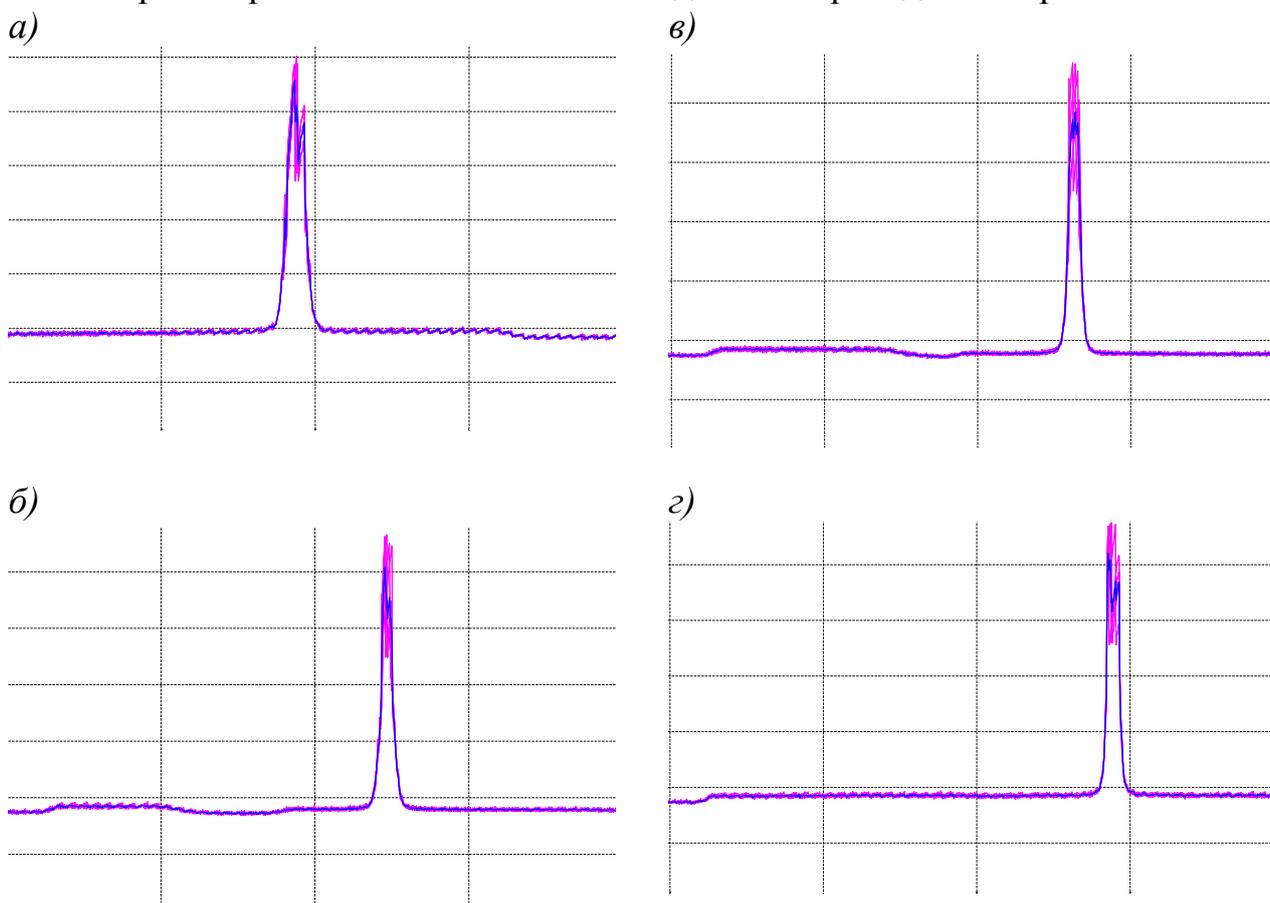


Рис. 4. Эпюры напряжений сигналов на выходе ЛФП:

а) 3.75 м; б) 5.82 м; в) 6,76 м; г) 9.08 м

Выводы: разработан лазерный дальномер двойного назначения, использующий триангуляционный метод измерения расстояния, с заданной точностью при минимальных габаритных размерах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лазерные приборы и методы измерения дальности / В. Б. Бокшанский, Д. А. Бондаренко, М. В. Вязовых, И. В. Животовский, А. А. Сахаров, В. П. Семенов. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. – 92 с.

2. T. Danko. "Webcam Based DIY Laser Rangefinder", 2009 // https://sites.google.com/site/todddanko/home/webcam_laser_ranger

© М. Н. Бондарь, А. Д. Лаптева, С. А. Буднов, 2017

СПЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ТРИНИТРОТОЛУОЛА В ШИРОКОЙ ОБЛАСТИ ЧАСТОТ

Валерик Сергеевич Айрапетян

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, доктор технических наук, зав. кафедрой специальных устройств и технологий, тел. (383)361-07-31, e-mail: kaf.suit@ssga.ru

Татьяна Валерьевна Маганакова

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, аспирант, тел. (913)795-71-01, e-mail: Maganakova88@mail.ru

Проведен спектрохимический анализ тринитротолуола (ТНТ) в широкой области частот, от 500 до 3500 см⁻¹. Рассмотрен метод дифференциального поглощения и рассеяния для дистанционного определения тринитротолуола.

Ключевые слова: взрывчатые вещества, дифференциальное поглощение и рассеяние.

SPECTROCHEMICAL FEATURES OF TNT IN A WIDE FREQUENCY AREA

Valerik S. Ayrapetyan

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., D. Sc., Head of the Department of Special Devices and Technologies, tel. (383)361-07-31, e-mail: kaf.suit@ssga.ru

Tatyana V. Maganacova

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., student, tel. (913)795-71-01, e-mail: Maganakova88@mail.ru

A spectrochemical analysis of TNT (trinitrotoluene) in a wide frequency range was carried out, from 500 to 3500 cm⁻¹. The method of differential absorption and scattering for the remote determination of explosives is considered.

Key words: explosives, differential scattering and absorption.

Существует ряд проблем при идентификации и детектировании взрывчатых веществ (ВВ) в открытой атмосфере на большом расстоянии: относительно малое количество паров искомого ВВ ($10^{-12} - 10^{-15}$ г/см³), доступное для анализа, связанное с низким давлением насыщенных паров при комнатной температуре для большинства распространенных ВВ; в большинстве случаев ВВ не являются индивидуальными соединениями, а представляют с собой смеси, содержащие в своем составе как примеси и добавки, так и продукты химических превращений ВВ, которые вносят свой вклад в пробах воздуха, взятых с поверхности образцов ВВ [1,2].

В настоящей статье рассмотрен и проанализирован спектр ИК-поглощения молекулы TNT, в широкой области частот (3500 – 500 см⁻¹), проведен спектрохимический анализ и отнесение наблюдаемых полос.

В УФ и видимом диапазонах спектры поглощения ВВ характеризуются наличием широких полос без каких-либо характерных особенностей. В то же время в средней и ИК области, от 2500 см^{-1} (4 мкм) до 1100 см^{-1} (9 мкм), колебательно-вращательные спектры поглощения молекул ВВ обладают высокой специфичностью, определяемой их симметрией и химическим составом, что позволяет с достаточной точностью относить отдельные спектральные линии к вполне определенному химическому соединению. Именно в этой области спектра находятся фундаментальные колебательно-вращательные переходы молекул практически всех известных ВВ. Казалось бы, что по этой причине методы ИК лазерной спектроскопии должны представлять наибольший практический интерес для обнаружения и идентификации ВВ. Однако, основная проблема большинства обсуждаемых методов на сегодняшний день является отсутствие в ИК диапазоне перестраиваемых лазерных источников света достаточной мощности [1,3,4,5,6,7].

Значения расчетных теоретических $\nu_{\text{теор}}$ колебательных частот для молекулы ТНТ, а так же результаты теоретических расчетов ($\nu_{\text{теор}}$) и экспериментальные данные ($\nu_{\text{эксп}}$) из [2] и их отнесение приведены в таблице.

Таблица

Теоретические и экспериментальные частоты и их отнесение для молекул ТНТ и их отнесение

I, интенсивность	$\nu_{\text{теор}}$	$\nu_{\text{теор}}, \text{см}^{-1}$ [2]	$\nu_{\text{эксп}} (\text{Газ}) \text{см}^{-1}$ [2]	Отнесение
31.5009	701.40	726	725.5сл.	ρ 2,4,6 C-N, CH кольца вне плоскости
4.5475	774.16	779	790,3сл.	ω 2,6 NO ₂ , CH кольца вне плоскости
8.9204	797.19	816	827,4 сл.	δ 2,4,6 NO ₂ в плоскости
16.1700	893.61	885 917	908,1 сл.	ω CH в плоскости, δ 2,6 NO ₂ в плоскости, ν C-N
42.4336	1120.69	1145 1156	1168,3 о.сл	ρ C-C, CH кольца в плоскости, ν 2,4,6 CN, C-CH ₃
300.9212	1278,92			2,6 NO ₂ ω , ρ C-C, CH кольца в плоскости
248.3420	1280,98			2,4,6 NO ₂ ω , ν C-CH ₃ , CH кольца в плоскости
5.7925	1381.68	1346 1352	1350,4 с.	ν 4NO ₂ , C-N, δ CH кольца в плоскости
39.6301	1428.95	1437	1436,7 о.сл	ν C-C кольца, ρ CH кольца в плоскости
112.3516	1467.46		1510,3 пл.	ω CH ₃
42.8814	1517.84	1565 1582	1560,5 о.с.	$\nu_{\text{ас}}$ 2,6 NO ₂ , δ CH кольца в плоскости
24.6510	1643.83	1599 1600 1627	1609,6 ср.	$\nu_{\text{ас}}$ 2,4,6 NO ₂ , δ CH кольца в плоскости

I, интенсивность	$\nu_{\text{теор}}$	$\nu_{\text{теор}}, \text{см}^{-1}$ [2]	$\nu_{\text{эксп}} (\text{газ}) \text{см}^{-1}$ [2]	Отнесение
I, интенсивность	$\nu_{\text{теор}}$	$\nu_{\text{теор}}, \text{см}^{-1}$ [2]	$\nu_{\text{эксп}} (\text{газ}) \text{см}^{-1}$ [2]	Отнесение
5.1195	3160.73	3034	2860,0 пл	$\nu_{\text{ас}} \text{C-H}(\text{CH}_3)$
3.5404	3197.14		2900,1 сл	$\nu_{\text{ас}} \text{C-H}(\text{CH}_3)$
38.1097	3276.86	3112	3022,4 о.сл.	$\nu_{\text{с}} \text{C-H}$ кольца
13.9437	3276.33	3159	3108,5 сл	$\nu_{\text{ас}} \text{C-H}$ кольца

Примечание. Применяются следующие обозначения: ν – валентное, δ – деформационное, ω – изгибное, ρ – маятниковое, q – ножничное, s – симметричное, as – антисимметричное колебания; о.с. – очень сильная, с. – сильная, ср. – средняя, сл. – слабая, о.сл. – очень слабая полоса.

Структура молекулы TNT, которая смоделирована с помощью программы GaussView, представлена на рис. 1. С помощью смоделированной молекулы был сделан квантово-химический расчет на основе ТФП с гибридными функционалами B3LYP и базисным набором 3-21G. Полученные результаты частот и интенсивностей колебательных полос (рис. 2) близки к соответствующим значениям, рассчитанным и экспериментально полученным из [2].

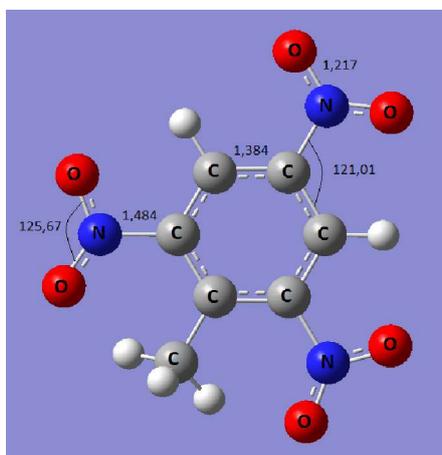


Рис. 1. Структура молекулы TNT

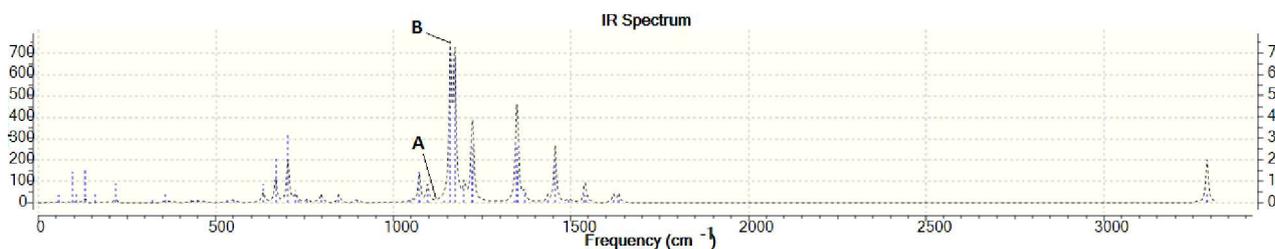


Рис. 2. Теоретический ИК-спектр TNT в диапазоне от 3500 до 500 см^{-1}

Из таблицы и рис. 2 видно что наиболее интенсивные полосы ИК-поглощения молекулы ТНТ с частотами вблизи 1250 и 1500 см⁻¹ относятся к валентным колебаниям группы NO₂. Полосы в области 3 мкм и 9-12 мкм обладают заметно меньшей интенсивностью и характеризуют различные колебания С-Н связей и кольца, включая целый набор колебаний (изгибное, маятниковое, ножничное и др.).

Одним из высокочувствительных и оперативных методов дистанционной диагностики взрывчатых веществ в настоящее время является лазерное зондирование, основанное на принципе дифференциального поглощения и рассеяния (ДПР). С помощью установки, посредством плавной перестройки частоты излучения, лазерный импульс, проходя через вещество, устанавливается на максимуме линии поглощения в т. В, затем, на крыле этой линии в т. А (Рис.2). Что может более точно проанализировать и получить сигналы в районе 1250 и 1500 см⁻¹.

Сигналы двух импульсов регистрируются фотодетектором и сравниваются в АЦП. Дифференциальное значение этих двух сигналов выводится на монитор ПК в виде колебательно - вращательных спектров поглощения молекулами ВВ. Благодаря этому, метод ДПР обладает наилучшей чувствительностью при зондировании определенных составляющих с больших расстояний [5,6,7].

Проведенный анализ показывает, что молекула ТНТ обладает высокой специфичностью в области от 1250 до 1500 см⁻¹, что в свою очередь для обнаружения и детектирования применим метод дифференциального поглощения и рассеяния, и разработанный параметрический лазерный комплекс с плавной перестройкой частоты излучения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Айрапетян В. С., Маганакова Т. В. Дистанционное измерение параметров взрывчатых веществ методом лазерной спектроскопии // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2016. XII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Специальные вопросы фотоники: Наука. Оборона. Безопасность»: сб. материалов (Новосибирск, 18–22 апреля 2016 г). – Новосибирск : СГУГиТ, 016. – С. 88–93.
2. Спектрохимические особенности некоторых бризантных взрывчатых веществ в паробразном состоянии / Набиев Ш. Ш., Ставровский Д. Б., Палкина Л. А., Збарский В. Л., Юдин Н. В., Голубева Е. Н., Вакс В. Л., Домрачева Е. Г., Собакинская Е. А., Черняева М. Б. // Оптика атмосферы и океана, 2013, 26 № 4 – С. 273–285.
3. Скворцов Л. А. Лазерные методы обнаружения следов взрывчатых веществ на поверхностях удаленных объектов (обзор) // Квантовая электроника, 42, №1, 2012 – Москва. – С. 1–
4. Скворцов Л. А. Дистанционное (Standoff) обнаружение скрытых взрывчатых веществ, холодного и огнестрельного оружия с помощью методов импульсной терагерцовой спектроскопии и активного формирования спектральных изображений (обзор) // Журнал прикладной спектроскопии. Т. 18, № 5 (сентябрь-октябрь 2014). – Москва. – С. 653–678.
5. Токсикологическая химия : учеб. пособие. / Р. У. Хабриев [и др.]; под ред. Р. У. Хабриева, Н. И. Калетиной. – М.: ГЭОТАР – Медиа., 2010. – 752 с.
6. Айрапетян В. С., Маганакова Т. В. Обнаружение и измерение параметров наркотических веществ с помощью перестраиваемого ИК-лазера // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «СибОптика-2014»: сб. материалов в 2 т (Новосибирск, 8–18 апреля 2014 г). – Новосибирск : СГГА, 2014. Т. 2. – С. 199–204.

7. Айрапетян В. С., Маганакова Т. В. Лазерное зондирование в задаче обнаружения и измерения параметров наркотических веществ // Вестник СГГА. – 2014. – Вып. 2 (26). – С. 40–
8. Айрапетян В. С., Маганакова Т. В. Расчет концентрации наркотических веществ методом дифференциального поглощения и рассеяния // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015. XI Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «СибОптика-2015» : сб. материалов в 3 т (Новосибирск, 13–25 апреля 2015 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2015. Т 1. – С. 141–147.
9. Межерис Р. Лазерное дистанционное зондирование атмосферы. - М. : Мир, 1987. – 548 с.
10. Ахманов С. А., Никитин С. Ю. Физическая оптика : учебник 2-е издание. – М. : Изд-во МГУ; Наука, 2004. – 656 с.
11. Ельяшевич М.А. Атомная и молекулярная спектроскопия. - М. : Физматгиз, 1962. – 892 с.
12. Кабанов М. В., Андреев Ю. М., Гейко П. П. Мониторинг эмиссии антропогенного и природного метана. Докл. II Международной конференции по сокращению эмиссии метана, Новосибирск, 2000. – 800 с.
14. Айрапетян В. С. Внерезонаторная параметрическая генерация с плавной и (или) дискретной перестройкой частоты излучения// Вестник НГУ сер. Физика.- 2009, № 3. - С. 20–24.
15. Rothman L.S., Gamache R.R., Tipping R.N. e.a. The HITRAN Molecular Database: edition of 1991 and 1992, JQSRT., 1992. v.48, pp.469 – 507.

© В. С. Айрапетян, Т. В. Маганакова, 2017

ПРИМЕНЕНИЕ И РАЗВИТИЕ ПРИБОРОВ НОЧНОГО ВИДЕНИЯ В СОВРЕМЕННОЙ АРМИИ

Николай Николаевич Бардачевский

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат географических наук, доцент кафедры специальных устройств и технологий, тел. (383)361-07-31, e-mail: bardachevskiy@ngs.ru; Новосибирское высшее военное командное училище, 630117, Россия, г Новосибирск, ул. Иванова, 49, доцент кафедры, тел. (383)332-50-45

Владимир Анатольевич Литовченко

Новосибирское высшее военное командное училище, 630117, Россия, г Новосибирск, ул. Иванова, 49, начальник учебной лаборатории кафедры разведки (и воздушно-десантной подготовки), тел. (383)332-50-45, e-mail: litovchienko.vladimir@mail.ru; Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г Новосибирск, ул. Плахотного, 10, аспирант кафедры метрологии и технологии оптического производства, тел. (923)100-89-86

Денис Владимирович Гришаев

Новосибирское высшее военное командное училище, 630117, Россия, г Новосибирск, ул. Иванова, 49, курсант 4-го курса батальона войсковой разведки, тел. (923)145-55-07

Приборы ночного видения на протяжении уже нескольких десятилетий занимают важное место в современной технике. В данной статье рассмотрены и определены общие тенденции развития приборов ночного видения и возможности оптимизации их отдельных направлений.

Ключевые слова: приборы ночного видения, биноккулярные зрительные трубы, оптические приборы, фотоэлектронные приборы, принцип инфракрасного излучения, фотоумножители, микроканальная технология, фотокатоды на арсениде галлия.

APPLICATION AND DEVELOPMENT OF NIGHT VISION INSTRUMENTS IN THE MODERN ARMY

Nikolai N. Bardachevsky

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., assistant Professor of special devices and technologies, tel. (383)361-07-31, e-mail: bardachevskiy@ngs.ru; Novosibirsk Higher Military Command School, 630117, Russia, Novosibirsk, 49 Ivanova St., associate Professor, tel. (383)332-50-45

Vladimir A. Litovchenko

Novosibirsk Higher Military Command School, 630117, Russia, Novosibirsk, 49 Ivanova St., head of the laboratory of the department of educational intelligence (and airborne training), tel. (383)332-50-45, e-mail: litovchienko.vladimir@mail.ru; Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., graduate student metrology and optical production technology, tel. (923)100-89-86

Denis V. Grishaev

Novosibirsk Higher Military Command School, 630117, Russia, Novosibirsk, 49 Ivanova St., Cadet 5 course battalion of the Army Intelligence, tel. (923)145-55-07

Night vision devices for the past several decades, occupy an important place in contemporary art. This article describes and optimizes common types of night vision devices and possibilities to optimize their individual on-boards.

Key words: night vision devices, binocular telescopes, optical instruments, photoelectronic devices, the principle of infrared radiation, photomultipliers, microchannel technology, photocathodes on gallium arsenide.

Приборы ночного видения (ПНВ) – класс оптико-электронных приборов, обеспечивающих оператора изображением местности в условиях недостаточной освещенности.

Приборы ночного видения на протяжении уже нескольких десятилетий занимают важное место в современной технике. ПНВ широко используются в военной технике для обеспечения боевых действий ночью (разведка, прицеливание, вождение боевых машин и т.д.). За последние годы ПНВ активно применяются и в гражданской технике для разведки и добычи полезных ископаемых, спасательных работ, астрономических исследований, производственного и экологического контроля, ночной навигации и вождения авто транспортных средств в специальных климатических и погодных условиях, ночной видеосъемки, работы спецслужб, правоохранительных органов и таможенных служб, в медицине, для ночной охоты и рыбной ловли, в системах охраны и пожаротушения и др. [3].

«Видеть – значит различать врага и друга и окружающее во всех подробностях...» – писал замечательный советский физик С. И. Вавилов [2].

Еще более двухсот лет назад, великий русским ученым М. В. Ломоносовым была предвосхищена современная идея совершенствования человеческого зрения путем использования промежуточного звена между объектом наблюдения и глазом человека – интерфейса. Современная оптика широко использует светосильные объективы с большим входным отверстием для работы в сумерки и даже ночью. Так, например, биноклярные зрительные трубы с объективами диаметром 100 мм и увеличением 10^x успешно применяются для наблюдения в сумерки и при естественной ночной освещенности порядка нескольких сотых долей люкса [2].

В огромном спектре электромагнитных волн, простирающемся от гамма-излучения с длиной волны менее сотой нанометра до радиоизлучения с длинами волн десятки километров, спектральная чувствительность глаза человека представляет узенькую полоску от 0,4 до 0,76 мкм в видимой области. Несмотря на кажущуюся ограниченность, объем информации об окружающем нас мире, получаемый с помощью зрения, настолько велик и многообразен, что все остальные органы чувств являются дополнением, хотя и могут поставлять информацию, опережающую по времени зрение. Объем информации, поступающий от органов зрения, составляет, по данным науки, 90% всей информации органов чувств человека. Зрительный анализатор содержит глаз, зрительные нервы и клетки затылочной части коры головного мозга, в которой происходит восприятие и анализ изображения, создаваемого глазом. Глаз осуществляет преобразо-

вание изображения наблюдаемого пространства светочувствительным приемником – сетчаткой, состоящей из фоторецепторов двух видов: палочек и колбочек, которые поглощают оптическое излучение и превращают принятый оптический сигнал в нервные импульсы, которые по зрительным нервам передаются в головной мозг [1].

В фовеальной области глаза, расположенной на оптической оси хрусталика палочек нет, а так как колбочки не чувствительны к свету, в том числе и к сумеречному, то фовеальное зрение непригодно для рассматривания тусклых неконтрастных объектов после наступления темноты. И здесь вступает в силу аппарат палочек, расположенный на периферии. Разрешающая способность глаза при солнечном свете обеспечивается колбочками и составляет 0,5 - 1 угл. мин, а в сумерки она падает, передавая свои функции аппарату палочек. При этом спектральная чувствительность глаза смещается в сторону более коротких волн, а ее максимум с длины волны 0,55 мкм переходит на длину волны 0,51 мкм (пунктирная кривая на рис. 1) [2].

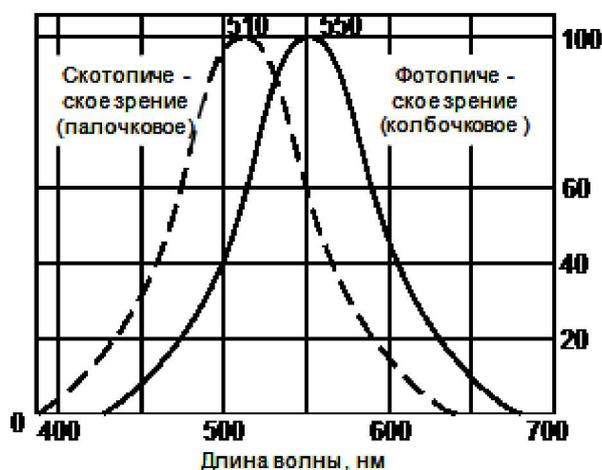


Рис. 1. Кривые спектральной чувствительности глаза:

1 – в светлое время суток; 2 – в темноте

Еще одним весьма важным свойством зрительного аппарата человека является способность к адаптации – изменению чувствительности в зависимости от освещенности на зрачке. Известно, например, что в сумерки глаз способен чувствовать яркость, в 100 раз меньшую, чем в дневное время. Световая адаптация имеет место при внезапном нарушении темноты.

Известно, для того чтобы видеть какой-либо предмет необходимо, чтобы этот предмет был освещен. Успешная работа зрения зависит от степени освещенности наблюдаемой картины. В дневное время, когда освещенность создается светом Солнца, глаз человека обладает наибольшей цветовой и контрастной чувствительностью. В сумерки, когда солнечный диск постепенно уходит за линию горизонта освещенность падает в зависимости от глубины погружения Солнца.

Уменьшение освещенности вызывает ухудшение работы зрения, а, следовательно, сокращение дальности наблюдения и ухудшение цветоразличия [2].

В ночное время освещенность создается Луной, отражающей свет Солнца, а в ее отсутствие – звездным светом. Лунный свет в основном обладает теми же спектральными характеристиками, что и солнечный, но только ослабленными в 10^{-5} раз. Звездный же свет при безоблачном небе создает освещенность, величина которой составляет лишь 0,1% освещенности в полнолуние. При этом спектральная характеристика звездного света по интенсивности имеет тенденцию к повышению в ближней ИК-области, вследствие чего наблюдение в этих условиях невооруженным глазом, даже адаптированным, практически невозможно, так как в этой спектральной области глаз уже не обладает чувствительностью. На рис. 2 приводятся данные уровней естественной освещенности днем и ночью, а также функции зрения при дневном свете, в период темновой адаптации и в условиях естественной ночной освещенности (ЕНО) [2].

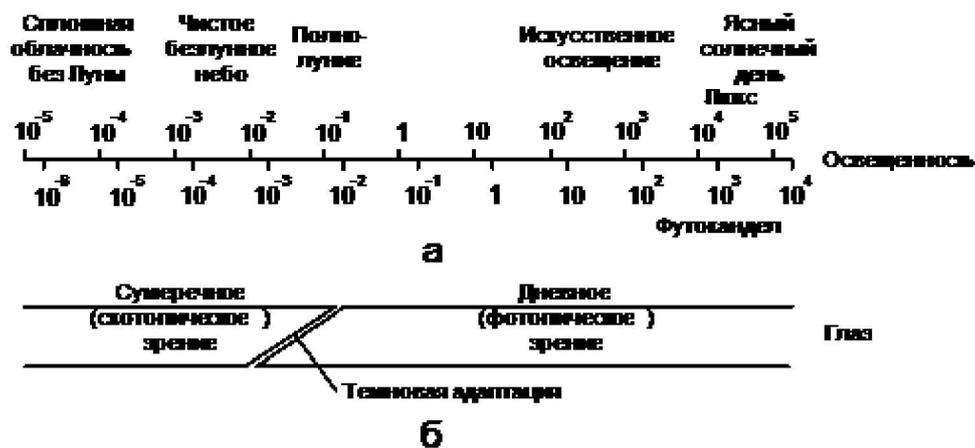


Рис. 2. Естественные уровни освещенности (а), зрение и процесс темновой адаптации (б)

В дневное время и в сумерки разрешающую способность глаза можно улучшить за счет наблюдения в оптические приборы. Но с дальнейшим уменьшением освещенности дневное (фотопическое) зрение прекращается и начинает действовать аппарат темновой адаптации, обеспечивающий сумеречное (скотопическое) зрение.

В ночное время эти возможности ограничены настолько, что человек даже на открытой местности способен наблюдать только крупногабаритные объекты.

Исключая видимый диапазон длин волн, определенно можно сказать, что ближняя инфракрасная (от 0,4 до 0,7 мкм), средняя и дальняя инфракрасные (от 3 до 6 и от 8 до 14 мкм) области спектра являются основой создания систем видения в условиях ограниченной видимости, т. е. ночью и при плохой видимости из-за атмосферных условий днем [2].

Приведенные примеры в совокупности с техническими характеристиками оптических приборов, уровнями естественной ночной освещенности и другими

показывают, что решение проблемы ночного видения всегда заключалось в создании прибора, чувствительного в области 0,75–0,9 мкм, с последующим преобразованием картины в этом диапазоне в диапазон длин волн, доступный глазу. Только в этом случае могла быть решена задача на блюдения целей в темноте.

Разработка приборов ночного видения учеными и инженерами в нашей стране активно началась в 30-х годах XX века. Именно в это время появились первые фотоэлектронные приборы.

Одним из первых ПНВ в Советском Союзе стала система «Квант», в основе которой лежал принцип инфракрасного излучения. Для работы прибора был необходим отраженный от окружающих объектов инфракрасный свет, а сам ЭОП имел фотокатод и люминесцирующий экран. Сам «Квант» – достаточно крупногабаритный по своим размерам комплекс – сначала планировалось устанавливать на самолетах. Однако позже проект был перенацелен на танки. Разрабатывались подобные системы и для ВМФ. К началу Великой Отечественной войны только Черноморский флот располагал 15 комплектами корабельных систем ночного видения. А к середине осени 1941-го моряки-черноморцы получили еще восемнадцать.

Осенью 1943 года сотрудники Всероссийского электротехнического института создали ночной прицел для стрелкового оружия. По понятным причинам его не удалось укомплектовать прожектором подсвета. Тем не менее, при использовании внешнего источника ИК-излучения система работала неплохо. Претензии вызывала небольшая дальность действия – даже в 1945 году у лучших прототипов этот показатель не превышал 150-200 метров.

По окончании Великой Отечественной войны наши ученые получили возможность сравнить свои разработки с трофейными. Оказалось, что хваленая немецкая аппаратура по своим показателям практически не отличалась от отечественной [6].

Качественные изменения в приборах ночного видения произошли в конце 50 – начале 60-х годов, когда начатые еще немецкими исследователями работы по созданию электронно-оптических преобразователей с усилителями яркости изображения были успешно завершены учеными и инженерами ведущих стран мира.

С разработкой электронно-оптических преобразователей с усилителями яркости изображения II поколения настал, по определению печати, «золотой век» ИК-техники, когда ПНВ приобрели компактность и массу, близкие к дневным приборам. Появились ночные бинокли и даже очки, что существенно приблизило решение задачи, поставленной перед современной техникой: превращение ночи в день.

Конфронтация между Великобританией и Аргентиной из-за Фолклендских (Мальвинских) островов явилась своеобразной проверкой эффективности техники ночного видения. Военные действия, начавшиеся на море, завершились высадкой британских войск на острова, где ночное наступление воздушно-десантных войск и войск специального назначения, оснащенных приборами ночного видения и тепловизионными приборами, не только состоящими на вооружении, но и опытными и лабораторными образцами (как отмечала печать западных

стран) со всей ясностью показала эффективность ведения боевых действий в ночное время, возможность которых была обеспечена за счет интенсивного использования приборов ночного видения [2].

В настоящее время положение существенно изменилось и боевые действия в условиях ограниченной видимости ночью и в непогоду или из-за применения противником средств искусственной маскировки можно вести без особых ограничений, так как повысились тактико-технические характеристики новых приборов и значительно возросло их число в войсках [2].

Существует несколько типов приборов ночного видения: прицелы, бинокли, монокуляры и очки. Все они преследуют различные цели и применяются в различных ситуациях, но одно их объединяет – наличие электронно-оптического преобразователя. От его эффективности зависит качество полученного изображения и эффективность прибора в целом. Эффективность ПНВ определяется технически с помощью поколений, где выделяются три основных поколения (I, II, III) и два промежуточных (I+ и II+) [7]. Хотя в некоторых источниках классификация на «поколения» считается условной и связана в первую очередь с этапами развития усилительной трубки. Ими считается, что существует четкого определения или стандартизации термина «поколение» [8].

По принятой в мире технологии в общем виде можно определить следующее:

Первое поколение. Основа технологии – фотоумножители, поставленные между фотокатодом и окуляром, что позволяло добиться многократного усиления видимого ИК света с переводом последнего в видимый диапазон.

Второе поколение. Применена микроканальная технология, что позволило избавиться от паразитной засветки. Благодаря принципу работы микроканальных пластин достигается гораздо более сильное усиление картинки, чем это было возможно в предыдущих поколениях. К тому же появилась система защиты от вспышек. Яркая точка на изображении оставалась точкой и не засвечивала соседние каналы.

Третье поколение. Применены фотокатоды на арсениде галлия, что позволило ещё больше увеличить коэффициент усиления света и уменьшить габариты приборов. Прогресс этой ступени развития основывается как на дальнейшем улучшении управляющей электроники, микроканальной пластины и люминесцентного экрана, так и на новом покрытии фотокатода. Смесь элементов галлия и мышьяка дала значительное увеличение светочувствительности [7].

В настоящее время американские войска оснащены т. н. «filmless» или «thin filmed» трубами, которые очень чувствительны в глубокой ИК зоне. У этих ЭОП увеличено время жизни (около 15000 ч.) и, также улучшена защита от яркого света. Но, не смотря на то, что достигнута большая производительность, производители не уверены, что эти ЭОП могут быть официально признаны 4-м поколением [8].

Последние европейские разработки также показывают на практике неплохие результаты, они без проблем работают днем, а благодаря новым покрытиям фотокатода изображение становится все качественнее [8].

В настоящее время для обеспечения всепогодности, круглосуточности, высокой помехозащищенности, а также повышения вероятности обнаружения и опознавания потребовалось создание нового поколения приборов, включающих один или несколько независимых оптико-электронных каналов. Такие приборы называются комбинированными, комплексированными или интегрированными. Ни один из самостоятельных низкоуровневых каналов визуализации изображения не обеспечивает всей совокупности требований, стоящих перед приборами видения ночью. Обеспечение выполнения этих требований возможно при использовании комплекса приборов, включающих различные дополняющие друг друга каналы, то есть путем комбинирования и комплексирования [3].

Под комбинированными ПНВ понимают систему, состоящую из не скольких каналов, работающих в различных областях спектра, имеющую единый вход и интегрированную систему обработки сигнала.

Следует отметить, что использование рабочего диапазона 8-12 мкм более эффективно при задымлении поля боя, чем диапазона 3-5 мкм, который более эффективен при повышенной влажности, а в том числе за счет более высоких температурных контрастов. Таким образом, при различных соотношениях концентраций газов и паров воды в атмосфере эффективность оптико-электронных средств различного диапазона будет различаться [4].

Таким образом, оптико-электронные средства тепловизионного диапазона обладают возможностью круглосуточной работы, но более низкой информативностью чем оптико-электронные средства видимого и ближнего ИК-диапазонов. Поэтому комплексирование средств наблюдения различных спектральных диапазонов позволяет добиться непрерывного круглосуточного ведения разведки [4].

При ведении разведки наблюдением основной задачей является определение координат обнаруженных целей. Основную помощь на этом этапе оказывают лазерные дальномеры, которые предназначены для ведения разведки и наблюдения за местностью, измерения дальности до подвижных и неподвижных объектов, определения координат (в комплекте с углоизмерительным устройством) целей [5]. Важным здесь, как раз, и является возможность вести разведку в различных областях спектра.

Например, лазерный дальномер ЛПР-4 предусматривает работу приемопередатчика и без установки его на углоизмерительную платформу и треногу – работу с рук. При этом измерение горизонтальных и вертикальных углов проводится с помощью электронного компаса, встроенного в приемопередатчик [5]. Очень важным является то, что приемопередатчик лазерного дальномера дополнительно включает в себя дневной оптический визир, ночной визирный канал, выполненный на электронно-оптическом преобразователе 3-го поколения, телевизионную систему дневного -ночного видеонаблюдения, электронный компас и систему спутниковой навигации ГЛОНАСС/ GPS, что значительно облегчает ведение разведки и определение координат целей.

Многообещающее будущее для новых поколений ПНВ заключается в увеличении поля зрения, уменьшении размеров приборов, а также в комбинировании ПНВ и тепловизоров. Благодаря новым светочувствительным покрытиям из

наночастиц успешно проводятся эксперименты в направлении улучшения и уменьшения. Современные ПЗС-системы (прибор с зарядовой связью) в настоящее время не в состоянии заменить классические вакуумные усилительные трубы [6]. Они имеют отличные характеристики по усилению света, до 60000 раз, куда более дешевы в производстве, нежели ЭОП, не боятся засветок и могут быть использованы в дневное время суток без каких либо ограничений. Так же они имеют ряд преимуществ и недостатков, которыми обладают все современные цифровые приборы [7]. Но можно быть точно уверенным, что какие-то интересные прототипы от частных производителей или государственных учреждений держатся в тайне и постепенно тестируются [6].

На основе материалов научных изданий и ведущихся работ можно определить общие тенденции развития приборов ночного видения и возможности оптимизации их отдельных направлений. Развитие техники ночного видения должно идти следующими путями: совершенствование элементов в канале визуализации изображения; разработка новых схемно-конструктивных решений с учетом критерия «эффективность/стоимость», расширение области применения приборов и технологическая отработка конструкций. Дальнейшее продвижение по указанным направлениям связано с решением целого ряда научно-технических проблем.

Естественно, что решение этих проблем должно опираться на новейшие достижения опто- и микроэлектроники, ТВ техники, информационных технологий и других смежных областей [3].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Грузевич Ю. К. Оптико-электронные приборы ночного видения. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2014. – 276 с. – ISBN 978-5-9221-1550-6.
2. Орлов В. А., Петров В. И. Приборы наблюдения ночью и при ограниченной видимости. – М. : Воениздат, 1989. – 256 с.
3. Специальное конструкторское бюро техники ночного видения (СКБ ТНВ). Приборы и прицелы ночного видения в СССР/России. История создания / Н. Ф. Кошавцев, Ю. Г. Эдельштейн, В. Г. Волков, А. А. Толмачев, С. Ф. Федотова, Т. К. Кирчевская. – Режим доступа : <http://www.ak-info.ru/>.
4. Чунарев Д. А., Давыдова Л. Г. Многоканальные приборы. Научно-технический журнал «Контенант». Том 14, № 4, 2015. – С. 51–54.
5. Бардачевский Н. Н., Литовченко В. А. Применение лазерных дальномеров в военном деле // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2016. XII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Специальные вопросы фотоники: Наука. Оборона. Безопасность» : сб. материалов (Новосибирск, 18–22 апреля 2016 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2016. – С. 78–84.
6. Отечественные приборы ночного видения. Армейский вестник. Интернет журнал. – Режим доступа : <http://army-news.ru/>.
7. Приборы ночного видения. Военные материалы. – Режим доступа : <http://50bmg.ru/>.
8. Развитие техники ночного видения: поколения ПНВ. – Режим доступа : <http://www.laser-portal.ru/>.

© Н. Н. Бардачевский, В. А. Литовченко, Д. В. Гришаев, 2017

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТАНДАРТИЗАЦИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА СПЕЦИАЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ НА ПРИМЕРЕ РАБОТЫ АО «НИИЭП» С ТЕХНИЧЕСКИМИ КОМИТЕТАМИ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Амир Энверович Алямов

АО «Научно-исследовательский институт электронных приборов», 630005, Россия, г. Новосибирск, ул. Писарева, 53, генеральный директор, тел. (383)216-05-52, e-mail: niiep@oaoniiiep.ru

Юрий Маркович Фартышев

АО «Научно-исследовательский институт электронных приборов», 630005, Россия, г. Новосибирск, ул. Писарева, 53, заместитель генерального директора по качеству, тел. (383)216-05-52, e-mail: niiep@oaoniiiep.ru

Максим Михайлович Кузнецов

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры специальных устройств и технологий, тел. (913)921-44-39, e-mail: a9214439@yandex.ru

Галина Сергеевна Чудакова

АО «Научно-исследовательский институт электронных приборов», 630005, Россия, г. Новосибирск, ул. Писарева, 53, инженер по стандартизации 1-й категории, тел. (383)216-05-52, e-mail: niiep@oaoniiiep.ru

В статье рассказывается об опыте работы научно-исследовательского института электронных приборов с техническими комитетами по стандартизации Российской Федерации, о собственном опыте организации в работах по стандартизации, приводится общий анализ разрабатываемых в стране государственных и межгосударственных стандартах.

Ключевые слова: стандартизация, технический комитет по стандартизации, межгосударственный стандарт.

THE USE OF STANDARDIZATION TO IMPROVE THE QUALITY OF SPECIAL PRODUCTS ON THE EXAMPLE OF JS NIIEP WITH TECHNICAL COMMITTEES ON STANDARDIZATION OF THE RUSSIAN FEDERATION

Amir E. Alamov

Scientific research Institute of electronic devices, 630005, Russia, Novosibirsk, 53 Pisarev St., General Director, tel. (383)216-05-52, e-mail: niiep@oaoniiiep.ru

Yuriy M. Fartyshev

Scientific research Institute of electronic devices, 630005, Russia, Novosibirsk, 53 Pisarev St., Deputy General Director for quality, tel. (383)216-05-52, e-mail: niiep@oaoniiiep.ru

Maksim M. Kuznetsov

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., Ph. D., associate Professor of the Department of special devices and technologies, tel. (913)921-44-39, e-mail: a9214439@yandex.ru

Galina S. Chudakova

Scientific research Institute of electronic devices, 630005, Russia, Novosibirsk, 53 Pisarev St., standardization engineer of 1 category, tel. (383)216-05-52, e-mail: niiep@oaoniiiep.ru

The article describes the experience of scientific-research Institute of electronic devices with technical committees on standardization of the Russian Federation, about their own experience of the Institute in standardization work, provides a General analysis of developed country state and interstate standards.

Key words: standardization, technical Committee for standardization, MeeGo-state standard.

Как известно, стандартизация — деятельность по разработке, опубликованию и применению стандартов, по установлению норм, правил и характеристик в целях обеспечения безопасности продукции, работ и услуг для окружающей среды, жизни, здоровья и имущества, технической и информационной совместимости, взаимозаменяемости и качества продукции, работ и услуг в соответствии с уровнем развития науки, техники и технологии, единства измерений, экономии всех видов ресурсов, безопасности хозяйственных объектов с учётом риска возникновения природных и техногенных катастроф и других чрезвычайных ситуаций, обороноспособности и мобилизационной готовности страны.

«Научно-исследовательский институт электронных приборов» является стратегическим предприятием оборонно-промышленного комплекса Российской Федерации, применяющим при разработке и производстве продукции стандарты, попадающие под деятельность большого количества технических комитетов по стандартизации РФ и заинтересованного в повышении научно-технического уровня этих стандартов.

В соответствии с требованиями ГОСТ Р 1.1 [1] технические комитеты по стандартизации (ТК) созданы в Российской Федерации для сотрудничества заинтересованных организаций и органов власти при проведении работ по национальной, межгосударственной и международной стандартизации.

К числу основных задач деятельности ТК среди прочих относятся:

-подготовка заключений о возможности применения международных, региональных документов по стандартизации, национальных документов по стандартизации и сводов правил иностранных государств в закреплённой за данным ТК области деятельности для подтверждения соблюдения требований технических регламентов и включения данных стандартов и сводов правил в соответствующие перечни;

-проведение экспертизы официальных переводов на русский язык международных и региональных документов по стандартизации, национальных стандартов и сводов правил иностранных государств в закреплённой за данным ТК области деятельности.

Работы в области стандартизации специалистов организаций могут нести не только прямую выгоду посредством сокращения затрат на производство конечной продукции, но и способствовать повышению деловой репутации и имиджа, а для исполнителей – повышать их способность к логическому мышлению, расширению кругозора, появлению новых профессиональных контактов и навыков.

За свою историю АО «НИИЭП» многократно участвовал в разработке отраслевых стандартов в различных направлениях техники, четырнадцать разработанных организацией ОСТ действуют по настоящее время.

В организации активно ведутся внутренние работы по стандартизации, в частности по расширению сфер применения статистических методов на базе собственного накопленного знания, специалистами организации опубликованы работы по определению стабильности производственных процессов в условиях единичного и мелкосерийного производства [2], а так-же по организации контроля технологической дисциплины для повышения стабильности производственного процесса [3].

Работа с техническими комитетами выглядит следующим образом: за 2016 год из 7 технических комитетов нами были получены на отзыв проекты 36 ГОСТ, из 18 ТК информации не поступало. Для справки АО «НИИЭП» является членом 25 технических комитетов по стандартизации РФ.

Обобщенные данные о работе организации с техническими комитетами представлены в таблице.

Таблица

Данные о работе АО «НИИЭП» с ТК РФ

№ ТК	Наименование ТК	Направлено отзывов в ТК
010	Менеджмент риска	11
046	Кабельные изделия	8
201	«Эргономика, психология труда и инженерная психология»	3
223	Упаковка	5
255	Единый российский страховой фонд документации	2
371	Неразрушающий контроль	2
441	Нанотехнологии	5
Всего:		36

Общий анализ присылаемых на отзыв проектов ГОСТ показывает их низкий научно-технический уровень, несоответствующий основополагающим принципам стандартизации РФ. Часть из них можно считать «подстрочным» переводом международных стандартов, выполненным с искажением технической сути излагаемого вопроса и устоявшейся в РФ терминологии, многие противоречат системным принципам, изложенным в Российских стандартах на системы менеджмента.

И совсем уже «вопиющий» факт деятельности технического комитета по стандартизации №160 «Продукция нефтехимического комплекса», созданного на базе ФГУП «ВНИЦСМВ». Разработанный данным ТК межгосударственный стандарт ГОСТ 33075-2014 «Напальчники из натурального латекса. Технические условия» и вводимый в действие с 01.07.2016 года приказом Федерального агентства по

техническому регулированию и метрологии №372-ст от 19.05.2015г. вообще отсылает нас за текстом ссылочных документов в Управление документации, ти пографию правительства США (рисунок).

2 Нормативные ссылки

Для применения настоящего стандарта необходимы следующие ссылочные документы. Для недатированных ссылок применяют указанное издание ссылочного документа (включая все его изменения).

2.1 Стандарты ASTM¹⁾

ASTM D412 Standard test methods for vulcanized rubber and thermoplastic elastomers — Tension (Стандартные методы испытаний вулканизированной резины и термопластичных эластомеров. Растяжение)

ASTM D573 Standard test method for rubber — Deterioration in an air oven (Стандартный метод испытания резины. Старение в термостате с воздухообменом)

ASTM D865 Standard test method for rubber — Deterioration by heating in air (test tube enclosure) (Стандартный метод испытаний резины. Старение при нагревании на воздухе (испытание в закрытой пробирке))

ASTM D1076 Standard specification for rubber — Concentrated, ammonia preserved, creamed, and centrifuged natural latex (Стандартная спецификация для резины. Концентрированный, стабилизированный аммиаком и центрифугированный натуральный латекс)

ASTM D3767 Standard practice for rubber — Measurement of dimensions (Стандартная практика для резины. Измерение размеров)

¹⁾ Уточнить ссылки на стандарты ASTM можно на сайте ASTM www.astm.org или в службе поддержки клиентов ASTM: service@astm.org. В информационном томе ежегодного сборника стандартов ASTM (Annual Book of ASTM Standards) следует обращаться к сводке стандартов ежегодного сборника стандартов на странице сайта.

Издание официальное

ГОСТ 33075—2014

2.2 Другие документы

ISO 2859:1974 Sampling procedures and tables for inspection by attributes (Процедуры и таблицы выборочного контроля по качественным признакам)²⁾

Code of federal regulations, title 21 — Food and drug administration, part 177 (Revised as of April 1, 2012) (Свод федеральных нормативных актов, том 21 — Контроль пищевых продуктов и лекарственных средств, часть 177 (с изменениями от 01.04.2012))³⁾

²⁾ Действует ISO 2859-1:1999 Sampling procedures for inspection by attributes. Part 1. Sampling schemes indexed by acceptance quality limit (AQL) for lot-by-lot inspection (Процедуры выборочного контроля по качественным признакам. Часть 1. Планы выборочного контроля с указанием приемлемого уровня качества (AQL) для последовательного контроля партий).

³⁾ Доступен в Управлении документации, типография правительства США, Washington, DC 20402.

Рис. 1. Текст раздела 2 ГОСТ 33075-2014

В заключение данной статьи хочется отметить еще раз, что необходимость привлечения специалистов организаций к работам в области стандартизации стоит как никогда остро и затягивание начала этих работ может привести к коллапсу в технике и экономике, потери РФ своего лидирующего статуса в «мировой войне» за рынки сбыта продукции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ Р 1.1-2013. Национальный стандарт Российской Федерации. Стандартизация в Российской Федерации. Технические комитеты по стандартизации. Правила создания и деятельности. М:Стандартинформ, 2014г. -20с.
2. Об оценке стабильности производственных процессов в условиях единичного и мелкосерийного производства / В. Г. Эдвабник, Ю. М. Фартышев, А. К. Гаутцель, М. М. Кузнецов // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «СибОптика-2013» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск : СГГА, 2013. Т. 1. – С. 195–200.
3. Контроль технологической дисциплины как условие стабильности производственного процесса / Ю. М. Фартышев, М. М. Кузнецов, А. К. Гаутцель, В. Ю. Языков // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015. XI Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «СибОптика-2015» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 13–25 апреля 2015 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2015. Т. 3. – С. 214–218.

© А. Э. Алямов, Ю. М. Фартышев, М. М. Кузнецов, Г. С. Чудакова, 2017

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИГНАЛА, ОТРАЖЕННОГО ОТ МОРСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Любовь Васильевна Шебалкова

АО «Научно-исследовательский институт электронных приборов», 630005, Россия, г. Новосибирск, ул. Писарева, 53, ведущий инженер-руководитель группы; Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, старший преподаватель кафедры АИУС, тел. (383)216-05-48, e-mail: lvsheb@list.ru

В работе рассматривается моделирование помеховых отражений сигналов от морской поверхности в зависимости от основных параметров радиолокационной системы и параметров окружающей среды для двух частотных диапазонов.

Ключевые слова: моделирование, пассивная помеха, морская поверхность.

RADAR SEA CLUTTER SIMULATION

Lyubov V. Shebalkova

Scientific research Institute of electronic devices, 630005, Russia, Novosibirsk, 53 Pisarev St., leading engineer-team manager; Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia, Novosibirsk, 20 K. Marksa Prospekt, senior lecturer of AICS Department, tel. (383)216-05-48, e-mail: lvsheb@list.ru

The analysis of sea clutter data from operating radars is a main goal of establishing the relationship between sea clutter signals and the parameters of both the radar and the sea environment (frequency, grazing angle at the surface, pulsewidth, azimuth beamwidth, sea state, and etc.). The simulation process allows to verify radar performance under different signal conditions, clutter conditions and environment conditions).

Key words: sea clutter, sea surface, simulation, radar clutter, sea state.

Радиолокационная система, предназначенная для обнаружения целей, летящих над морем, должна обладать способностью выделять сигнал от цели на фоне сигнала, отраженного от морской поверхности. Этот сигнал может быть сравнительно большим и во многих случаях может привести к снижению работоспособности системы. На отражение сигнала от морской поверхности влияют скорость и направление ветра у поверхности воды, его продолжительность, протяженность области разгона, океанические течения, наличие загрязнений, а также воздействие отдаленных штормов, от которых возмущение моря передается с малыми потерями на большие расстояния, и, наконец, местные условия погоды. Все эти показатели бывает трудно измерить при проведении экспериментов в натуральных условиях.

Море представляет собой распределенную цель, и величина отраженного сигнала зависит от величины площади зондируемого участка. Чтобы исключить это влияние, сигнал, отраженный от морской поверхности, обычно описывается в терминах эффективной площади рассеяния на единицу облученной площади и определяется как $\sigma^0 = \sigma / A$, где σ – ЭПР участка моря площадью A . При малых

углах скольжения γ площадь $A \approx R\varphi(c\tau/2)\sec\gamma$, где R – дальность; φ – ширина луча по азимуту, c – скорость распространения электромагнитных волн и τ – длительность импульса.

Экспериментальное определение влияния ветра и волнения моря на отражение сигнала требует значительного времени на получение данных, характеризующих различные состояния моря и скорости ветра. Поскольку волнение моря зависит от ветра, не всегда легко определить, какой фактор больше влияет на отражение радиолокационного сигнала от морской поверхности. На верхних СВЧ частотах (на волнах короче 3 см) и при малых углах скольжения наиболее важным параметром, с которым нужно коррелировать отражение радиолокационного сигнала от морской поверхности, оказывается ветер. На более низких частотах более важными, чем скорость ветра, являются характеристики волнения на море.

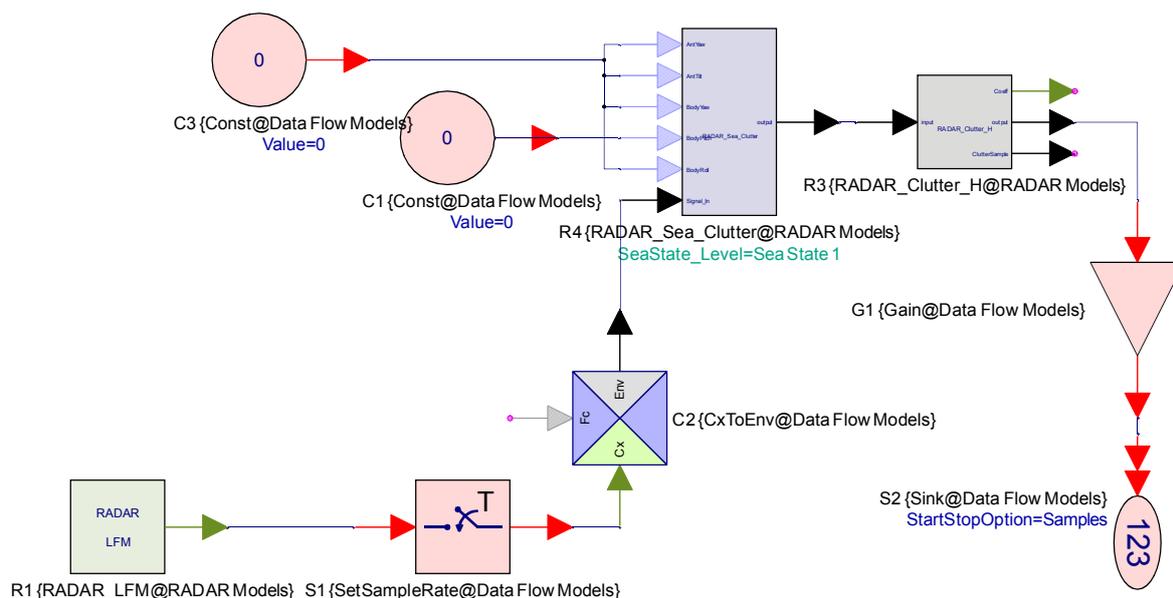
При спокойном море отражение радиолокационного сигнала от его поверхности невелико (за исключением облучения под углами, близкими к нормальному). При возникновении ветра со скоростью примерно 2,5 м/с, отражение сигнала от морской поверхности быстро возрастает. Для образования волн требуется определенное время. Чем сильнее ветер, тем больше требуется времени для достижения полностью развитого волнения на море. Капиллярные и короткие гравитационные волны зарождаются в течение нескольких секунд, и поэтому обратное радиолокационное рассеяние на более высоких частотах СВЧ диапазона с появлением ветра возникает очень быстро [1].

Для оценки влияния моря можно использовать САПР системного уровня SystemVue, в которой для решения радиолокационных задач существуют модели эффективной поверхности рассеяния (ЭПР), антенных решеток, пассивных и активных помех, целей, радиолокационных сигналов и пр., предлагаемые библиотекой RADAR, помимо стандартных моделей с помощью Matlab и C++ можно создавать рабочие модели своих устройств или окружающей среды и использовать их для моделирования различных радиолокационных сценариев.

Рассмотрим процесс моделирования сигнала, отраженного от морской поверхности, для различной балльности моря.

В проекте использованы модели помехи от моря «Radar Sea clutter», пассивной помехи «Radar clutter», генератора ЛЧМ сигнала и вспомогательных элементов, схема соединений которых показана на рисунке 1. При составлении схемы использованы библиотеки RADAR и Algorithm Design. Модель «Radar Sea clutter» имитирует сигнал, отраженный от морской поверхности для однозначного диапазона измерения дальности.

Уровень отражения от морской поверхности зависит от параметров радиолокационной системы: частоты, поляризации, угла скольжения, ширины импульса и ширины главного луча диаграммы направленности в азимутальной плоскости, а также от конфигурации морской поверхности – рельефа волн, который в свою очередь в модели «Radar Sea clutter» определяется уровнем волнения моря по шкале Дугласа, показанной в таблице, также в данной модели предусмотрены различные параметры антенной системы.



- C1, C3 – генераторы постоянных величин;
 C2 – преобразователь комплексного сигнала в комплексную огибающую;
 G1 – усилитель;
 R1 – модель радара с ЛЧМ;
 R3 – модель пассивной помехи;
 R4 – модель помехи от морской поверхности;
 S1 – дискретизатор;
 S2 – накопитель данных
- Рис.1. Структурная схема модели

Таблица

Шкала Дугласа

Баллы и состояние поверхности	Скорость ветра, узлы	Высота волн, м
1 (спокойное)	< 7	0,3
2 (легкое волнение)	7 – 12	0,3 – 1
3 (умеренное волнение)	12 – 16	1 – 1,5
4 (бурное)	16 – 19	1,5 – 2,5
5 (очень бурное)	19 – 23	2,5 – 3,5
6 (высокие волны)	23 – 30	3,5 – 6
7 (очень высокие волны)	30 – 45	6 – 12

Моделирование проводилось для всех 7 значений параметра SeaStateLevel (балльности моря) на двух частотах зондирующего сигнала в X и K диапазонах со следующими начальными параметрами. На рис. 1 и 2 показаны комплексные огибающие флюктуаций сигнала.

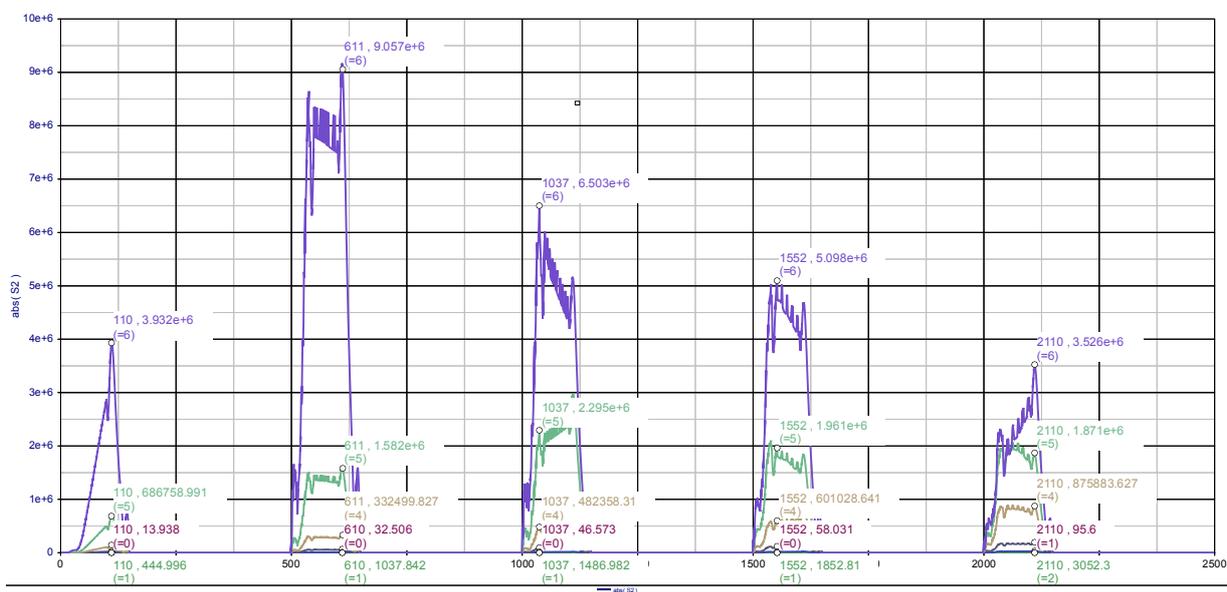


Рис. 1. Отраженный сигнал в X-диапазоне частот для разной высоты волн

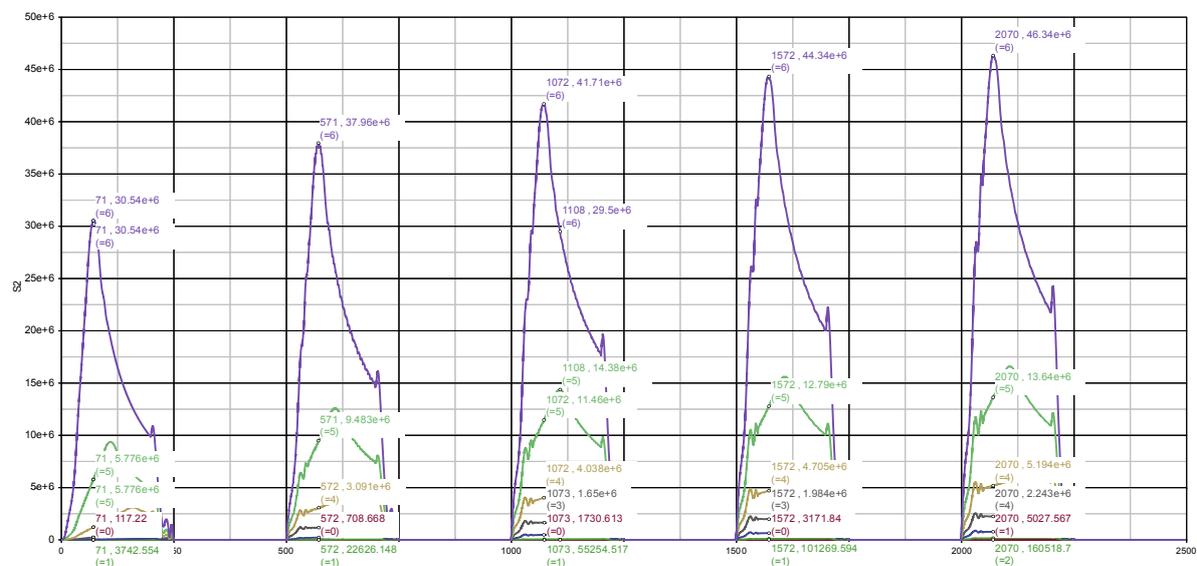


Рис. 2. Отраженный сигнал в K-диапазоне частот для разной высоты волн

Выводы. В статье рассмотрены вопросы моделирования влияния различных состояний морской поверхности на отраженный сигнал. Предложена модель с использованием САПР для проектирования на системном уровне SystemVue.

Приведенные результаты имеют важное практическое значение при моделировании сигналов, отраженных целями на фоне морской поверхности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Справочник по радиолокации / Под ред. М. И. Сколника. Пер. с англ. Под общей ред. В. С.Вербы. В 2 книгах. Книга 2. Москва: Техносфера, 2014.

© Л. В. Шебалкова, 2017

ОБ УПРУГОСТИ СРЕД С ПОРАМИ И ЖЕСТКИМИ ВКЛЮЧЕНИЯМИ

Валерий Григорьевич Эдвабник

АО «Научно-исследовательский институт электронных приборов», 630005, Россия, г. Новосибирск, ул. Писарева, 53, заместитель генерального директора по развитию, чл.-корр. РАН, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, тел. (383)216-05-63, e-mail: niiep@oaoniiiep.ru; Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, профессор кафедры АИУС, тел. (383)346-26-23

Сергей Геннадиевич Механошин

АО «Научно-исследовательский институт электронных приборов», 630005, Россия, г. Новосибирск, ул. Писарева, 53, заместитель генерального директора по производству, тел. (383)216-05-52, e-mail: niiep@oaoniiiep.ru

Максим Михайлович Кузнецов

АО «Научно-исследовательский институт электронных приборов», 630005, Россия, г. Новосибирск, ул. Писарева, 53, кандидат технических наук, начальник лаборатории стандартизации, тел. (913)921-44-39, e-mail: a9214439@yandex.ru

В работе продемонстрирован подход к изучению неоднородных материалов на основе, так называемой, теории обобщенной проводимости (ТОП). Под термином «ТОП» понимают одну из структурно-чувствительных характеристик сложных систем. Под сложными системами в данном случае понимаются смеси двух и более компонентов.

Ключевые слова: теория обобщенной проводимости, сложная система, упругость среды.

ABOUT ELASTIC MEDIA WITH PORES AND RIGID INCLUSIONS

Valery G. Edvabnik

Joint-Stock Company «Scientific Research Institute on Electronic Devices», 630005, Russia, Novosibirsk, 53 Pisareva St., Deputy General Director for development, Corresponding member of Russian Academy of Missile and Ammunition Sciences, Ph. D., Senior Researcher, tel. (383)216-05-63, e-mail: niiep@oaoniiiep.ru; Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia, Novosibirsk, 20 K. Marksa Prospekt, Professor at the Department of AICS, tel. (383)346-26-23

Sergey G. Mekhanoshin

Scientific research Institute of electronic devices, 630005, Russia, Novosibirsk, 53 Pisarev St., Deputy General Director for production, tel. (383)216-05-52, e-mail: niiep@oaoniiiep.ru

Maxim M. Kuznetsov

Scientific research Institute of electronic devices, 630005, Russia, Novosibirsk, 53 Pisarev St., Ph. D., head of laboratory standardization, tel. (913)921-44-39, e-mail: a9214439@yandex.ru

The work demonstrates an approach to the study of inhomogeneous materials on the basis of the so-called theory of generalized conductivity (TOP). The term «TOP», you see one of the structure-sensitive characteristics of complex systems. For complex systems in this case refer to a mixture of two or more components.

Key words: theory of generalized conductivity, complex system, resilience of the environment.

Структурная чувствительность свойства сложной смеси означает, что изменение ориентации смеси в силовом поле (или, иначе говоря, положения границы раздела компонентов) - даже без изменения относительной концентрации компонентов - ведет к изменению количественной характеристики системы.

Основные постулаты ТОП имеют вид [2]

$$\Lambda_{\pi} = \sum_{i=1}^n \Theta_i \Lambda_i \quad (1)$$

$$(\Lambda_{\pi})^{-1} = \sum_{i=1}^n \Theta_i (\Lambda_i)^{-1} \quad (2)$$

где

$$i=1$$

Λ_i - ОП i - го компонента;

Θ_i - относительная объемная концентрация i - го компонента;

n - число компонентов в смеси

Формулы (1) и (2) иначе называются аксиомами параллельного и последовательного включений соответственно.

С помощью ТОП могут быть рассчитаны такие свойства, как модуль упругости, коэффициент теплопроводности, магнитная проницаемость и прочие характеристики для сколь угодно сложных пространственных структур разнородных материалов.

Однако отдельный интерес представляют задачи расчета модулей упругости материалов, содержащих включения с бесконечной проводимостью (поры, пустоты) и нулевой (абсолютно жесткое тело) проводимостью.

Из (1) и (2) видно, что даже при ничтожно малой доле в смеси сверхпроводника (свойство с бесконечной проводимостью) или свойства с нулевой проводимостью (бесконечное сопротивление) ОП смеси также равна ∞ или 0. Для смесей с чисто раздельным (чисто последовательным или чисто параллельным) включением никакого парадокса нет, т.к. при составлении реологических схем замещения раздельного включения компонентов в смеси мы придем к тем же выводам.

Исходный материал представлен как матрица, имеющая ОП (например, модуль упругости), равную λ_m с включением $\lambda = \lambda_v$.

В одном случае эти включения имеют бесконечную проводимость, т. е. $\lambda_v \rightarrow \infty$, в другом $\lambda_v \rightarrow 0$.

Модель структуры показана на рис. 1; решение осуществляется с помощью метода электрических аналогий [1].

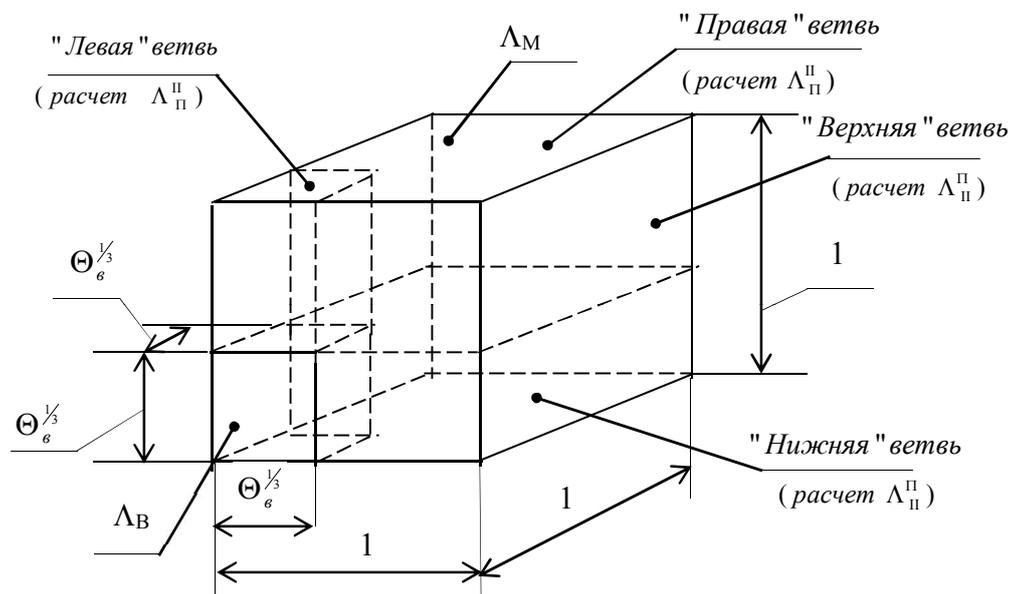


Рис. 1. Структура единичной ячейки типа «куб в кубе»

Составим общие схемы включения проводимостей для расчета $\Lambda_{\Pi}^{\text{II}}$ (рис. 2, а) и при подсчете $\Lambda_{\Pi}^{\text{II}}$ (рис. 2, б).

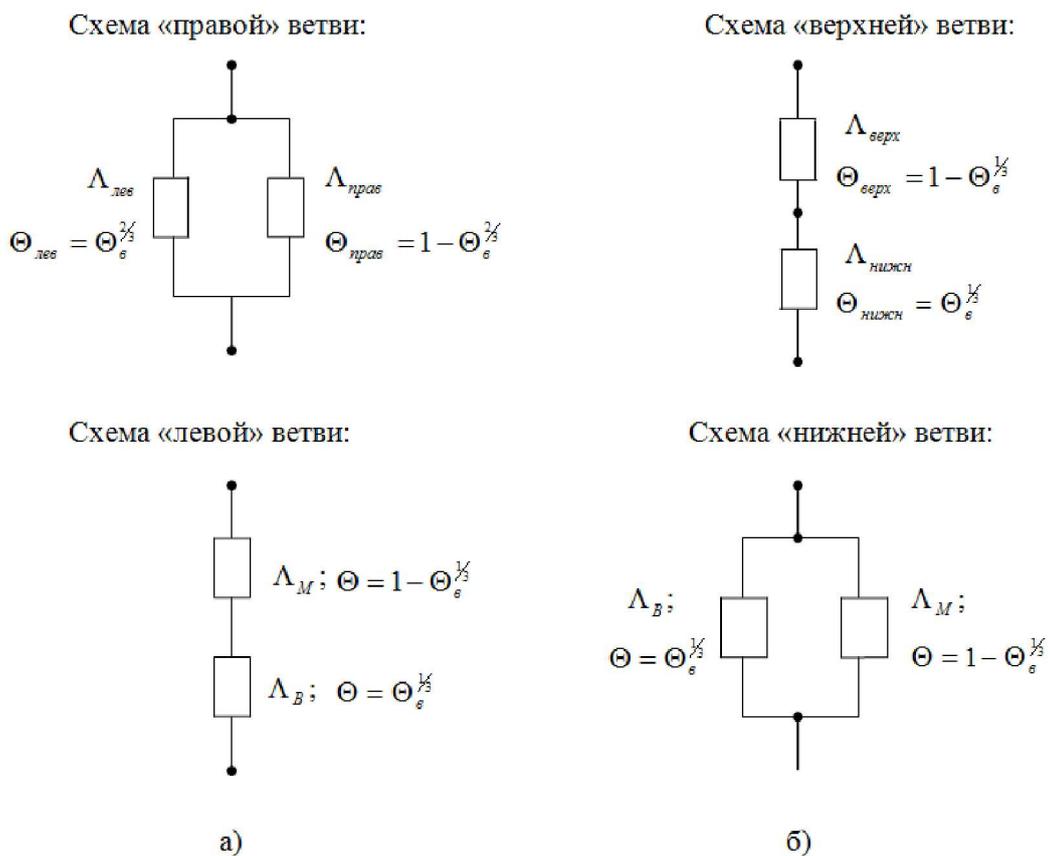


Рис. 2. Общие схемы включения проводимостей

Как видно из рис. 2, ОП смеси структуры «куб в кубе» с длиной стороны большого куба, равной 1, подсчитывается следующим образом:

$$\Lambda_{\Pi}^{\Pi} = \Lambda_{лев} \cdot \Theta_{\epsilon}^{\frac{2}{3}} + \Lambda_{прав} (1 - \Theta_{\epsilon}^{\frac{2}{3}}); \quad (3)$$

$$(\Lambda_{\Pi}^{\Pi})^{-1} = \frac{(1 - \Theta_{\epsilon}^{\frac{1}{3}})}{\Lambda_{верх}} + \frac{\Theta_{\epsilon}^{\frac{1}{3}}}{\Lambda_{нижн}}. \quad (4)$$

В формулах (3), (4) согласно рис. 1,

$$\begin{aligned} \Lambda_{прав} &= \Lambda_M; \\ \Lambda_{верх} &= \Lambda_M. \end{aligned}$$

ОП «левой» ветви (рис. 2, а) подсчитывается по аксиоме последовательного соединения (2):

$$(\Lambda_{лев})^{-1} = \frac{(1 - \Theta_{\epsilon}^{\frac{1}{3}})}{\Lambda_M} + \frac{\Theta_{\epsilon}^{\frac{1}{3}}}{\Lambda_{\epsilon}}, \quad (5)$$

ОП «нижней» ветви (рис. 2, б) подсчитывается по аксиоме параллельного соединения (1):

$$\Lambda_{нижн} = \Lambda_{\epsilon} \cdot \Theta_{\epsilon}^{\frac{2}{3}} + \Lambda_M (1 - \Theta_{\epsilon}^{\frac{2}{3}}) \quad (6)$$

Рассмотрим случай, когда структура содержит включение с бесконечной проводимостью, т.е. $\Lambda_{\epsilon} \rightarrow \infty$.

Реологические схемы рис. 2 для этого случая примут следующий вид (рис. 3).

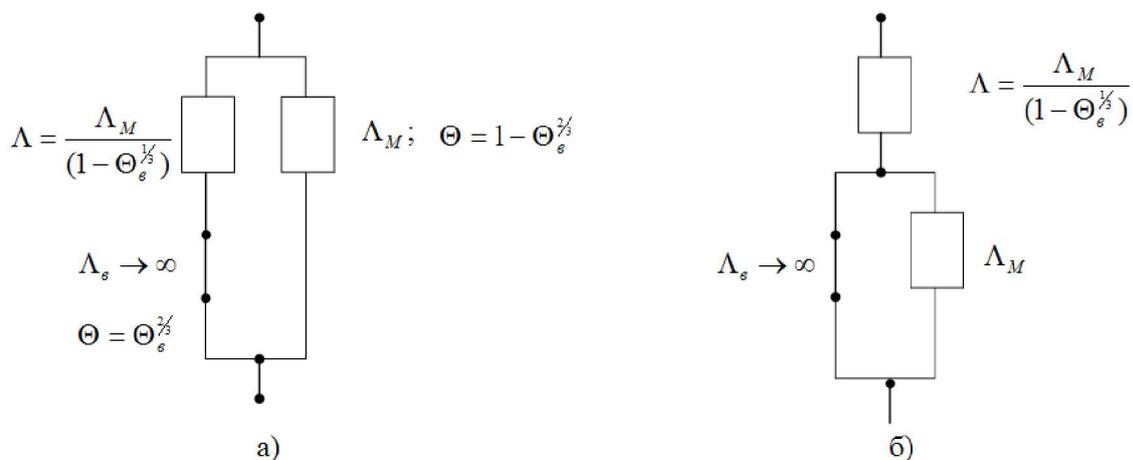


Рис. 3. Реологические схемы структуры «куб в кубе» при $\Lambda_{\epsilon} \rightarrow \infty$:

а) для подсчета Λ_{Π}^{Π} ; б) для подсчета Λ_{Π}^{Π}

В результате, в схеме расчета Λ_{Π}^{Π} проводимость $\Lambda_{\varepsilon} \rightarrow \infty$ шунтирует элемент проводимости в «левой» ветви (см. рис. 2, а), а в схеме расчета Λ_{Π}^{Π} проводимость $\Lambda_{\varepsilon} \rightarrow \infty$ шунтирует всю «нижнюю» ветвь. Поэтому для структуры, содержащей включения с бесконечной проводимостью и относительной объемной концентрацией Θ_{ε} , согласно рис. 3, а и формулам (3) и (5), получаем:

$$\Lambda_{\Pi\infty}^{\Pi} = \frac{\Lambda_M}{(1 - \Theta_{\varepsilon}^{1/3})} \cdot \Theta_{\varepsilon}^{2/3} + \Lambda_M(1 - \Theta_{\varepsilon}^{2/3}),$$

откуда после элементарных преобразований следует:

$$\frac{\Lambda_{\Pi\infty}^{\Pi}}{\Lambda_M} = \frac{1 - \Theta_{\varepsilon}^{1/3}(1 - \Theta_{\varepsilon}^{2/3})}{1 - \Theta_{\varepsilon}^{1/3}}. \quad (7)$$

Непосредственно из рис. 3,б, следует, что для структуры, содержащей включения с бесконечной проводимостью:

$$\frac{\Lambda_{\Pi\infty}^{\Pi}}{\Lambda_M} = \frac{1}{1 - \Theta_{\varepsilon}^{1/3}}. \quad (8)$$

Подстрочный индекс « ∞ » при Λ_{Π}^{Π} и Λ_{Π}^{Π} в формулах (7) и (8) указывает на то, что определяется ОП структуры с включениями, имеющими бесконечную проводимость.

Теперь рассмотрим случай, когда включение имеет нулевую проводимость, т.е. $\Lambda_{\varepsilon} = 0$.

В этом случае реологические схемы рис. 2 примут следующий вид (рис. 4).

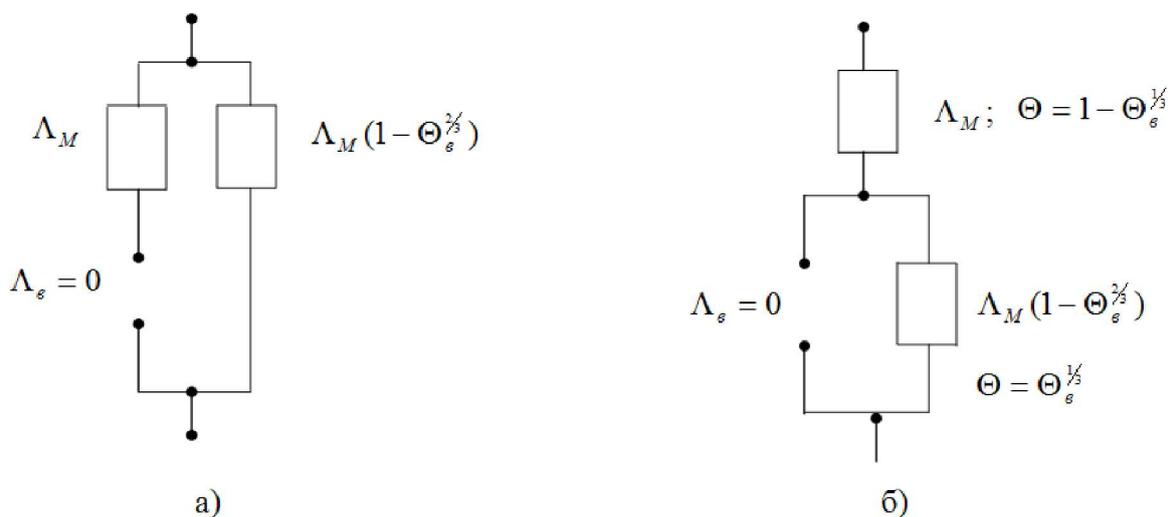


Рис. 4. Реологические схемы структуры «куб в кубе» при $\Lambda_{\varepsilon} = 0$:

а) для подсчета Λ_{Π}^{Π} ; б) для подсчета Λ_{Π}^{Π}

Из схемы, показанной на рис. 4,а, видно, что «левая» ветвь схемы при $\Lambda_\epsilon = 0$ вырождается, и непосредственно следует, что

$$\frac{\Lambda_{\Pi 0}^{\Pi}}{\Lambda_M} = (1 - \Theta_\epsilon^{2/3}) \quad (9)$$

Из схемы, показанной на рис. 4,б, видно, что при $\Lambda_\epsilon = 0$ «нижняя» ветвь представляет собой – см. также формулу (6) – материал с ОП, равной $\Lambda_M (1 - \Theta_\epsilon^{2/3})$, и формула (3) принимает следующий вид

$$(\Lambda_{\Pi}^{\Pi})_0^{-1} = \frac{1 - \Theta_\epsilon^{1/3}}{\Lambda_M} + \frac{\Theta_\epsilon^{1/3}}{\Lambda_M (1 - \Theta_\epsilon^{2/3})},$$

откуда после элементарных преобразований получается:

$$\frac{\Lambda_{\Pi}^{\Pi}}{\Lambda_M} = \frac{1 - \Theta_\epsilon^{2/3}}{1 - \Theta_\epsilon^{2/3} (1 - \Theta_\epsilon^{1/3})} \quad (10)$$

В формулах (9) и (10) подстрочный индекс «0» при Λ_{Π}^{Π} и Λ_{Π}^{Π} указывает на то, что определяется ОП структуры с включениями, имеющими нулевую проводимость.

Итак, окончательные формулы для ОП гетерогенных смесей, содержащих включения с бесконечной и нулевой проводимостью имеют вид:

$$\frac{1 - \Theta_\epsilon^{1/3} (1 - \Theta_\epsilon^{2/3})}{1 - \Theta_\epsilon^{1/3}} \leq \frac{\Lambda_\infty}{\Lambda_M} \leq \frac{1}{1 - \Theta_\epsilon^{1/3}}, \quad (11)$$

$$1 - \Theta_\epsilon^{2/3} \leq \frac{\Lambda_0}{\Lambda_M} \leq \frac{1 - \Theta_\epsilon^{2/3}}{1 - \Theta_\epsilon^{2/3} (1 - \Theta_\epsilon^{1/3})}. \quad (12)$$

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дульнев Г.Н., Заричняк Ю.П. Теплопроводность смесей и композиционных материалов: Справочная книга. – Л.: Энергия, Ленингр. отделение, 1974. – 264 с.
2. Эдвабник В.Г. Некоторые фундаментальные задачи теории обобщенной проводимости. – Сибирский научный вестник, 1999, вып. 3, с. 276-291.

© В. Г. Эдвабник, С. Г. Механошин, М. М. Кузнецов, 2017

РАСЧЕТ ПОРАЖАЮЩЕГО ДЕЙСТВИЯ «ШАХИД -МОБИЛЕЙ»

Алексей Алексеевич Борсук

Новосибирское высшее военное командное училище, 630117, Россия, г. Ново сибирск, ул. Иванова, 49, кандидат технических наук, заместитель начальника кафедры, тел. (383)332-50-45, e-mail: borsuk-79@mail.ru

Евгений Владимирович Проскуряков

Новосибирское высшее военное командное училище, 630117, Россия, г. Ново сибирск, ул. Иванова, 49, кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры, тел. (383)332-50-45, e-mail: saper67@mail.ru

Владислав Витальевич Молодоженев

Новосибирское высшее военное командное училище, 630117, Россия, г. Новосибирск, ул. Иванова, 49, курсант 4-го курса батальона войсковой разведки, тел. (923)183-80-13

В данной работе представлено исследование по применению зарядов для разрушения зданий и поражения личного состава, применяемых боевиками в «шахид-мобилях». За основу методики расчета поражающего действия взяты формулы Садовского.

Ключевые слова: «шахид-мобиль», критерий разрушения, ударная волна, избыточное давление, поражающее действие.

THE CALCULATION OF THE DAMAGING EFFECT OF "SHAHEED-MOBILE"

Aleksey A. Borsuk

Novosibirsk Higher Military Command School, 630117, Russia, Novosibirsk, 49 Ivanova St., Ph. D., Engineering Science, Deputy head Department, tel. (383)332-50-45, e-mail: borsuk-79@mail.ru

Evgeny V. Proskuryakov

Novosibirsk Higher Military Command School, 630117, Russia, Novosibirsk, 49 Ivanova St., Ph. D., Professor of Department, tel. (383)332-50-45, e-mail: saper67@mail.ru

Vladislav V. Molodozhenov

Novosibirsk Higher Military Command School, 630117, Russia, Novosibirsk, 49 Ivanova St., Cadet 4 course battalion of the Army Intelligence, tel. (923)183-80-13

This paper presents a study on the application of charges for destruction of buildings and losses of personnel employed by the militants in the «shaheed-mobile». Based on calculation methodologies of the damaging effects taken formula Sadovsky.

Key words: «shaheed-mobile», the criterion of destruction, the shock wave overpressure, the damaging effects.

Транспортные средства, начиненные большим количеством взрывчатых веществ, и находящиеся под управлением смертников, так называемые «шахид-мобили», стали настоящим бичом войны на Ближнем востоке. Фугасные заряды

большой массы (несколько тонн в тротиловом эквиваленте) представляют реальную угрозу для гражданских и военных объектов. Террористические акты с применением фугасных зарядов большой массы совершались неоднократно и возможно повторение этих событий.

В качестве примера использован факт применения боевиками группировки «Джебхат Фатх аш-Шам» «шахид-мобиля» на базе автомобиля КАМАЗ-65115 в сирийском городе Алеппо 30 октября 2016 года. В результате атаки террористов погибли пять бойцов правительственных войск, еще семеро были ранены. Городской квартал в результате взрыва был частично разрушен.

В данной работе представлено исследование по применению самодельных фугасных зарядов для разрушения зданий и поражения личного состава. Рассмотрен вопрос доставки взрывчатого вещества (ВВ) аммонала (смесового ВВ из аммиачной селитры и алюминиевой пудры), как наиболее часто применяемого ВВ кустарного производства к месту подрыва с помощью грузового автомобиля.

«Шахид-мобили», используемые боевиками для террористических актов, создаются на базе грузовых автомобилей, пикапов, других транспортных средств и управляются смертниками, подрывающими заряд. Для обеспечения возможности максимально приблизиться к объекту подрыва автомобили обшиваются стальными листами, противокумулятивными экранами, решетками и пр. Зачастую огонь из стрелкового оружия и противотанковых гранатометов не в состоянии поразить водителя или вызвать детонацию заряда (рис. 1).



Рис. 1. КАМАЗ-65115 (слева) и «шахид-мобиль» на его базе (справа)

В работе представлены критерии разрушения и выполнен расчет воздействия взрыва на кирпичные здания и личный состав. Рассчитаны зоны разрушения зданий и поражения личного состава. Результаты работы могут использоваться при определении допустимых расстояний до зданий и зон размещения личного состава. Существуют данные по воздействию ударных волн на различные объекты [1-3].

Результаты воздействия взрывных волн на различные объекты определяются в основном максимальным избыточным давлением Δp_m и удельным импульсом I фазы сжатия в волне.

Выбор характера нагружения при оценке поражающего действия ударных волн связан с соотношением длительности фазы сжатия в волне t^+ и периода собственных колебаний объекта T (рис. 2). Если длительность фазы сжатия $\tau^+ \leq 0,25T$, то нагрузку можно считать импульсной и условие разрушения объекта запишется в виде критерия по удельному импульсу: $I \geq I_p$.

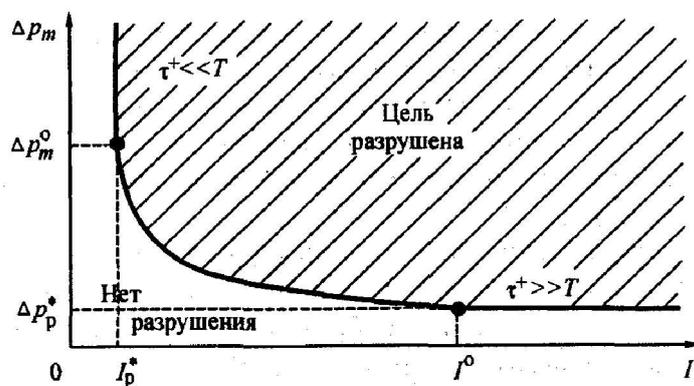


Рис. 2. Геометрическое представление критерия разрушения цели фугасным действием взрыва в фазовой плоскости Δp_m^{-1}

При $\tau^+ \geq 10T$ нагружение становится квазистатическим, и критерий разрушения записывается через избыточное давление.

Если параметры взрывной волны Δp_m , I соответствуют точке, лежащей выше кривой обобщенного критерия, то объект будет разрушен.

Радиус зоны полного разрушения зданий R_{100} рассчитывается [1] по формуле:

$$R_{100} = \frac{3,8 \times m^{\frac{1}{3}}}{\left[1 + \left(\frac{3180}{m}\right)^2\right]^{\frac{1}{6}}} \quad (1),$$

где m – масса тротила (или тротильный эквивалент).

Радиус зоны 50% разрушения кирпичных зданий (м):

$$R_{50} = \frac{5,6 \times m^{\frac{1}{3}}}{\left[1 + \left(\frac{3180}{m}\right)^2\right]^{\frac{1}{6}}} \quad (2).$$

Рассмотрим конкретный пример, представляющий практический интерес.

Задача. Грузовой автомобиль КАМАЗ -65115 наполовину загружен самодельным ВВ аммонал (значительная часть грузоподъемности теряется за счет массы стальных листов защиты). Автомобиль находится на асфальтированной дороге в области стандартных кирпичных зданий.

Требуется рассчитать воздействие взрыва на здания: радиус зоны полного разрушения зданий (100% разрушений) и радиус зоны 50% разрушений.

Оценить воздействие взрыва на личный состав (ЛС): радиус зоны полного поражения ЛС (100% баротравмы), радиус зоны 50% баротравмы ЛС и безопасное расстояние для ЛС.

Справочные данные.

Грузоподъемность автомобиля (в зависимости от модификации) ≈ 15000 кг

Энергия взрыва аммонала – 6,8 МДж/кг

Энергия взрыва тротила – 4,5 МДж/кг

Решение. Оценим габариты груза. Пусть масса аммонала составляет 8 т. Плотность насыпного аммонала превышает $1 \text{ г/см}^3 = 1 \text{ т/м}^3$, поэтому 8 тонн аммонала будут иметь объем не более 8 м^3 . Этот объем может быть размещен в габаритах $2 \times 4 \times 1$ м. Аммонал может быть расфасован в мешки массой 40 кг и уложен в указанных габаритах.

Энергия взрыва аммонала: $E = 6,8 \frac{\text{МДж}}{\text{кг}} \times 8000 \text{ кг} = 54400 \text{ МДж}$.

$$M_T = \frac{54400 \text{ МДж}}{4,5 \text{ МДж}} = 12088 \text{ кг}.$$

Тропиловый эквивалент взрыва:

Радиус зон разрушения зданий оценивается величиной $R_{100} \sim 80$ м, $R_{50} \sim 130$ м.

Примечание. Вместимость топливных баков автомобиля (в зависимости от модификации) ≈ 210 литров. С учетом необходимого расхода топлива для подъезда к месту подрыва пусть остаток в баках составляет 170 литров (136 кг). Энерговыведение дизельного топлива составляет 45 МДж/кг (источником кислорода может быть аммиачная селитра, входящая в состав аммонала). Дополнительное

энерговыведение при взрыве может составить $E = 45 \frac{\text{МДж}}{\text{кг}} \times 136 \text{ кг} = 6120 \text{ МДж}$. Это эквивалентно энергии тротила массой 1360 кг. Энерговыведение топлива приведет к увеличению длительности сжатия в ударной волне и усилит разрушения.

Вероятность баротравмы W личного состава (разрыв барабанных перепонок) измеряется в процентах и оценивается с помощью экспериментальных данных по величине избыточного давления Δp . Давление на фронте воздушной ударной волны Δp можно рассчитать по формуле Садовского (заряд тротила, наземный взрыв):

$$\Delta P_m = 0,95 \frac{\sqrt[3]{m}}{r} + 3,9 \left(\frac{\sqrt[3]{m}}{r} \right)^2 + 13,0 \left(\frac{\sqrt[3]{m}}{r} \right)^3 \quad (3),$$

здесь: масса m измеряется в килограммах (тропилового эквивалента), расстояние r от заряда до объекта измеряется в метрах, избыточное давление Δp на фронте ударной волны получается в атмосферах.

Формулы Садовского позволяют моделировать результат взрыва по величине избыточного давления Δp . Пусть масса заряда ВВ уменьшится в 1000 раз и составит 12 кг тротила, а расстояние до места взрыва уменьшится в 10 раз и составит 9 м. В этом случае избыточное давление в ударной волне будет таким же, как при

взрыве 12 т тротила на расстоянии 90 м (параметр $\frac{m^{\frac{1}{3}}}{r}$ не изменяется). Моделирование по избыточному давлению допускается в случае, если период собственных колебаний объекта T значительно меньше длительности волны сжатия τ^+ и критерием разрушения является избыточное давление. При моделировании длительность ударной волны τ уменьшается в 10 раз (в натуральных условиях τ^+ составляет 70 мс, а на модели – 7 мс):

$$\tau^+ = 1,5 \sqrt[6]{m} \times \sqrt{r} \quad (4),$$

$$[\tau^+] = \text{мс}; [m] = \text{кг}; [r] = \text{м}$$

Рассмотрим воздействие волны сжатия на личный состав (барабанные перепонки). Барабанные перепонки реагируют на звуковые волны частотой f равной 10 кГц, период колебаний звуковых волн равен $\frac{1}{f}$ и составляет 0,1 мс, период собственных колебаний барабанных перепонки T порядка этой величины. Длительность волны сжатия значительно превышает период собственных колебаний барабанных перепонки ЛС и моделирование допускается.

Безопасное расстояние для личного состава ($W = 0 \%$) рассчитывалось по формуле:

$$R_0 = 15 m^{\frac{1}{3}} \quad (5);$$

$$[m] = \text{кг}; [r] = \text{м}.$$

Основные результаты расчетов по воздействию взрыва на окружающие объекты представлены в таблице.

Таблица

Разрушение объектов при взрыве аммонала массой 8 тонн

Объект	R_{100} , м	R_{50} , м	R_0 , м
Здание (кирпич)			
Личный состав			

При нормальном отражении прямой ударной волны от жесткой стенки возможно увеличение давления в 8 раз. Такое большое увеличение давления в отраженной ударной волне объясняется тем, что на стенке происходит торможение потока газа,двигающегося за фронтом волны. Если ЛС находится вблизи жесткой стенки, то вероятность баротравмы значительно увеличится.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполнен расчет воздействия взрыва тротила массой 12 т на кирпичные здания и личный состав. Радиус полного разрушения зданий (100 %) составляет около 90 метров; радиус 50 % разрушений кирпичных зданий оценивается величиной 130 метров. Также выполнен расчет воздействия взрыва на личный состав, расположенный на открытой местности. Вероятность 100 % баротравмы личного состава ожидается в радиусе около 50 метров, на расстоянии 90 метров от места взрыва вероятность баротравмы оценивается величиной 50 %.

Исходя из проведенных расчетов, рекомендуется приближающиеся «шахид-мобили» уничтожать выстрелами из противотанковых средств (РПГ, ПТУР и пр.) на удалении до 700 метров, критической дистанцией является расстояние менее 350 метров.

В случае применения в качестве «шахид-мобилей» транспортных средств меньших размеров и, соответственно, грузоподъемности, критические дистанции могут сокращаться. Для уточнения расстояний требуется производить расчеты по предложенной в работе методике.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Средства поражения и боеприпасы: Учебник / А.В. Бабкин, В.А. Велданов, Е.Ф. Грязнов и др.; под общ. ред. В.В. Селиванова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008.
2. Физика взрыва / Под ред. Л.П. Орленко. Т. 2. М.: Физматлит, 2004.
3. Действие средств поражения и боеприпасов: Учебник / И.А. Балаганский, Л.А. Мержиевский. Новосибирск: НГТУ, – 2004.

© А. А. Борсук, Е.В. Проскуряков, В. В. Молодоженов, 2017

УСТАНОВКА ДЛЯ НАПЫЛЕНИЯ В ВАКУУМЕ ТОПОЛОГИЧЕСКОГО ТОНКОПЛЕНОЧНОГО РИСУНКА ГИБРИДНОЙ МИКРОСХЕМЫ НА ПОДЛОЖКУ

Денис Юрьевич Сидоров

АО «Научно-исследовательский институт электронных приборов», 630005, Россия, г. Новосибирск, ул. Писарева, 53, начальник лаборатории вакуумного напыления и прецизионной фотолитографии, тел. (913)487-97-45, e-mail: SidorovDen@mail.ru

Максим Михайлович Кузнецов

АО «Научно-исследовательский институт электронных приборов», 630005, Россия, г. Новосибирск, ул. Писарева, 53, начальник лаборатории стандартизации, тел. (913)921-44-39, e-mail: a9214439@yandex.ru

Разработана конструкция установки вакуумного напыления для формирования на подложке топологического тонкопленочного металлического рисунка микросхемы, напыляемого в вакууме через сменяемые автоматически без, необходимости разгерметизации установки маски.

Ключевые слова: вакуумное напыление, топологический рисунок, прецизионная маска, подложка, тонкие пленки.

INSTALLATION FOR SPRAYING IN VACUUM TOPOLOGICAL PATTERN OF THIN-FILM HYBRID CIRCUITS ON A SUBSTRATE

Denis Yu. Sidorov

Joint-Stock Company «Scientific Research Institute on Electronic Devices», 630005, Russia, Novosibirsk, 53 Pisareva St., Head of the Laboratory of Vacuum Sputtering and Precision Photolithography, tel. (913)487-97-45, e-mail: SidorovDen@mail.ru

Maxim M. Kuznetsov

Joint-Stock Company «Scientific Research Institute on Electronic Devices», 630005, Russia, Novosibirsk, 53 Pisareva St., head of the standardization laboratory, tel. (913)921-44-39, e-mail: a9214439@yandex.ru

The design of the vacuum deposition unit is designed to form a topological thin-film metal pattern on the substrate of a microcircuit that is vacuum-deposited through interchangeable ones without the need for depressurization of the mask installation.

Key words: vacuum deposition, topological drawing, precision mask, substrate, thin films.

В настоящее время формирование металлического рисунка микросхемы методом вакуумного напыления с использованием масок происходит в два этапа, это характерно низкой производительностью процесса из-за необходимости разгерметизации вакуумного объема для смены маски. Объясняется это следующим. Топологический тонкопленочный металлический рисунок микросхемы содержит пересекающиеся элементы из разных металлов, напыляемые на подложку, например, поликоровую. Следовательно, необходимо после напыления в

вакууме через прецизионно изготовленную маску первого топологического рисунка, (например - резистивных слоев), остановить процесс, разгерметизировать установку вакуумного напыления, заменить маску (на маску с другим рисунком) и провести второе напыление (например – проводниковых слоев), другим металлом через вторую маску. Следует отметить, как первый, так и второй рисунок топологии может состоять из нескольких слоев различных металлов. Таким образом, для смены маски требуется большое время:

- на разгерметизацию вакуумной установки;

- на повторный вывод вакуумной установки на режим напыления (откачка атмосферного воздуха до нужного давления, подогрев подложки и т. д.).

Другим недостатком является то, что во время смены маски, изготавливаемое изделие находится вне вакуумной установки, где на нее неизбежно влияет, окружающая ее, воздушная среда (влажность, мелкие пылинки и т. п.), что снижает качество напыляемого слоя.

Рассматриваемая в данной статье конструкция установки вакуумного напыления призвана обеспечить в установке для напыления в вакууме топологического тонкоплёночного рисунка микросхемы на подложку возможность смены масок в условиях вакуума.

Технический результат – существенное (скачкообразное) повышение производительности установки и повышение качества напыляемого рисунка.

Сущность предлагаемой конструкции установки вакуумного напыления заключается в следующем. Установка для напыления в вакууме топологического тонкоплёночного рисунка гибридной микросхемы на подложку, установленную в подложкодержателе, содержит первую вакуумную камеру с первым источником металла и первым маскодержателем с первой маской. Отличительные признаки состоят в том, что в неё введены, по крайней мере, вторая вакуумная камера со вторым источником металла и вторым маскодержателем со второй маской, отличной от первой, транспортная вакуумная камера, сообщающаяся с вакуумными камерами через соответствующие первый и второй вакуумные затворы, манипулятор, установленный в транспортной камере, с возможностью обеспечения захвата и перемещения подложкодержателя с подложкой между камерами и установки его на маскодержатель с маской.

Кроме того, установка содержит шлюзовую вакуумную камеру загрузки – выгрузки подложкодержателя с подложкой, сообщающуюся с транспортной камерой через третий вакуумный затвор, через который подложкодержатель доступен для захвата манипулятором.

Интерес конструктивных решений заключается в качественно новом свойстве предлагаемой установки – в возможности напыления в вакууме топологического тонкоплёночного рисунка микросхемы на подложку через маски, сменяемые в условиях вакуума, то есть, без необходимости операции сбрасывания вакуума.

Сущность установки поясняется чертежами.

На рис. 1 показана схема установки для напыления в вакууме топологического тонкоплёночного рисунка гибридной микросхемы на подложку, вид сверху.

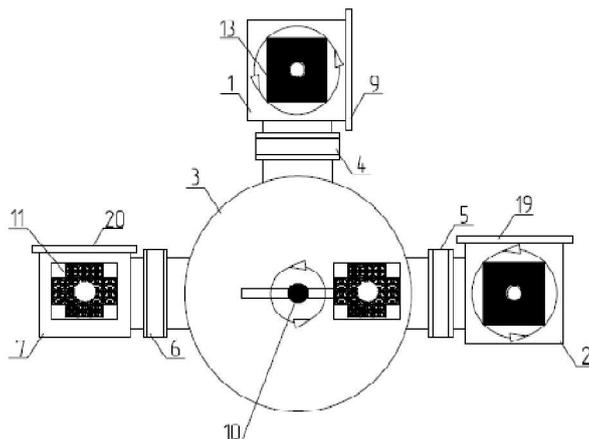


Рис. 1. Схема установки для напыления.

На рис. 2 показана схема взаимного расположения подложкодержателя, подложки и маски.

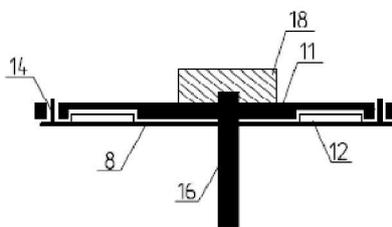


Рис. 2. Схема расположения подложкодержателя, подложки и маски.

На рис. 3 показана схема установки подложкодержателя с подложкой на маску.

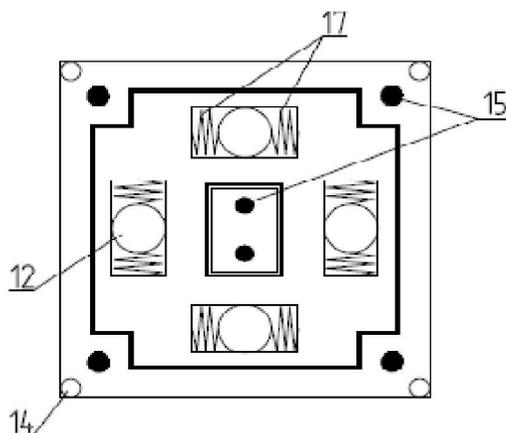


Рис. 3. Схема установки подложкодержателя с подложкой на маску.

Установка содержит (Рисунок 1), по крайней мере, две технологические вакуумные камеры 1 и 2 для напыления, ограничивающие рабочие зоны напыления. Технологические вакуумные камеры 1 и 2 соединены через вакуумные затворы 4 и 5 с транспортной вакуумной камерой 3, ограничивающей транспортную зону. Таким образом, технологические вакуумные камеры 1 и 2 могут сообщаться между собой через транспортную вакуумную камеру 3. К транспортной вакуумной камере 3 через вакуумный затвор 6 может быть подсоединена шлюзовая вакуумная камера загрузки-выгрузки 7. В технологических вакуумных камерах 1 и 2 расположены маскодержатели 13 из немагнитного материала, (например - титана), выполненные, например, в виде карусельных устройств с масками 8 (Рисунок 2) из тонкого магнитного материала (например - стали), источники испарения металлов (не показаны) и т. д. Технологические вакуумные камеры 1 и 2 имеют технологические двери 9 и 19 для технического обслуживания и ввода расходных материалов – напыляемых металлов. Через технологические двери 9 и 19 может осуществляться загрузка и выгрузка подложек 12 в подложкодержателях 11 (Рисунок 2).

В транспортной вакуумной камере 3 расположен роботизированный захват - манипулятор 10, например, автоматизированная транспортная система перемещения подложкодержателей.

В шлюзовой вакуумной камере загрузки-выгрузки 7 в общем случае расположены подложкодержатели 11 выполненные из немагнитного материала (например, титана) с вставками – электромагнитами 15, как с не напыленными, так и с напылёнными подложками 12.

Перед напылением (Рисунок 2) в рабочей камере 1 (например - напыление резистивных слоев), а после этого 2 (например - напыление проводниковых слоев) подложкодержатель 11 с подложкой 12 плотно прижат к маске 8 (подложка 12 может быть одна или несколько, в зависимости от конструкции подложкодержателя и производительности камеры).

Прецизионное позиционирование (Рисунок 2 и 3) подложки 12 в подложкодержателе 11 относительно рисунка топологии на маске 8, изготовленной из тонкого магнитного материала, обеспечивается с помощью, изготовленных с высокой точностью, направляющих элементов 14, например, в виде стержней и конусов, смонтированных на маскодержателе 13. Плотный прижим маски 8 к подложке 12 в подложкодержателе 11 обеспечивается с помощью вставок -электромагнитов 15, которые установлены по периметру и в центре подложкодержателя 11. Питание на электромагниты 15 подаётся через ось вращения 16 подложкодержателя 11 в технологической вакуумной камере 1 и 2. Подложки 12 в подложкодержателе 11 устанавливаются через термокомпенсирующие пружины 17, чтобы избежать повреждения вовремя их термического расширения при предварительном прогреве. Подложки 12 подпружинены с нерабочей стороны и удерживаются, например, «лапками» (не показано) с рабочей стороны для того, чтобы обеспечивалось их выступание из подложкодержателя 11. Это необходимо для плотного прижима к ним маски 12. Подложкодержатель 11 имеет в

верхней части выступающую деталь 18, за которую происходит его захват манипулятором 10 для перемещения между камерами.

Работа установки без использования шлюзовой вакуумной камеры загрузки-выгрузки 7 происходит следующим образом. Через технологическую дверь 9 технологической вакуумной камеры 1 на маскодержатель 13 с предварительно установленной маской 8 устанавливается подложкодержатель 11 с установленной в него подложкой 12.

Далее технологическую дверь 9 технологической вакуумной камеры 1 и вакуумные затворы 4 и 5 герметично закрывают. В технологической вакуумной камере 1, технологической вакуумной камере 2 и транспортной вакуумной камере 3 создают необходимый вакуум, после чего производят напыление на подложке 12 первого рисунка через первую маску 8.

После окончания напыления в технологической вакуумной камере 1 первого рисунка открывают вакуумные затворы 4 и 5.

Подложкодержатель 11 с подложкой 12 с помощью манипулятора 10 отсоединяют от маски 8 и переносят через открытый вакуумный затвор 4, транспортную вакуумную камеру 3, открытый вакуумный затвор 5 в технологическую вакуумную камеру 2.

Вакуумный затвор 4 закрывают, сбрасывают вакуум в технологической вакуумной камере 1, после чего в неё снова загружают через технологическую дверь 9 следующий подложкодержатель 11 с подложкой 12, подлежащей напылению, закрывают технологическую дверь 9, создают в технологической вакуумной камере 1 необходимый вакуум и производят очередное напыление. В это же время в технологической вакуумной камере 2, подложку 12 в подложкодержателе 11 позиционируют относительно второй маски 8 с помощью направляющих элементов 14, после чего прижимают к ней с помощью вставок-электромагнитов 15. Закрывают вакуумный затвор 5. В технологической вакуумной камере 2 производят второе напыление подложки 12 через вторую маску 8. После напыления в технологической вакуумной камере 2 сбрасывают вакуум и через технологическую дверь 19 извлекают готовую, напылённую последовательно через две разные маски, подложку. Затем технологическую дверь 19 закрывают и создают необходимый вакуум в технологической вакуумной камере 2, после чего она снова готова к приёму прошедших первое напыление через первые маски 8 подложек из технологической вакуумной камеры 1.

С целью дальнейшего увеличения производительности установки для напыления и повышения качества напыления подложек процесс загрузки и выгрузки возможно реализовать без необходимости разгерметизации вакуумного пространства технологических вакуумных камер 1 и 2. Это достигается путём подсоединения к транспортной вакуумной камере 3, через вакуумный затвор 6, шлюзовой загрузочно-разгрузочной вакуумной камеры 7 (Рисунок 1). Через открытую технологическую дверь 20 шлюзовой загрузочно-разгрузочной камеры 7 устанавливают первый подложкодержатель 11 с первой подложкой 12, затем технологическую дверь 20 шлюзовой загрузочно-разгрузочной вакуумной камеры 7 закрывают, после чего в ней создают форвакуум. Одновременно с этим

(или заранее) в технологической вакуумной камере 1, технологической вакуумной камере 2 и транспортной вакуумной камере 3 отдельно в каждой, так как технологическая вакуумная камера 1 и 2 предварительно перекрываются от транспортной вакуумной камеры 3 вакуумными затворами 4 и 5, создается высокий вакуум общим форвакуумным и отдельными высоковакуумными насосами (не показаны). Далее вакуумный затвор 6 шлюзовой загрузочно-разгрузочной вакуумной камеры 7 открывают и манипулятор 10 перемещает в вакууме первый подложкодержатель 11 с первой подложкой 12 в транспортную вакуумную камеру 3, после чего вакуумный затвор 6 перекрывают, в шлюзовой загрузочно-разгрузочной вакуумной камере 7 сбрасывают вакуум, затем в загрузочно-разгрузочной камере 7 открывают технологическую дверь 20 для загрузки второго подложкодержателя 11 со второй подложкой 12. Одновременно с этим вакуумный затвор 4 между транспортной вакуумной камерой 3 и технологической вакуумной камерой 1 открывают, манипулятор 10 перемещает первый подложкодержатель 11 с первой подложкой 12 в технологическую вакуумную камеру 1 и возвращается в исходное положение – в транспортную вакуумную камеру 3. В технологической вакуумной камере 1 первая подложка 12 в первом подложкодержателе 11 позиционируется с помощью направляющих элементов 14 с первой маской 8, а затем фиксируется и прижимается к первой маске 8 с помощью вставок-электромагнитов 15, далее технологическая вакуумная камера 1 перекрывается от транспортной вакуумной камеры 3 вакуумным затвором 4, в технологической вакуумной камере 1 создают необходимый для напыления высокий вакуум, и производят напыление первой подложки 12 через первую маску 8. После напыления первой подложки 12 через первую маску 8 в первой технологической вакуумной камере 1 манипулятор 10 отделяет первый подложкодержатель 11 с первой подложкой 12 от первой маски 8 и перемещает его через открывшиеся вакуумные затворы 4 и 5 из технологической вакуумной камеры 1 через транспортную вакуумную камеру 3 в технологическую вакуумную камеру 2, где операция напыления подложки повторяется, но уже через вторую маску 8, по рисунку, отличную от первой. Во время процесса напыления в технологической вакуумной камере 2 манипулятор 10, находящейся на тот момент в исходном положении (исходное положение — это любое положение в транспортной вакуумной камере 3 без подложкодержателя 11), забирает уже загруженный второй подложкодержатель 11 со второй подложкой 12 из шлюзовой загрузочно-разгрузочной вакуумной камеры 7 и переносит его в технологическую вакуумную камеру 1, где происходит совмещение второй подложки 12 с помощью направляющих элементов 14 с первой маской 8 и прижим с помощью вставок-электромагнитов 15, а затем напыление на вторую подложку 12 тонкой пленки металла через первую маску 8. Таким образом, в данный момент в установке находятся в работе одновременно две подложки 12.

После окончания процесса напыления в технологической вакуумной камере 2 манипулятор 10, через открывшиеся вакуумные затворы 5 и 6 технологической вакуумной камеры 2 и шлюзовой загрузочно-разгрузочной вакуумной камеры 7, перемещает первый подложкодержатель 11 с напылённой через вторую

маску 8 первой подложкой 12 в шлюзовую загрузочно-разгрузочную вакуумную камеру 7. Затем вакуумный затвор 6 закрывают и в шлюзовой загрузочно-разгрузочной вакуумной камере 7 сбрасывают вакуум. Далее оператор забирает из шлюзовой загрузочно-разгрузочной вакуумной камеры 7 первый подложкодержатель 11 с готовой напылённой первой подложкой 12 и размещает очередной подложкодержатель 11 с очередной не напылённой подложкой 12.

После этого манипулятор 10 перемещает из технологической вакуумной камеры 1 второй подложкодержатель 11 со второй подложкой 12, на которую нанесен первый топологический рисунок, с помощью первой маски 8, через вакуумные затворы 4 и 5 и транспортную вакуумную камеру 3 в технологическую вакуумную камеру 2, где второй подложкодержатель 11 со второй подложкой 12 позиционируется со второй маской 8 по направляющим элементам 14. Вторая подложка 12 прижимаются ко второй маске 8 с помощью вставок-электромагнитов 15. Далее, вакуумный затвор 5 перекрывают и производят напыление на второй подложке 12 второго топологического рисунка через вторую маску 8 во второй технологической вакуумной камере 2. Одновременно с этим манипулятор 10 забирает из шлюзовой загрузочно-разгрузочной вакуумной камеры 7 третий подложкодержатель 11 с еще не напыленной третьей подложкой 12 и переносит его в технологическую вакуумную камеру 1, где третья подложка 12 позиционируются по направляющим 14 и прижимаются с помощью вставок-электромагнитов 15 к первой маске 8, аналогично описанному ранее, после чего происходит очередное напыление в технологической вакуумной камере 1.

Таким образом, оператор, забирая подложкодержатель 11 с напылённой подложкой из шлюзовой загрузочно-разгрузочной вакуумной камеры 7 через технологическую дверь 20, устанавливает на его место следующий подложкодержатель 11 с подложкой 12 и цикл повторяется.

Следует отметить, что в данном конвейерном принципе работы, имеет место некоторая потеря высокого вакуума через шлюзовую загрузочно-разгрузочную вакуумную камеру 7 во время загрузки и выгрузки подложкодержателя 11 с подложкой 12. Поэтому, во время работы в технологических вакуумных камерах 1 и 2 и транспортной вакуумной камере 3 давление постоянно контролируется и откачивается по мере необходимости. Кроме того, во время производства периодически заканчивается испаряемый металл в технологических вакуумных камерах 1 и 2. В этом случае материал добавляют через технологические двери 9 и 19 технологических вакуумных камер 1 и 2, предварительно закрыв соответствующие вакуумные затворы и сбросив вакуум.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кудрявцев Р. В., Сидоров Д. Ю., Юркова С. В., Григорьева Л. В., Алямов А. Э., Эдвабник В. Г., Цай В. Б. Патент на изобретение № 2590747 Установка для напыления в вакууме топологического тонкопленочного рисунка гибридной микросхемы на подложку.

© Д. Ю. Сидоров, М. М. Кузнецов, 2017

УДК 520.0.03

СОВРЕМЕННЫЕ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЕ СРЕДСТВА НАБЛЮДЕНИЯ, РАЗВЕДКИ И ПРИЦЕЛИВАНИЯ ДЛЯ СТРЕЛКОВОГО ОРУЖИЯ НОРМАЛЬНОГО КАЛИБРА

Михаил Сергеевич Комбаров

ОАО «Швабе – Оборона и Защита», 630049, Россия, г. Новосибирск, ул. Д. Ковальчук, 179/2, начальник управления программ развития, тел. (965)829-49-83, e-mail: npz36@ngs.ru

Максим Михайлович Кузнецов

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры специальных устройств и технологий, тел. (913)921-44-39, e-mail: a9214439@yandex.ru

В статье рассказывается о современных оптико-электронных средствах наблюдения, разведки и прицеливания для стрелкового оружия нормального калибра, рассматриваются основные проблемы и пути решения задач повышения тактико-технических характеристик данных изделий.

Ключевые слова: прицел, прибор ночного видения, оптико-электронное средство наблюдения.

MODERN OPTICAL ELEKTRONNE SURVEILLANCE, RECONNAISSANCE AND TARGETING FOR SMALL ARMS NORMAL CALIBER

Mikhail S. Kombarov

JSC «Shvabe – Defense and Protection», 630049, Russia, Novosibirsk, 179/2 D. Kovalchuk St., Head of development program department, tel. (965)829-49-83, e-mail: npz36@ngs.ru

Maksim M. Kuznetsov

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., Ph. D., associate Professor of the Department of special devices and technologies, tel. (913)921-44-39, e-mail: a9214439@yandex.ru

The article describes modern opto-electronic means of observation, reconnaissance and aiming of small arms normal caliber, discusses the basic problems and ways of solving tasks upgraded performance characteristics of these products.

Key words: rifle scope, night vision device, optical-electronic means of observation.

Основная проблема существующего прицельно - приборного оснащения подразделений сухопутных войск и частей специального назначения заключается в существенном отставании технических характеристики существующих оптико-электронных средств наблюдения, разведки и прицеливания, отдельные виды современных оптико-электронных средств полностью отсутствуют такие виды прицельных средств как тепловизионные прицелы и дневно-ночные прицельные комплексы для стрелкового оружия нормального калибра [1].

Создание современных оптико-электронных средств наблюдения, разведки и прицеливания для стрелкового оружия нормального калибра, с техническими характеристиками, не уступающими лучшим мировым аналогам потребовало решение следующих задач:

- Выбор и обоснование оптимального комплекта оптико-электронных средств наблюдения, разведки и прицеливания для стрелкового оружия;
- Определение оптимальных тактико-технических характеристик создаваемых оптико-электронных средств наблюдения, разведки и прицеливания для стрелкового оружия [2, 3];
- Определение оптимальных параметров оптических и электронных схем;
- Определение эргономических требований к изделию и их габаритных параметров;
- Определение требований к фотоприемным и телевизионным модулям и системам отображения информации;
- Определение параметров надежности.
- Разработка комплекса мероприятий по обеспечению серийного производства оптико-электронных систем и их компонентов [4, 5].
- Для решения поставленных задач в составе комплекта оптико-электронных средств наблюдения, разведки и прицеливания для стрелкового оружия нормального калибра, с учетом конкретных объектов применения, были разработаны следующие оптико-электронные приборы:
 - Оптический прицел сменного увеличения 1П86;
 - Оптический прицел переменного увеличения 1П88;
 - Оптический прицел фиксированного увеличения 1П89;
 - Дневно-ночной прицельный комплекс 1ПН137, в составе:
 - Коллиматорный прицел 1П87 [6];
 - Лазерный целеуказатель 1К241;
 - Зрительная трубка 1П90;
 - Ночной монокуляр 1ПН138;
 - Малогабаритный бинокль 1Н25;
 - Унифицированный прицел ночного видения 1ПН141 в двух модификациях;
 - Тепловизионный прицел 1ПН140 в двух модификациях;
 - Всесуточный носимый прибор разведки 1ПН142;
 - Всесуточный переносной прибор разведки 1ПН143.

Для обеспечения требуемого уровня технических характеристик оптико-электронных средств, создаваемых в рамках настоящей работы, имеющих каналы ночного видения, в конструкции прицелов 1ПН141 и монокуляра 1ПН138 применены электронно-оптические преобразователи третьего поколения с высоким разрешением.

При создании тепловизионных прицелов 1ПН140 были применены тепловизионные модули российского производства на основе неохлаждаемой микроболометрической матрицы форматом 384x288 элементов с шагом 25мкм. Для обеспечения требуемой стабильности изображения при изменении фоно-целевой обстановки в модуле реализован режим сканирования матрицы с частотой 50Гц. Для обеспечения визуализации изображения и работы прицелов во всем диапазоне температур от минус 40 до плюс 50С в составе модуля использован

микродисплей на основе органических светодиодов с разрешением 800x600 элементов.

С целью увеличения диапазона использования в течении суток и улучшения комфорта наблюдения в оптических прицелах, созданных в данной работе, была решена задача по оптимизации параметров оптических схем и совершенствования применяемых просветляющих покрытий. В ходе решения задачи был увеличен коэффициент светопропускания на 20-25% по сравнению с приборами предыдущего поколения.

В ряде приборов, таких как прицел 1П86 и бинокле 1Н25, для решения задачи уменьшения габаритных размеров были применены призменные оборачивающие системы, что позволило сократить габаритные размеры на 15-20%.

Одной из серьёзных задач, решенных при создании оптико-электронных средств, было создание многоканальных комплексов, а также приборов которые должны обеспечивать решение задачи непрерывного наблюдения за местностью, разведки цели и прицеливания как в дневное, так и в ночное время. Эта задача была решена двумя путями:

1) Создание многоканальных многоспектральных комплексов – таких как приборы разведки 1ПН142 и 1ПН143 с телевизионными и тепловизионными каналами в одном приборе;

2) Создание модульного дневно-ночного прицельного комплекса 1ПН137, состоящего из отдельных приборов – коллиматорного прицела 1П87, оптической насадки 1П90, ночного монокуляра 1ПН138 и лазерного целеуказателя 1К241 – конструкция которых обеспечивает их совместное использование на оружии и решения всего комплекса тактических задач в дневное и ночное время, а также использование отдельных его компонентов (оптической насадки и ночного монокуляра) для решения задач наблюдения в качестве самостоятельного изделия.

Используя научно-технический задел, созданный в рамках ранее проведенных опытно-конструкторских работ, инновационный потенциал [7], а также результатов полученных ведущими научно-исследовательскими организациями Российской академии наук, Министерства Обороны и промышленности, совместно с соисполнителями, были успешно решены вышеперечисленные научно-технические проблемы, что позволило создать комплекс оптико-электронных средств наблюдения, разведки и прицеливания для стрелкового оружия с тактико-техническими характеристиками, не уступающими мировым аналогам.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. О технологии на ФГУП ПО НПЗ Кузнецов М.М., Комбаров М.С. Интерэкспо Гео-Сибирь. 2010. Т. 5. №1. С. 193-196.
2. Сравнение визуальных параметров и дальности опознавания объектов в гражданских приборах ночного видения Комбаров М.С., Еловенко Ю.Г., Кузнецов М.М. Современные проблемы науки и образования. 2015. №2-2. С. 184.
3. Комбаров М.С., Кузнецов М.М. Перспективы развития оптико-электронных измерительных приборов на Российском рынке // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «СибОптика-2013» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск : СГГА, 2013. Т. 1. – С. 290–292.

4. Кузнецов М. М., Соснов А. Н., Марач А. А. Общие положения и основные задачи отработки изделий современного приборостроения на технологичность // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Специализированное приборостроение, метрология, теплофизика, микротехника, нанотехнологии» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 10–20 апреля 2012 г.). – Новосибирск : СГГА, 2012. Т. 1. – С. 107–112.

5. Кузнецов М. М., Соснова Н. К., Марач А. А. Технологичность изделий современного приборостроения // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Специализированное приборостроение, метрология, теплофизика, микротехника, нанотехнологии» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 10–20 апреля 2012 г.). – Новосибирск : СГГА, 2012. Т. 1. – С. 98–102.

6. Коваленко В. В., Кузнецов М. М., Марач А. А. Цифровой коллиматорный прицел // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2016. XII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «СибОптика-2016» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 18–22 апреля 2016 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2016. Т. 1. – С. 56–59.

7. Направления инновационного развития современного высокотехнологичного предприятия на примере АО «Швабе – Оборона и Защита» Комбаров М.С. Национальная ассоциация ученых Ежемесячный научный журнал. 2016г., №1, С.38-42.

© М. С. Комбаров, М. М. Кузнецов, 2017

АНТЕННАЯ СИСТЕМА МАЛОГАБАРИТНОГО РАДАРА С СИНТЕЗИРОВАННОЙ АПЕРТУРОЙ

Виталий Сергеевич Кулик

АО «Научно-исследовательский институт электронных приборов», 630005, Россия, г. Новосибирск, ул. Писарева, 53, инженер 1-й категории, тел. (383)216-05-48, e-mail: vkulik@ngs.ru

Валерий Борисович Ромодин

АО «Научно-исследовательский институт электронных приборов», 630005, Россия, г. Новосибирск, ул. Писарева, 53, начальник лаборатории, тел. (383)216-05-48; Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, доцент кафедры АИУС, e-mail: romodin@ngs.ru

В статье рассмотрены требования для антенной решётки малогабаритных радаров с синтезированной апертурой. Спроектирована микрополосковая антенная решётка с малым уровнем боковых лепестков.

Ключевые слова: антенная решётка, микрополосковый излучатель, радар с синтезированной апертурой (РСА).

COMPACT SIZED SYNTHETIC APERTURE RADAR ANTENNA SYSTEM

Vitaly S. Kulik

Joint-Stock Company «Scientific Research Institute on Electronic Devices», 630005, Russia, Novosibirsk, 53 Pisareva St., engineer, tel. (383)216-05-48, e-mail: vkulik@ngs.ru

Valery B. Romodin

Joint-Stock Company «Scientific Research Institute on Electronic Devices», 630005, Russia, Novosibirsk, 53 Pisareva St., laboratory chief, tel. (383)216-05-48; Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia, Novosibirsk, 20 K. Marksa Prospekt, associate professor, e-mail: romodin@ngs.ru

In this article, the requirements for the antenna array for small synthetic aperture radar system are considered. The microstrip antenna array with low sidelobes level was designed.

Key words: antenna array, microstrip radiator, synthetic aperture radar.

В современных системах мониторинга окружающей среды в интересах охраны природы, сельского хозяйства, транспортирования полезных ископаемых, геодезии и картографии широко применяются беспилотные летательные аппараты БПЛА. В качестве одной из полезных нагрузок БПЛА используются радиолокаторы с синтезированной апертурой (РСА), позволяющие получать радиолокационные изображения местности с высоким разрешением в любых (в том числе ночных) погодных условиях. Массово применяемые лёгкие БПЛА могут нести нагрузку 3...5 кг, разрабатываемые для них РСА выделены в отдельный класс малогабаритных, масса которых составляет 1...1,5 кг.

В настоящей работе приведены результаты проектирования антенной системы малогабаритного РСА, использующего сигнал с линейной частотной модуляцией в диапазоне 10 ГГц. Для получения радиолокационного изображения высокого качества к антенной системе предъявляются весьма жёсткие и порой противоречивые требования. Для обеспечения хорошей разрешающей способности по азимуту предполагается использовать девиацию частоты порядка 1 ГГц, в связи с этим антенна должна быть достаточно широкополосной (полоса рабочих частот на уровне отражения – 10 дБ должна превышать 1 ГГц). Для обеспечения нужной дальности работы РСА коэффициент усиления антенны должен быть не менее 18 дБ, а для предотвращения миграции элементов изображения в широком диапазоне отражательных свойств зондируемой поверхности уровень боковых лепестков УБЛ диаграммы направленности ДН антенны должен быть менее –25 дБ. С целью упрощения схемы РСА предполагается работа с отдельными передающей и приёмной антеннами, при этом для защиты входных каскадов приёмника развязка между антеннами должна превышать 40 дБ. Конструкция должна быть малогабаритной с минимально возможной массой.

Большинство известных малогабаритных РСА [1, 2] из соображения минимизации массогабаритных характеристик применяют решётки микрополосковых излучателей МПИ [3]. Однако, большинство известных решёток с однослойной структурой МПИ имеют рабочую полосу частот порядка 3...4 %, и не могут успешно применяться с девиациями частоты, превышающими 300...400 МГц. Достаточная широкополосность присуща более сложным многослойным структурам, в частности, МПИ с апертурным возбуждением [4, с. 539]. МПИ подобного типа был выбран в качестве основного элемента для построения линейной антенной решётки (Рис. 1).

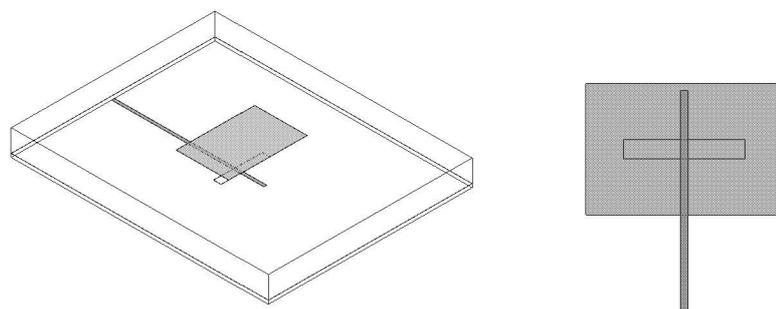


Рис. 1. Внешний вид элемента антенной решетки

Для улучшения согласования МПИ введены дополнительные подстроечные элементы 1 – расширенный и суженный отрезки микрополосковой линии (рРис.). Подбором размеров этих элементов получена более гладкая характеристика КСВН в рабочей полосе частот.

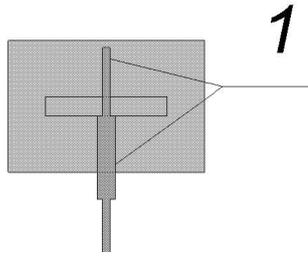


Рис. 2. МПИ со шлейфами

Диаграмма направленности одиночного излучателя имеет ширину ДН в экваторе около 70° . Для сужения ДН в экваториальной плоскости до 50° в конструкции использованы металлические направители, расположенные вдоль антенны (Рис. 3). Наличие направителей также способствует увеличению развязки между передающей и приёмной антеннами.

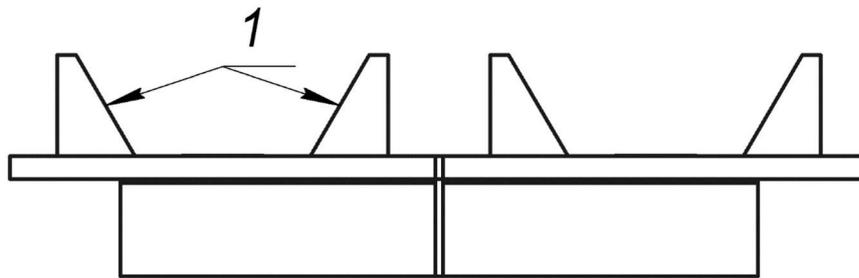


Рис. 3. Направители

Рассчитан делитель для линейной решётки из 12 элементов с использованием оптимального дольф-чебышевского распределения на УБЛ -30 дБ. Делитель с подключёнными МПИ выглядит следующим образом (Рис. 4):

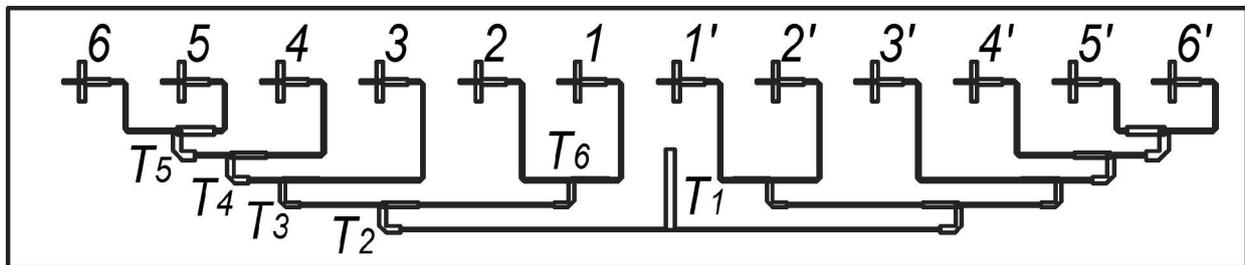


Рис. 4. Микрополосковый делитель

Для верификации реализованного распределения вычислены значения поля в ближней зоне антенной решётки. Отклонение амплитудного распределения от расчётного не превышает $\pm 0,05$, неравномерность фазы не превышает $\pm 10^\circ$ (Рис. 5, 6).

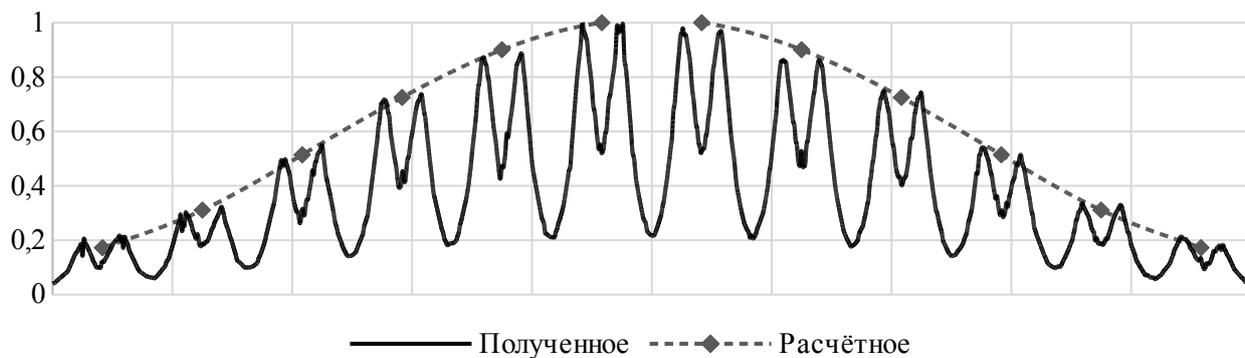


Рис. 5. Амплитудное распределение



Рис. 6. Фазовое распределение

Сечения ДН антенной решётки показаны ниже (рис. 7). Ширина ДН по уровню -3дБ в экваториальной плоскости составляет 52° , в меридиональной плоскости -9° . Коэффициент усиления антенны 18дБ . УБЛ в полосе частот менее -25дБ . КСВН менее 1,5 в заданной полосе частот (рис. 8). КСВН менее -40дБ в заданной полосе частот (рис. 8).

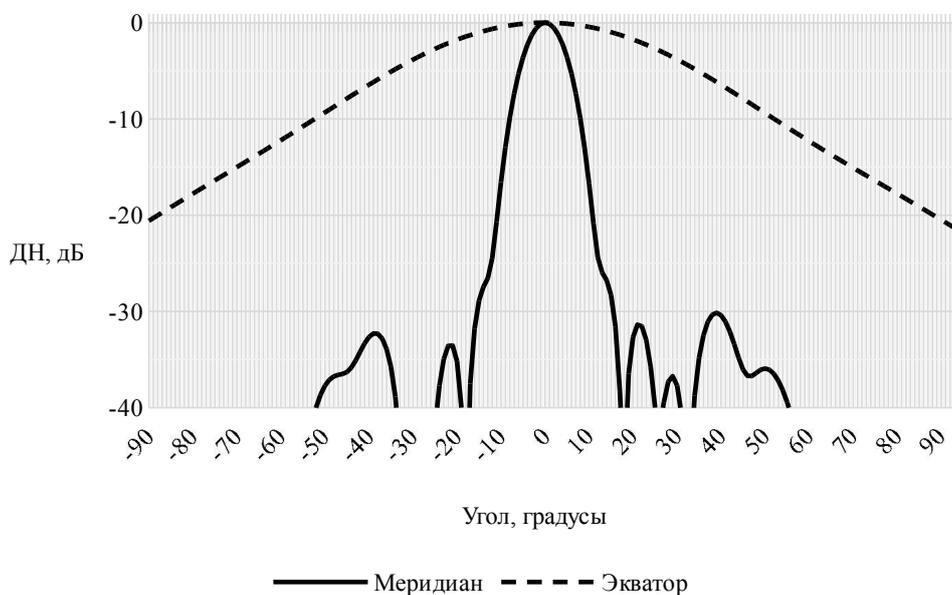


Рис. 7. ДН антенны

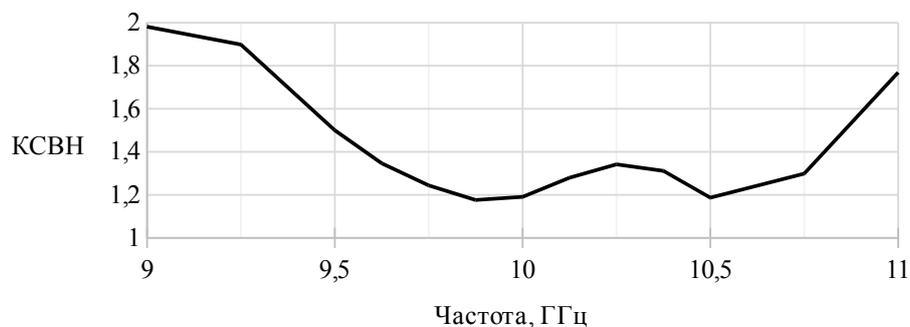


Рис. 8. КСВН антенны

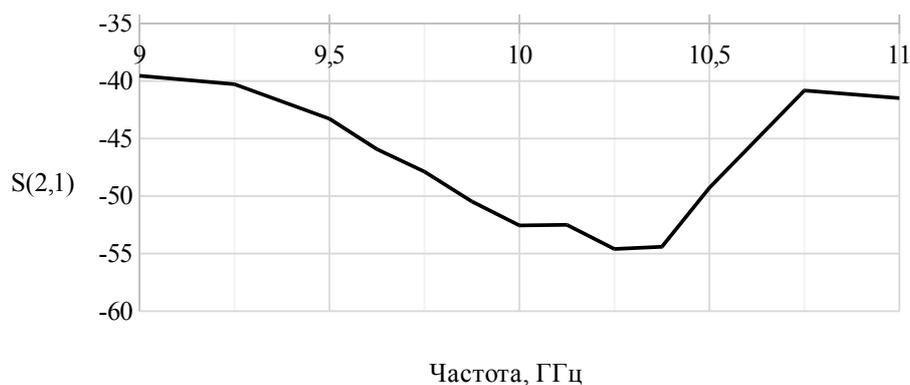


Рис. 9. Развязка между антеннами

Предложенная антенна обладает небольшими размерами и массой, имеет хорошие электрические характеристики в диапазоне частот более 1 ГГц, следовательно, может быть использована в малогабаритных РСА.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. IMSAR'SONESAR. Дата обновления: 11.03.2017.URL: <http://www.imsar.com/onesar.html> (дата обращения: 15.03.2017).
2. ARTEMIS Synthetic Aperture Radar Solutions. MicroASAR. URL: <http://artemisinc.net/microasar.php> (дата обращения: 15.03.2017).
3. David G. Long. BYU microSAR system description. 02.05.2006.URL: http://www.mers.byu.edu/yinsar/microSAR_descrip3.pdf (дата обращения: 15.03.2017).
4. MicrostripAntennaDesignHandbook/R.Garg [etal.].- ArtechHouse, 2000 - 845 p.

© В. С. Кулик, В. Б. Ромодин, 2017

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МИКРОСХЕМЫ МЕТОДОМ ВАКУУМНОГО НАПЫЛЕНИЯ

Денис Юрьевич Сидоров

АО «Научно-исследовательский институт электронных приборов», 630005, Россия, г. Новосибирск, ул. Писарева, 53, начальник лаборатории вакуумного напыления и прецизионной фотолитографии, тел. (913)487-97-45, e-mail: SidorovDen@mail.ru

Любовь Васильевна Григорьева

АО «Научно-исследовательский институт электронных приборов», 630005, Россия, г. Новосибирск, ул. Писарева, 53, заместитель начальника отдела 12 по технической части, тел. (905)945-88-56, e-mail: Glv310@mail.ru

Светлана Викторовна Юркова

АО «Научно-исследовательский институт электронных приборов», 630005, Россия, г. Новосибирск, ул. Писарева, 53, начальник отдела 12, тел. (913)487-745, e-mail: Yurkovasv@yandex.ru

Разработана технология создания микросхемы на подложке методом вакуумного напыления через маски, в автоматическом режиме смены масок в вакуумном пространстве.

Ключевые слова: вакуумное напыление, топологический рисунок, прецизионная маска, подложка, тонкие пленки.

THE TECHNOLOGY OF CHIP FABRICATION BY THE VACUUM DEPOSITION

Denis Yu. Sidorov

Joint-Stock Company «Scientific Research Institute on Electronic Devices», 630005, Russia, Novosibirsk, 53 Pisareva St., Head of the Laboratory of Vacuum Sputtering and Precision Photolithography, tel. (913)487-97-45, e-mail: SidorovDen@mail.ru

Lyubov V. Grigorieva

Joint-Stock Company «Scientific Research Institute on Electronic Devices», 630005, Russia, Novosibirsk, 53 Pisareva St., Deputy Head of Division 12 for technical part, tel. (905)945-88-56, e-mail: Glv310@mail.ru

Svetlana V. Yurkova

Joint-Stock Company «Scientific Research Institute on Electronic Devices», 630005, Russia, Novosibirsk, 53 Pisareva St., head of department 12, tel. (913)487-745, e-mail: Yurko vasv@yandex.ru

A technology was developed for creating a microcircuit on a substrate by the method of vacuum deposition through masks, in the automatic mode of changing masks in the vacuum space.

Key words: vacuum deposition, topological drawing, precision mask, substrate, thin films.

Создание топологий методом вакуумного напыления через прецизионные маски оправдано, вместо методов формирования топологического рисунка по средствам фотолитографии и травления, в случаях с относительно невысокими точностями расположения топологического рисунка, и не высоким разрешением

топологии. Относительно невысокие точности расположения топологического рисунка и невысокое разрешение топологии при вакуумном напылении через маски обусловлены сложением допустимых отклонений при изготовлении прецизионных масок, допусков на совмещение масок с подложками, допусков на совмещение масок с нанесенной топологией в случаях, когда формируется микросхема, подпылений и других.

Предлагаемая технология заключается в следующем. Предлагается метод напыления в вакууме топологического тонкоплёночного рисунка микросхемы на подложку, прижатую к первой маске, в первой рабочей зоне (в первой технологической вакуумной камере).

Отличительными признаками технологии является то, что создают и поддерживают необходимый вакуум, по меньшей мере, в двух рабочих зонах, сообщающихся между собой через вакуумные пневмозатворы, а после напыления подложки в первой рабочей зоне производят, с сохранением вакуума, отделение подложки от первой маски, перемещение подложки из первой рабочей зоны во вторую рабочую зону, прижим подложки ко второй маске, второе напыление подложки через вторую маску во второй рабочей зоне.

Кроме того, перед напылением подложки в рабочей зоне герметично перекрывают её сообщение с остальными рабочими зонами, устанавливают в упомянутой рабочей зоне дополнительно необходимый уровень разряжения воздуха.

Кроме того, предварительно ненапылённую подложку размещают в загрузочно-разгрузочной зоне, в которой создают вакуум, открывают в вакууме сообщение между первой рабочей зоной и загрузочно-разгрузочной зоной на время извлечения из неё подложки, которую в вакууме перемещают в первую рабочую зону через транспортную зону, обеспечивают прижатие подложки к первой маске и производят напыление в первой рабочей зоне, а после окончания напыления подложки во второй рабочей зоне, отделяют подложку от второй маски, открывают в вакууме сообщение между второй рабочей зоной и загрузочно-разгрузочной зоной на время перемещения в неё готовой напылённой подложки из второй рабочей зоны, сбрасывают вакуум в загрузочно-разгрузочной зоне и извлекают из неё готовую с нанесенным топологическим рисунком подложку.

Интерес рассматриваемой технологии заключается в качественно новом способе напыления в вакууме топологического тонкоплёночного рисунка микросхемы на подложку через маски, сменяемые под вакуумом, то есть, без необходимости разгерметизации вакуумной установки. Такое техническое решение обеспечивает повышение производительности указанного способа напыления.

Сущность технологии поясняется чертежами.

На рис. 1 показана схема устройства, осуществляющего способ напыления в вакууме топологического тонкоплёночного рисунка микросхемы на подложку, вид сверху.

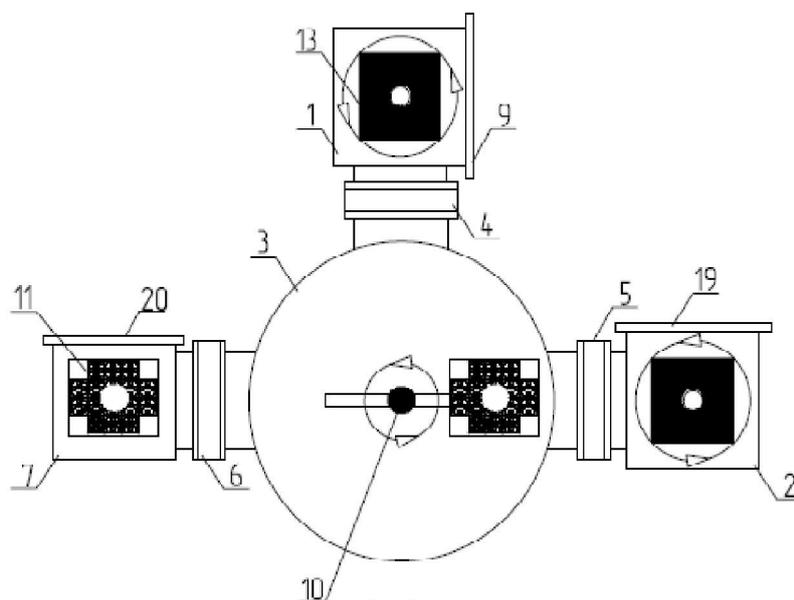


Рис. 1. Схема устройства напыления

На рис. 2 показана схема взаимного расположения подложкодержателя, подложки и маски.

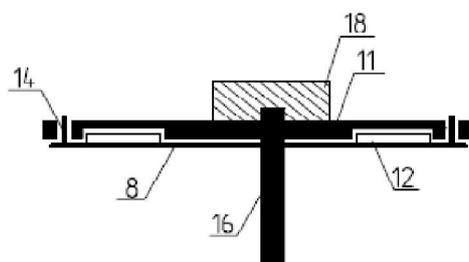


Рис. 2. Схема расположения подложкодержателя, подложки и маски

На рис. 3 показана схема установки подложкодержателя с подложкой на маску.

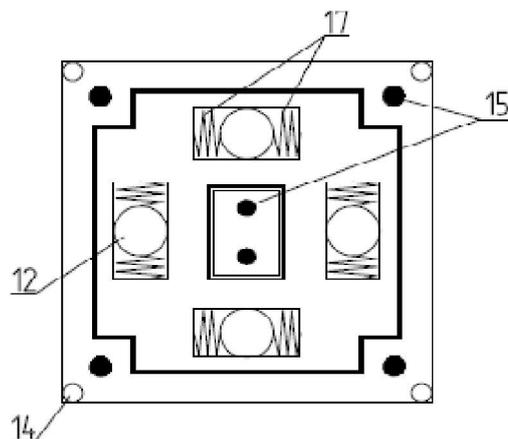


Рис. 3. Схема установки подложкодержателя с подложкой на маску.

Установка содержит (Рисунок 1), по крайней мере, две технологические вакуумные камеры 1 и 2 для напыления, ограничивающие рабочие зоны напыления. Технологические вакуумные камеры 1 и 2 соединены через вакуумные пневмозатворы 4 и 5 с транспортной вакуумной камерой 3 – ограничивающей транспортную зону. Таким образом, технологические вакуумные камеры 1 и 2 могут сообщаться между собой через транспортную вакуумную камеру 3. К транспортной вакуумной камере 3 через вакуумный пневмозатвор 6 может быть подсоединена шлюзовая вакуумная камера загрузки-выгрузки 7. В технологических вакуумных камерах 1 и 2 расположены карусельные устройства с масками 8, источники испарения металлов и т. д. Технологические вакуумные камеры 1 и 2 имеют технологические двери 9 и 19 для технического обслуживания, ввода расходных материалов–напыляемых металлов. Через технологические двери 9 и 19 может осуществляться загрузка и выгрузка подложек 12 в подложкодержателях 11.

В транспортной вакуумной камере 3 расположен роботизированный захват 10 (например, автоматизированная транспортная система перемещения подложкодержателей (манипулятор)).

В шлюзовой вакуумной камере загрузки-выгрузки 7 в общем случае расположены подложкодержатели 11 как с не напыленными, так и с напылёнными подложками 12.

Перед напылением (Рисунок 2) в рабочей камере 1 или 2 подложкодержатель 11 с подложкой 12 плотно прижат к маске 8 (подложка может быть одна или несколько в зависимости от конструкции подложкодержателя и производительности камеры).

Прецизионное позиционирование (Рисунок 2 и 3) подложки 12 в подложкодержателе 11 относительно рисунка топологии на маске 8, (изготовленной из тонкого магнитного материала) обеспечивается с помощью, изготовленных с высокой точностью, направляющих элементов выполненных в виде стержней и конусов 14. Плотный прижим маски 8 к подложке 12 в подложкодержателе 11 обеспечивается с помощью электромагнитов 15, которые установлены по периметру и в центре подложкодержателя 11. Питание на электромагниты 15 подаётся через ось вращения 16 подложкодержателя 11 в технологической вакуумной камере 1 и 2. Подложки 12 в подложкодержателе 11 устанавливаются через термокомпенсирующие пружины 17 чтобы избежать повреждения во время их термического расширения при предварительном прогреве. Подложки 12 подпружинены с нерабочей стороны и удерживаются «лапками» с рабочей для того, чтобы обеспечивалось их выступание из подложкодержателя 11. Это необходимо для плотного прижима к ним маски 12. Подложкодержатель 11 имеет выступающую деталь 18 за которую происходит его захват для перемещения между камерами.

Работа устройства происходит следующим образом. Через открытую технологическую дверь 20 шлюзовой загрузочно-разгрузочной камеры 7 устанавливают подложкодержатель 11 с подложками 12, затем технологическую дверь 20 шлюзовой загрузочно-разгрузочной вакуумной камеры 7 закрывают, после чего в ней создают форвакуум. Одновременно с этим или заранее в технологической

вакуумной камере 1, технологической вакуумной камере 2 и транспортной вакуумной камере 3 отдельно в каждой, так как технологическая вакуумная камера 1 и 2 предварительно перекрываются от транспортной вакуумной камеры вакуумными пневмозатворами 4 и 5, создается высокий вакуум общим форвакуумным и отдельными высоковакуумными насосами. Далее вакуумный пневмозатвор 6 шлюзовой загрузочно-разгрузочной вакуумной камеры 7 открывается и роботизированный захват 10 перемещает подложкодержатель 11 с подложками 12 в транспортную вакуумную камеру 3, после чего вакуумный пневмозатвор 6 перекрывается, и в шлюзовой загрузочно-разгрузочной вакуумной камере 7 сбрасывается вакуум, затем в загрузочно-разгрузочной камере 7 открывается внешняя технологическая дверь 20 для повторной загрузки следующего подложкодержателя 11 с подложками 12. Одновременно с этим вакуумный пневмозатвор 4 между транспортной вакуумной камерой 3 и технологической вакуумной камерой 1 открывается, роботизированная рука 10 перемещает подложкодержатель 11 с подложками 12 в технологическую вакуумную камеру 1 и возвращается в исходное положение. В технологической вакуумной камере 1 подложки 12 в подложкодержателе 11 позиционируются с помощью направляющих элементов 14 с маской 8, а затем фиксируются и прижимаются к маске 8 с помощью электромагнитов 15, далее технологическая вакуумная камера 1 перекрывается от транспортной вакуумной камеры 3 вакуумным пневмозатвором 4, в технологической вакуумной камере 1 создается необходимый для напыления высокий вакуум, и собственно происходит процесс напыления через первую маску 8. После напыления через первую маску 8 в первой технологической вакуумной камере 1 первого подложкодержателя 11 с подложками 12 роботизированная рука 10 отсоединяет подложкодержатель 11 от маски 8 и перемещает его через открывшиеся вакуумные пневмозатворы 4 и 5, а также транспортную вакуумную камеру 3 из технологической вакуумной камеры 1 в технологическую вакуумную камеру 2, где операция напыления повторяется, но уже через вторую маску 8 отличную от первой. Во время процесса напыления во второй технологической вакуумной камере 2 роботизированный захват 10, находящейся на тот момент в исходном положении (исходное положение — это любое положение в транспортной вакуумной камере 3 без подложкодержателя 11), забирает уже загруженный подложкодержатель 11 с подложками 12 из шлюзовой загрузочно-разгрузочной вакуумной камеры 7 для переноса его в технологическую вакуумную камеру 1 где происходит совмещение подложек 12 с помощью направляющих элементов 14 в подложкодержателе 11, их фиксация и прижим к маске с помощью электромагнитов 15, и после этого напыление на них тонких пленок металла через маску 8. Таким образом, после установки подложкодержателя 11 в технологическую вакуумную камеру 2 и началом в ней напыления, в установке находится одновременно два подложкодержателя 11 с подложками 12. После окончания процесса напыления в технологической вакуумной камере 2 роботизированный захват 10, через открывшиеся вакуумные пневмозатворы 5 и 6 и через транспортную вакуумную камеру 3, перемещает подложкодержатель 11 с изготовленными подложками 12

в шлюзовую загрузочно-разгрузочную вакуумную камеру 7. После этого роботизированный захват 10 перемещает из технологической вакуумной камеры 1 подложкодержатель 11 с подложками 12 на которые нанесен 1 часть топологического рисунка, с помощью первой маски 8, через вакуумные затворы 4 и 5 и транспортный вакуумный модуль 3 в технологическую вакуумную камеру 2, где подложкодержатель 11 с подложками 12 позиционируется с маской 8 по направляющим элементам 14, где подложки 12 в подложкодержателе 11 прижимаются к маске 8 с помощью электромагнитов 15. Далее вакуумный пневмозатвор 5 перекрывается и происходит напыление второго топологического рисунка через вторую маску 8, отличную от первой, во второй технологической вакуумной камере 2. Одновременно с этим роботизированный захват 10 забирает из шлюзовой загрузочно-разгрузочной вакуумной камеры 7 через открывшийся вакуумный пневмозатвор 6 еще не напыленные подложки 12 в подложкодержателе 11 и переносит их через транспортную вакуумную камеру 3 и открывшийся вакуумный пневмозатвор 4 в технологическую вакуумную камеру 1 где подложкодержатель 11 с подложками 12 позиционируется по направляющим 14 и подложки 12 прижимаются с помощью электромагнитов 15 к маске 8 как было ранее, после чего происходит напыление. Оператор, забирая готовую продукцию в подложкодержателе 11 из шлюзовой загрузочно-разгрузочной вакуумной камеры 11 через технологическую дверь 20, устанавливает на его место следующий подложкодержатель 11 с подложками 12 и цикл повторяется. Следует отметить, что в данном конвейерном принципе работы, имеет место потеря высокого вакуума через шлюзовую загрузочно-разгрузочную вакуумную камеру 7, вовремя загрузки и выгрузки, для этого давление во время работы в технологических вакуумных камерах 1, 2 и транспортной вакуумной камере 3 постоянно контролируется и по мере необходимости корректируется с помощью форвакуумных и высоковакуумных насосов (не показаны). Кроме того, во время производства периодически заканчивается испаряемый металл в технологической вакуумной камере 1 и 2, в таких случаях та или другая технологическая вакуумная камера останавливается без остановки всей установки и материал добавляется через технологические двери 9 и 19 технологических вакуумных камер 1 и 2.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кудрявцев Р. В., Сидоров Д. Ю., Юркова С. В, Григорьева Л. В. , Алямов А. Э., Эдвабник В. Г., Цай В. Б. Патент на изобретение № 2586937 Способ напыления в вакууме топологического тонкопленочного рисунка гибридной микросхемы на подложку.

© Д. Ю. Сидоров, Л. В. Григорьева, С. В. Юркова, 2017

МИКРОПОЛОСКОВЫЙ ДЕЛИТЕЛЬ ДЛЯ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ МАЛОГАБАРИТНОГО РАДАРА С СИНТЕЗИРОВАННОЙ АПЕРТУРОЙ

Валерий Борисович Ромодин

АО «Научно-исследовательский институт электронных приборов», 630005, Россия, г. Новосибирск, ул. Писарева, 53, начальник лаборатории, тел. (383)216-05-48, e-mail: romodin@ngs.ru; Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, доцент кафедры АИУС, e-mail: romodin@ngs.ru

Виталий Сергеевич Кулик

АО «Научно-исследовательский институт электронных приборов», 630005, Россия, г. Новосибирск, ул. Писарева, 53, инженер 1-й категории, тел. (383)216-05-48, e-mail: vkulik@ngs.ru

В статье рассмотрены требования для антенной решетки малогабаритных радаров с синтезированной апертурой. Изучены различные способы возбуждения элементов решёток. Исследована и рассчитана микрополосковая несимметричная параллельная схема возбуждения для 12 элементов.

Ключевые слова: несимметричная параллельная схема возбуждения, антенная решетка.

MICROSTRIP DIVIDER FOR COMPACT SYNTHETIC APERTURE RADAR ANTENNA ARRAY

Váleriy B. Romodin

Joint-Stock Company «Scientific Research Institute on Electronic Devices», 630005, Russia, Novosibirsk, 53 Pisareva St., laboratory chief, tel. (383)216-05-48, e-mail: romodin@ngs.ru; Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia, Novosibirsk, 20 K. Marksa Prospekt, associate Professor, e-mail: romodin@ngs.ru

Vitaly S. Kulik

Joint-Stock Company «Scientific Research Institute on Electronic Devices», 630005, Russia, Novosibirsk, 53 Pisareva St., engineer, tel. (383)216-05-48, e-mail: vkulik@ngs.ru

In this article, the requirements for the antenna array for small synthetic aperture radar system are considered. The microstrip asymmetric parallel feed network for twelve elements was investigated and designed.

Key words: asymmetric parallel feed network, antenna array.

В настоящей работе приведены результаты проектирования микрополоскового делителя для антенной решётки малогабаритного РСА X-диапазона. В качестве зондирующего предполагается использовать сигнал с линейной час 25 дБ.

Одно из требований к антенной системе РСА состоит в постоянстве «отпечатка» главного луча антенны на сканируемой поверхности во всём диапазоне изменения частоты зондирующего сигнала. В известных конструкциях [1] это достигается с помощью разделения апертуры решётки на две симметричные части и противофазном возбуждении двух половин антенны. В процессе изменения

частоты главные лучи ДН половин апертуры смещаются в разные стороны, и суммарный главный луч антенны остаётся перпендикулярным плоскости антенны. Однако, как показали соответствующие расчёты, при достаточно большой девиации частоты суммарный луч «разрывается», и образуется значительный провал КНД на границах частотного диапазона. При девиации частоты порядка 1 ГГц необходимо применение параллельной схемы суммирования излучателей в решётке, которое свободно от этого недостатка.

Параллельные схемы возбуждения применяются, как правило, в «бинарном» варианте, который приводит к реализации равномерного амплитудного возбуждения в раскрыве антенны. ДН таких решёток имеет максимальный уровень боковых лепестков порядка $-10\dots-13$ дБ, что не удовлетворяет требованиям, предъявляемым к антенне РСА. Для получения УБЛ порядка -25 дБ необходимо реализовать спадающее амплитудное распределение с отношением уровней возбуждения на краю антенны порядка $0,1\dots 0,3$. в зависимости от количества элементов в решётке. Чтобы реализовать такое деление мощности в простой параллельной схеме деления типа «ёлочка», требуется применение делителей мощности с несимметричным делением. При этом анализ показывает, что требуются делители с таким отношением мощностей между плечами, которые не могут быть реализованы на микрополосковых линиях передачи.

После анализа возможных схем возбуждения была принята схема сложного несимметричного параллельного возбуждения [2, с. 721], обеспечивающая синфазность возбуждения элементов антенны и спадающее амплитудное распределение, дающее требуемый УБЛ ДН антенны. Для снижения значений требуемых коэффициентов деления предложено делить мощность между группами излучателей различного количества, сохраняя минимально возможный коэффициент деления.

Детальный анализ делителя мощности на линиях передачи, в первом приближении свободных от дисперсии (к которым относится микрополосковая линия), проведён в [3]. Делитель состоит из трёх четвертьволновых трансформаторов, нагруженных на три линии с волновым сопротивлением Z_0 (рис. 1).

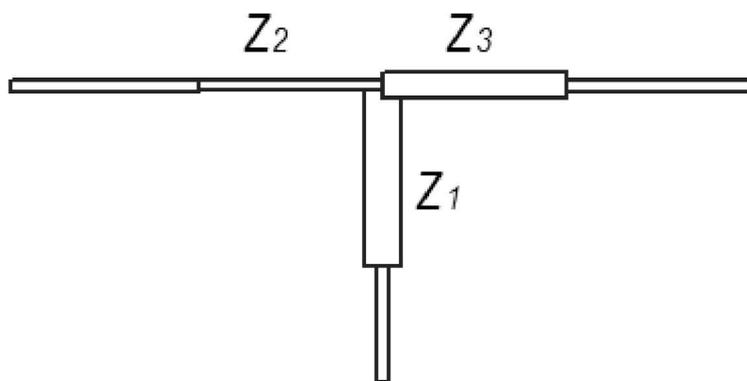


Рис. 1. Т-образный делитель

Если обозначить волновые сопротивления четвертьволновых трансформаторов во входной линии делителя и двух выходных, как Z_1, Z_2, Z_3 , то для деления в соотношении $m:1$ имеем

$$Z_1 = n \cdot Z_0, Z_2 = n \cdot Z_0 \cdot \sqrt{m+1}, Z_3 = n \cdot Z_0 \cdot \sqrt{\frac{m+1}{m}} \quad (1)$$

где n – свободный параметр, выбираемый из соображений удобства реализации делителя.

Если задать сопротивление трансформатора третьей линии равным Z_0 , то свободный параметр становится равным

$$n = \frac{1}{\sqrt{m+1}}, \quad (2)$$

и для деления $m:1$ имеем

$$Z_1 = \frac{Z_0}{\sqrt{m+1}}, Z_2 = Z_0, Z_3 = \frac{Z_0}{\sqrt{m}} \quad (3)$$

С помощью соотношений (1)–(3) рассчитан делитель для линейной решётки из 12 МПИ. В качестве подложки использован диэлектрик F4VM220 толщиной 0,5 мм с диэлектрической проницаемостью $\epsilon=2,2$. Базовое значение волнового сопротивления линии питания $Z_0=100$ Ом.

Для реализации УБЛ порядка -30 дБ в решетке из 12 излучателей использовано известное оптимальное дольф-чебышевское распределение, вычислены значения мощности, поступающие на каждый излучатель. После этого решётка разбита на группы элементов, потребляющие примерно равные количества мощности, для синфазной решётки, это выглядит следующим образом (Рис. 2).

На входе мощность делится пополам на две группы по 6 излучателей, затем следует второй делитель T_2 , ответвляющий мощность на 2 центральных и 4 периферийных излучателя. Третий делитель T_3 делит мощность между третьим и тремя периферийными излучателями, четвёртый делитель T_4 – между четвертым и двумя крайними излучателями. И наконец, соответствующие делители T_5 и T_6 делят мощность между излучателями 1-2 и 5-6. В результате получается достаточно компактная схема деления, при умеренных отношениях деления (не превышающих 3:1) обеспечивающая синфазное деление мощности при требуемом соотношении амплитуд возбуждения.

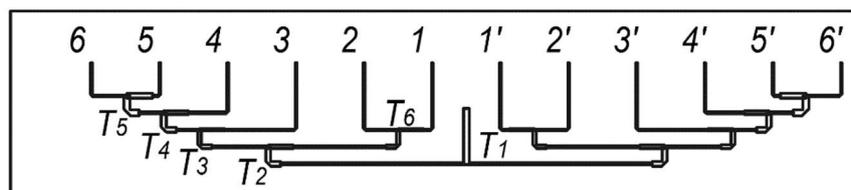


Рис. 2. Микрополосковый делитель для антенной решетки

Коэффициент отражения с входа (параметр $S(1,1)$) как делителя целиком, так и отдельных Т-делителей, хорошосогласован в широкой полосе частот (рис. 3). Отклонение амплитудного распределения от расчётного не превышает $\pm 0,06$, неравномерность фазы не превышает $\pm 2^\circ$ (таблица).

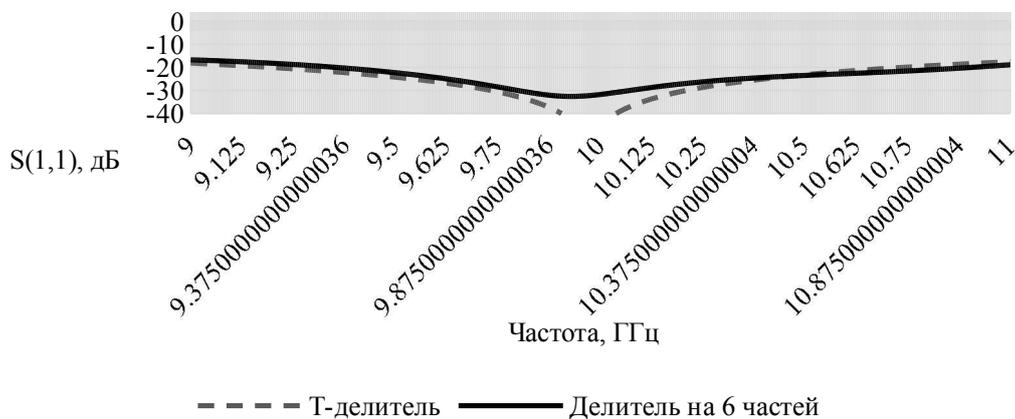


Рис. 3. Коэффициент отражения делителя

Таблица

Параметры сигнала на выходах делителя

Номер выхода	1	2	3	4	5	6
Требуемая амплитуда	1	0,9	0,725	0,514	0,311	0,172
Расчётная амплитуда	1	0,886	0,665	0,478	0,307	0,182
Разница	0	-0,014	-0,06	-0,036	-0,004	+0,01
Фаза, °	91,7	90,3	91,3	88,9	90,9	90,0

Таким образом, на основе предложенного делителя СВЧ мощности возможна реализация антенны для РСА с девиацией частоты, превышающей 1 ГГц, и сохраняющей постоянство направления главного луча ДН во всем рабочем диапазоне частот.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. NanoSAR miniature SAR System for small UAVs. Дата обновления: 29.08.2006. URL: <http://defense-update.com/products/n/nanosar.htm> (дата обращения: 17.02.2017).
2. Microstrip Antenna Design Handbook / R.Garg [etal.]. - ArtechHouse, 2000 - 845 p.
3. Устройства СВЧ / Подред. Д.М. Сазонова. - М.: Высшая школа, 1981 - 295 с.

© В. Б. Ромодин, В. С. Кулик, 2017

К РАСЧЕТУ ПАРАМЕТРОВ УПРУГОГО КОНТАКТНОГО СЛОЯ

Валерий Григорьевич Эдвабник

АО «Научно-исследовательский институт электронных приборов», 630005, Россия, г. Новосибирск, ул. Писарева, 53, заместитель генерального директора по развитию, чл.-корр. РАН, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, тел. (383)216-05-63, e-mail: niiep@oaoniep.ru; Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, профессор кафедры АИУС, тел. (383)346-26-23

Сергей Геннадиевич Механошин

АО «Научно-исследовательский институт электронных приборов», 630005, Россия, г. Новосибирск, ул. Писарева, 53, заместитель генерального директора по производству, тел. (383) 216-05-52, e-mail: niiep@oaoniep.ru

Максим Михайлович Кузнецов

АО «Научно-исследовательский институт электронных приборов», 630005, Россия, г. Новосибирск, ул. Писарева, 53, кандидат технических наук, начальник лаборатории стандартизации, тел. (913)921-44-39, e-mail: a9214439@yandex.ru

В статье исследуется влияние упругого контактного слоя на собственные частоты составных конструкций. Предложенная идеализация стыка шероховатых поверхностей соединяемых элементов конструкций позволяет использовать в анализе аппарат теории обобщенной проводимости, в частности, расчет обобщенной проводимости смесей с включениями имеющими бесконечную проводимость. Полученные результаты идентичны полученным другими исследователями с помощью полуэмпирических теорий упругого контактного слоя.

Ключевые слова: теория обобщенной проводимости, упругий контактный слой, шероховатость поверхности.

CALCULATION OF PARAMETERS OF THE ELASTIC CONTACT LAYER

Valery G. Edvabnik

Joint-Stock Company «Scientific Research Institute on Electronic Devices», 630005, Russia, Novosibirsk, 53 Pisareva St., Deputy General Director for development, Corresponding member of Russian Academy of Missile and Ammunition Sciences, Ph. D., Senior Researcher, tel. (383)216-05-63, e-mail: niiep@oaoniep.ru; Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia, Novosibirsk, 20 K. Marksa Prospekt, Professor at the Department of AICS, tel. (383)346-26-23

Sergey G. Mekhanoshin

Joint-Stock Company «Scientific Research Institute on Electronic Devices», 630005, Russia, Novosibirsk, 53 Pisareva St., Deputy General Director for production, tel. (383)216-05-52, e-mail: niiep@oaoniep.ru

Maxim M. Kuznetsov

Joint-Stock Company «Scientific Research Institute on Electronic Devices», 630005, Russia, Novosibirsk, 53 Pisareva St., Ph. D., head of laboratory standardization, tel (913)921-44-39, e-mail: a9214439@yandex.ru.

This article examines the effect of elastic contact layer on the eigenfrequencies of composite structures. The proposed idealization joint of the rough surfaces of connected elements designs allows the use in the analysis of the theory of generalized conductivity, in particular, calculation of generalized conductivity of mixtures with inclusions having infinite conductivity. The obtained results are the same obtained by other researchers using semi-empirical theories of elastic contact layer.

Key words: theory of generalized conductivity, elastic contact layer, surface roughness.

Характеристики контактного слоя имеют важнейшее значение при исследовании виброустойчивости и вибропрочности сложных составных конструкций (например, электронной аппаратуры военного назначения). Данному вопросу посвящено немало исследований, например [2,4,5]. Практически все известные работы основаны на общей теории упругости и полуэмпирических зависимостях характеристик шероховатости и неплоскостности сопряженных поверхностей.

Покажем, что расчет характеристик упругого контактного слоя может быть осуществлен с использованием соотношений теории обобщенной проводимости ТОП [6].

На рис. 1 схематично показан стык двух шероховатых поверхностей.

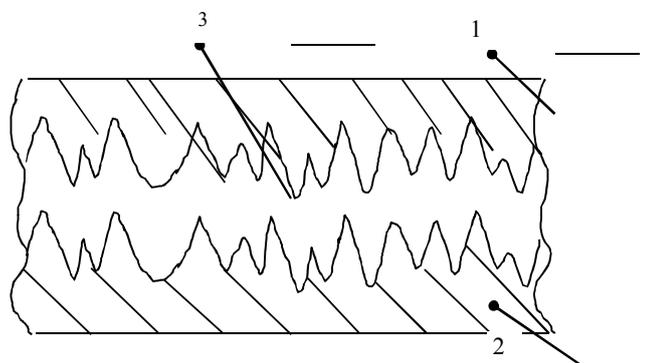


Рис. 1. Увеличенное изображение стыка шероховатых поверхностей:

1, 2 – сопрягаемые детали; 3 – зазор (пустое пространство)

Затяжка болтов (винтов) при стыковке деталей приводит к некоторому сминанию соприкасающихся пиков шероховатости или неплоскостности, но не может привести к полному «смыканию» зазора 3. Поэтому говорят о так называемом «пятне контакта». Из многочисленных исследований известно, что пятно контакта стыкуемых деталей при сжатии составляет величину не более 5-10% от общей площади сопрягаемых поверхностей [4].

Схематическая идеализация стыкуемых поверхностей показана на рис. 2.

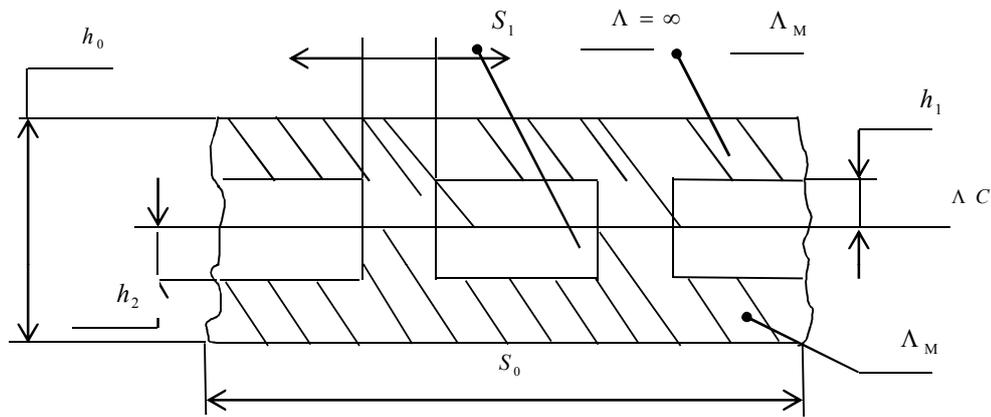


Рис. 2. Схематическая идеализация стыка шероховатых поверхностей

Выделим мысленно пограничный слой зоны контакта толщиной $h_0 > h_1 + h_2$, где h_1 и h_2 - минимальные размеры выступов-впадин вследствие шероховатости при обработке контактируемых поверхностей по линии стыка Λ^C (рис. 2). В данной идеализации не будем учитывать волнистостей при отклонении от идеальной плоскости.

Учитывая вышесказанное о размерах пятна контакта, полагаем, что

$$\frac{nS_1}{S_0} \approx 0,1 \quad (1)$$

где S_1 - площадь одиночного контактного пятна в месте стыка сопрягаемых деталей;

n - количество точек контакта;

S_0 - площадь поверхности сопрягаемых деталей в условно идеальном состоянии (без выступов-впадин из-за шероховатости).

Оценим влияние зазоров в контакте на упругие свойства контактного слоя. При идеальном стыке двух материалов с модулем упругости, равным E_M , удельная жесткость определяется следующим соотношением:

$$f_0 \sim k_M = \sqrt{\frac{E}{\rho}}, \quad (2)$$

где f_0 - собственная резонансная частота элемента конструкции;

k_M - удельная жесткость материала;

знак « \sim » означает прямую пропорциональность параметров f_0 и k_M ;

E, ρ - модуль упругости и плотность материала соответственно.

Зазоры в стыке сопрягаемых поверхностей играют роль включений с бесконечной проводимостью. Значит, для определения обобщенной проводимости структуры, показанной на рис. 2, правомерно использовать соотношения, полученные в работе [7], а именно,

$$1 - \Theta_{\epsilon}^{2/3} \leq \frac{\Lambda_{\infty}}{\Lambda_M} \leq \frac{1 - \Theta_{\epsilon}^{2/3}}{1 - \Theta_{\epsilon}^{2/3}(1 - \Theta_{\epsilon}^{1/3})} \quad (3)$$

где Λ_{∞} - обобщенная проводимость структуры;

Λ_M - обобщенная проводимость сопрягаемых материалов;

Θ_{ϵ} - относительная объемная концентрация пустот, включений.

Для рассматриваемой задачи относительная объемная концентрация включений (пустот) выражается следующим образом:

$$\Theta_{\epsilon} = \frac{(S_0 - nS_0) \cdot (h_1 + h_2)}{S_0 \cdot h_0} \quad (4)$$

Принимая, что

$$\frac{h_0}{(h_1 + h_2)} = 1,5$$

т. е. общая толщина h_0 стыка в 1,5 раза превышает суммарную высоту ($h_1 + h_2$) выступов-впадин шероховатых поверхностей сопрягаемых деталей, из (4) получаем:

$$\Theta_{\epsilon} = 0,6$$

Эту цифру следует немного «подправить» с сторону уменьшения, т.к. идеализация на рис. 2 отличается от приближенной к реальной картине рис. 1 – объем зазоров будет несколько меньшим, чем это следует из рис. 1.

Для простоты положим $\Theta_{\epsilon} \approx 0,45$, т.е. объем зазоров меньше площади $(h_1 + h_2)(S_0 - nS_1)$.

При $\Theta_{\epsilon} = 0,45$ из формулы (3) следует, что:

$$0,43 \leq \frac{\Lambda_{\infty}}{\Lambda_M} \leq 0,49 \quad (5)$$

Поскольку толщина стыка h_0 ничтожно мала по сравнению с реальными размерами сопрягаемых деталей, плотность деталей ρ , входящая в формулу (2) для определения коэффициента жесткости, практически не изменяется. Значит, собственная резонансная частота стыка шероховатых поверхностей по сравнению с резонансной частотой сплошного материала уменьшится примерно на 30% (в $\sqrt{\Lambda_{\infty}/\Lambda_M}$ раз, а $\sqrt{0,43} \approx \sqrt{0,49} = 0,7$).

К идентичным выводам пришли и авторы работ [1,3], исследовавших влияние упругого контактного слоя на собственные частоты составных конструкций и использовавших другой подход и другую модель упругого контактного слоя.

Таким образом, показано, что характеристики упругого контактного слоя (что важно при исследованиях поведения сложных составных конструкций) можно определить не только с помощью традиционных методов теории упругости [1,3], но и на основе положений ТОП.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Волошин А.В., Остроменский П.И. Испытание модели условного упругого контактного слоя при расчетах собственных частот составных конструкций; Новосибирск, изд-во НГТУ, 2008 -188стр.
2. Демкин Н.В. Контактное взаимодействие шероховатых поверхностей. – Москва, Наука, 1970-227стр.
3. Остроменский П.И., Волошин А.В., К расчету резонансных частот составных конструкций, Новосибирск, Межвузовский сборник научных трудов, 1989г., -112стр.
4. Трение, изнашивание и смазка. Справочник в 2-х книгах/Под редакцией И.В. Крагельского, В.Б. Аликина – Москва, Машиностроение, 1978-кн.1 400стр.
5. Штаерман И.Л. Контактная задача теории упругости, М-Л, Гостехиздат., 1949 -270стр.
6. Эдвабник В.Г. Некоторые фундаментальные задачи теории обобщенной проводимости, сборник «Сибирский научный Вестник», Новосибирск, 1979, вып.3.
7. Эдвабник В.Г., Механошин С.Г. «Об упругости сред с порами и жесткими включениями», Международный научно-исследовательский журнал, Екатеринбург, 2016

© В. Г. Эдвабник, С. Г. Механошин, М. М. Кузнецов, 2017

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ БОРТОВОГО ВАРИОМЕТРА С ПОМОЩЬЮ АЛГОРИТМА ФИЛЬТРАЦИИ ДАННЫХ С БАРОМЕТРИЧЕСКОГО ДАТЧИКА

Василий Владимирович Перевозчиков

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, аспирант кафедры автономных информационных и управляющих систем, тел. (383)346-26-23, e-mail: stormik_db@mail.ru

Анна Александровна Круглова

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, аспирант кафедры автономных информационных и управляющих систем, тел. (383)346-26-23, e-mail: nnkruglva@mail.ru

Максим Николаевич Бондарь

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, аспирант кафедры автономных информационных и управляющих систем, тел. (383)346-26-23, e-mail: max_bond@mail.ru

Современная электронная элементная база позволяет создавать малогабаритные, недорогие и эффективные для бортового применения решения. Однако в электронных сенсорах для получения точных значений измерения необходимо компенсировать влияние шумов. В работе рассмотрены алгоритмы фильтрации барометрических данных с датчика давления BMP180 и исследована их эффективность для повышения точности измерения высоты бортовым вариометром.

Ключевые слова: сглаживающий фильтр, алгоритм скользящего среднего, алгоритм экспоненциального сглаживания, фильтр Калмана.

IMPROVING ACCURACY OF ONBOARD VARIO BY FILTERING DATA FROM BAROMETRIC SENSOR

Vasily V. Perevozchikov

Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia, Novosibirsk, 20 K. Marksa Prospekt, Ph. D. student, Department Autonomous Information and Control Systems, tel. (383)346-26-23, e-mail: stormik_db@mail.ru

Anna A. Kruglova

Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia, Novosibirsk, 20 K. Marksa Prospekt, Ph. D. student, Department Autonomous Information and Control Systems, tel. (383)346-26-23, e-mail: nnkruglva@mail.ru

Maxim N. Bondar

Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia, Novosibirsk, 20 K. Marksa Prospekt, Ph. D. student, Department Autonomous Information and Control Systems, tel. (383)346-26-23, e-mail: max_bond@mail.ru

Modern electronics allows us to create simple, cheap and effective enough solutions for civil use. However, it is quite common situation in fiscal electronics when it is necessary to put consider-

able effort to fight with the noise for accurate values. In this paper we will consider filtering algorithms with data from the BMP180 barometric pressure sensor and we will compare them with respect to the application for the construction of the vario.

Key words: smoothing filter, moving average smoothing, exponential smoothing, Kalman filter.

Барометрический датчик BMP180 позволяет получение барометрических данных с точностью, соответствующей разрешению по высоте до 15 см. Однако при заданной точности полученные данные варьируются с большой амплитудой вокруг некоторого среднего значения (рис. 1), и не могут использоваться без предварительной обработки. Для применения полученных данных в целях измерения скорости подъема/спуска необходимо проводить предварительную фильтрацию.

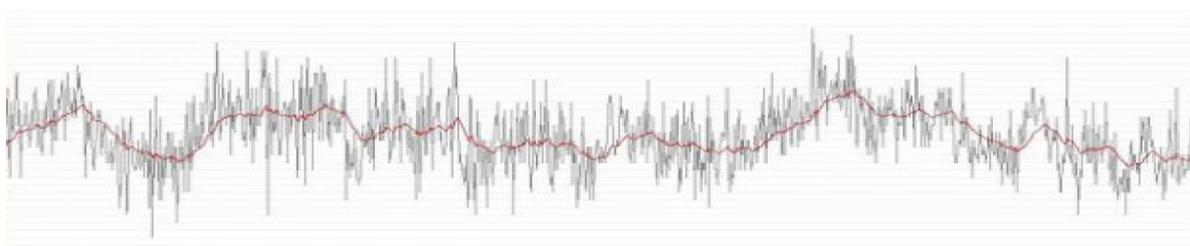


Рис. 1. Показания неподвижно лежащего на столе датчика

Наиболее простым способом фильтрации является взятие среднего арифметического n предыдущих полученных значений — алгоритм скользящего среднего.

$$\bar{X}(k) = \frac{1}{n} \sum_{t=k-n}^k X(t), \quad (1)$$

где $\bar{X}(k)$ - сглаженное значение, $X(t)$ - значение ряда в момент времени t , n - размер окна (период сглаживания), k - номер члена ряда, значение которого заменяется средним.

Ошибку от осреднения можно уменьшить, увеличивая количество отсчетов, но будет также расти затраченное время на получение данных. Учитывая то, что отфильтрованные данные затем еще нужно будет обработать, прибор может получиться инерционным. Несомненно, можно использовать более мощный микроконтроллер и датчик, с меньшим временем отклика, однако это не является приемлемым решением задачи.

Для оценки количества измерений разработана вспомогательная программа, через которую были получены значения с датчика и подсчитана погрешность в зависимости от количества измерений. На рис. 2 показан результат работы программы.

Осреднение помогает добиться более точных результатов до 16 -32 испытаний на замер, дальнейшее увеличение даже до 1000 измерений не дает прироста точности. При этом на 16 испытаний уходит 220 миллисекунд, а на 32 - соответственно 440 мс. Для решения задачи также был рассмотрен метод медианного сглаживания, являющийся одним из частных случаев алгоритма скользящего среднего:

$$\bar{X}(k) = \frac{1}{2n+1} \sum_{t=k-n}^{k+n} X(t), \quad (2)$$

где $\bar{X}(k)$ – сглаженное значение, $X(t)$ – значение ряда в момент времени t , $2n+1$ – интервал сглаживания, k – номер члена ряда, значение которого заменяется средним.

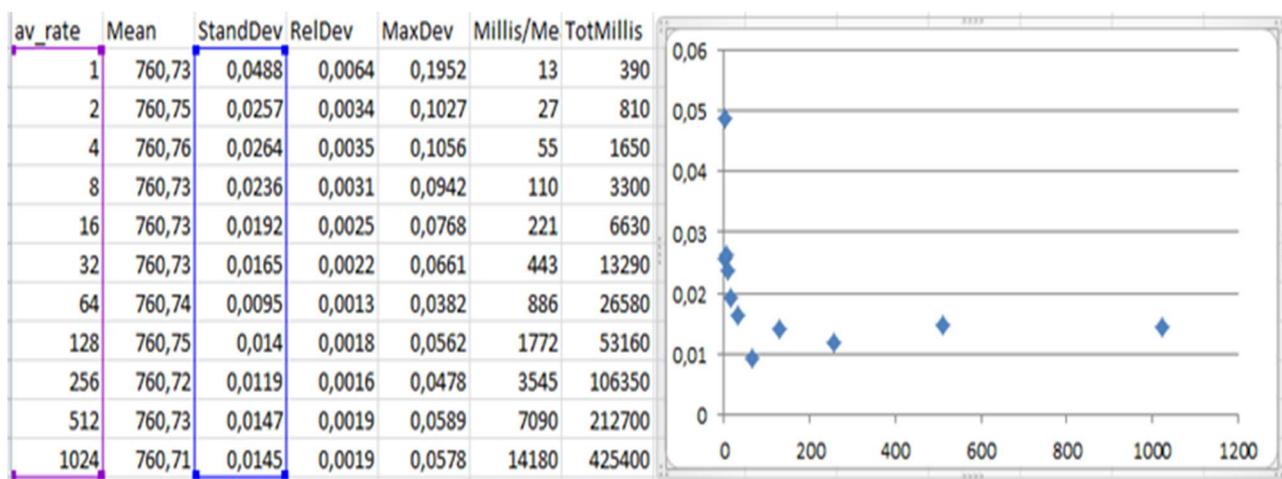


Рис. 2. Результат работы программы:

av_rate — количество измерений; Mean — полученное среднее значение в мм. рт. ст; StandDev - стандартное отклонение; RelDev — Относительная ошибка, % от измеряемой величины; MaxDev — Теоретическое значение максимальной разницы между двумя замерами, с вероятностью 95% (то есть, максимальный отскок от среднего +/- 0.5MaxDev); Millis — время, затраченное на расчет среднего значения, миллисекунды; TotMillis — время, прошедшее с начала измерения, миллисекунды

В основе данного метода лежит вычисление скользящей медианы. Для того чтобы найти значение скользящей медианы в точке t , необходимо вычислить медиану значений ряда в интервале времени $[t-v, t+v]$. Полученное значение называется $(2v+1)$ -точечной скользящей медианой. Однако в нашем случае значения в момент времени $t+v$ нам неизвестны, т.о. применение данного фильтра будет в точности повторять применение алгоритма скользящего среднего.

Основное достоинство рассмотренных алгоритмов сглаживания – устойчивость к наличию выбросов. Чем шире сглаживающий интервал, тем более плавным будет график результирующей функции. С другой стороны, увеличение

сглаживающего интервала приводит к временному сдвигу усредненной функции относительно исходной.

Для более скорого вычисления усредненного значения возникает необходимость использовать более «быстрые» методы фильтрации. Одним из таких методов является экспоненциальное сглаживание [1,2]. Данный метод является одним из наиболее распространенных методов выравнивания временного ряда. Экспоненциальное сглаживание можно представить как фильтр, на вход которого последовательно поступают члены исходного ряда, а на выходе формируются текущие значения экспоненциальной средней.

$$\bar{X}_t = a \cdot X_t + (1 - a) \cdot \bar{X}_{t-1}; \quad a \in (0,1), \quad (3)$$

где \bar{X}_t – сглаженный ряд (экспоненциальное среднее), X_t – значение временного ряда в момент t , a – коэффициент сглаживания.

Очевидно, результат сглаживания зависит от параметра a . Если $a = 1$, то предыдущие наблюдения полностью игнорируются. Если $a = 0$, то игнорируются текущие наблюдения. Значения $a \in (0,1)$ дают промежуточные результаты.

Главное достоинство прогнозной модели, основанной на экспоненциальном сглаживании, состоит в том, что она способна последовательно адаптироваться к новому уровню процесса без значительного реагирования на случайные отклонения.

При практическом использовании метода экспоненциального сглаживания возникает две проблемы: выбор коэффициента сглаживания a , который в значительной степени влияет на результаты и определение начального значения X_0 . С одной стороны, для сглаживания случайных отклонений величину a нужно уменьшать. С другой стороны, для увеличения веса новых измерений нужно увеличивать.

Более «мощным» способом фильтрации является алгоритм Калмана. Задача такой фильтрации состоит в том, что, зная неверные показания сенсора, необходимо найти хорошее приближение для истинного значения. Член, отвечающий за контроль системы извне, обозначим как u_t .

Суть алгоритма Калмана состоит в том, что для получения наилучшего приближения к истинной координате, мы должны выбрать среднее между показанием X_{t+1} неточного сенсора и $(\bar{X}_t + u_t)$ — предсказанием того, что мы ожидали от него увидеть [3,4]. Показанию сенсора мы дадим вес K , а на предсказанное значение останется вес $(1-K)$:

$$\bar{X}_{t+1} = K_{t+1} \cdot X_{t+1} + (1 - K_{t+1}) \cdot (\bar{X}_t + u_t) \quad K \in (0,1), \quad (4)$$

где \bar{X}_t – сглаженный ряд (экспоненциальное среднее), X_t – значение временного ряда в момент t , u_t – это известная величина, которая контролирует эволюцию системы, K – коэффициент Калмана, вычисляемый на основе минимизированной ошибки вычисления.

Коэффициент K называют коэффициентом Калмана. Необходимо выбрать коэффициент Калмана K таким, чтобы получившееся оптимальное значение координаты \bar{X}_{t+1} было бы наиболее близко к истинной координате. Однако когда нам не известно о физической модели того, что мы фильтруем, теория фильтра Калмана не применима. Знание того, что коэффициент Калмана K_t с увеличением номера шага t всегда стабилизируется к значению K_{stab} , что дает возможность подобрать коэффициенты вручную. Примем этот коэффициент константой, и будем подбирать только его:

$$\bar{X}_{t+1} = K_{stab} \cdot X_{t+1} + (1 - K_{stab}) \cdot \bar{X}_t; \quad K_{stab} \in (0,1), \quad (5)$$

где K_{stab} – константа, подобранная вручную.

На рис. 3 показаны отфильтрованные двумя разными способами данные с сенсора, при условии того, что мы ничего не знаем о физике явления. Первый способ — со всеми формулами из теории Калмана. А второй — упрощенный, без формул.

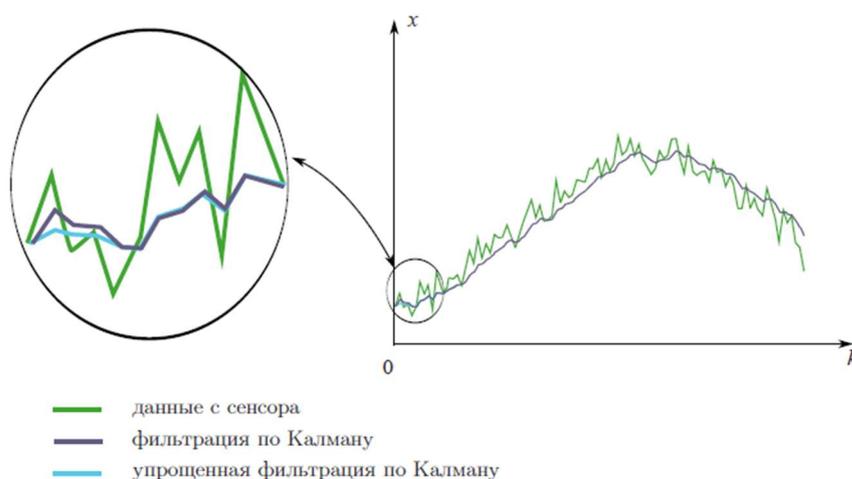


Рис. 3. Сравнение применения полного и упрощенного алгоритма Калмана

Полученная формула представляет собой нечто иное, как алгоритм экспоненциального сглаживания.

Таким образом, из рассмотренных алгоритмов для поставленной задачи лучше всего подходит алгоритм экспоненциального сглаживания — он работает быстрее метода плавающего среднего и медианного сглаживания, и при этом он менее избыточен, чем алгоритм Калмана, и требует меньше вычислительных ресурсов микроконтроллера для его реализации и позволяет осуществлять фильтрацию данных системы, поведение которой заранее неизвестно.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Грешилов А.А., Стакун В.А., Стакун А.А. Математические методы построения прогнозов. - М.: Радио и связь, 1997. – С. 95-110.
2. Грешилов А.А. Математические методы принятия решений: учебное пособие (с расчетными программами на оптическом диске) / А.А.Грешилов. - 2-е изд., испр. и доп. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. – С. 447-470.
3. Колос М.В., Колос И.В. Методы оптимальной линейной фильтрации / Под ред. В.А.Морозова. - М.: Изд-во МГУ, 2000. – С. 76-84.
4. Перов А.И. Статистическая теория радиотехнических систем. - М.: Радиотехника, 2003. – С. 355-362.
5. Kalman R.E. A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems // Transactions of the ASME – Journal of Basic Engineering, 82 (Series D). -1960.- P. 35-45.

© В. В. Первозчиков, А. А. Круглова, М. Н. Бондарь, 2017

АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ПРЕДЕЛОВ ВЫНОСЛИВОСТИ ТЕРМОГРАФИЧЕСКИМ СПОСОБОМ

Валерик Сергеевич Айрапетян

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, доктор технических наук, зав. кафедрой специальных устройств и технологий, тел. (383)361-07-31, e-mail: v.s.ayrapetyan@ssga.ru

Георгий Алексеевич Куриленко

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, доктор технических наук, профессор кафедры прочности летательных аппаратов, тел. (383)346-17-77, e-mail: teormech@ngs.ru

Ранее нами было показано, как поток энтропии, производимый в очаге накопления повреждаемости при циклических нагрузках, был разложен на функциональные части. В данной работе проанализировано, кинетика какого из этих потоков является наиболее адекватной при прогнозировании индивидуальных пределов выносливости. Оказалось, что это поток энтропии, идущий непосредственно на нагрев очага.

Ключевые слова: энтропия, коэффициент поглощения энергии, температура, амплитудное напряжение, предел выносливости.

ANALYSIS OF INDIVIDUAL ENDURANCE LIMITS DETERMINATION PRECISION BY THERMOGRAPHIC METHOD

Valeric S. Ayrapetian

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., D. Sc., Head of the Department of Special Devices and Technologies, tel. (383)361-07-31, e-mail: v.s.ayrapetyan@ssga.ru

George A. Kurilenko

Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia, Novosibirsk, 20 K. Marksa Prospekt, D. Sc., Professor of Department of strength of aircrafts, tel. (383)346-17-77, e-mail: teormech@ngs.ru

In this paper we made analysis which part of entropy, produced in domain of damage, is adequate for prediction of individual endurance limits. It was found as part of entropy spending only on warm of damage domain.

Key words: entropy, coefficient of energy absorption, temperature, amplitude of stress, endurance limit.

В рамках развиваемого нами термодинамического подхода при прогнозировании циклической прочности конструктивных элементов поток удельной энтропии, производимый в очаге накопления и развития повреждаемости за цикл колебаний $\Delta S^{(1u)}$ [1], был разложен на функциональные части в соответствии со схемой на рис. 1.

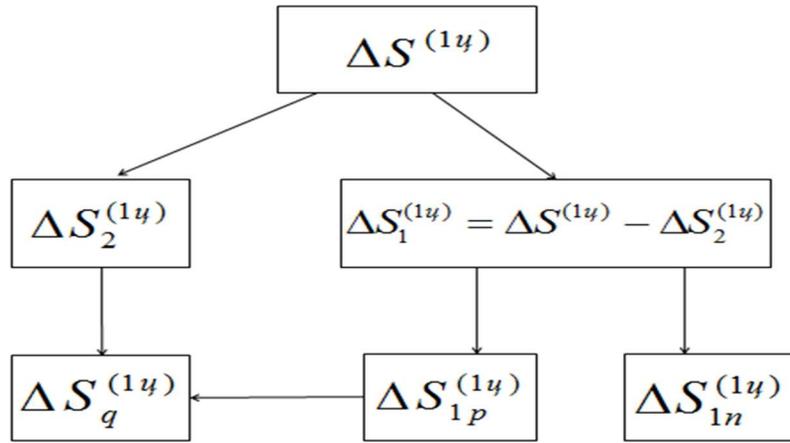


Рис. 1. Разложение потока энтропии на функциональные части

Здесь $\Delta S_2^{(1y)}$ – приращение за цикл колебаний той части производимой энтропии, которая идет непосредственно на нагрев очага; $\Delta S_{1p}^{(1y)}$ – часть энтропии, связанная с неопасными деформациями в очаге; $\Delta S_{1n}^{(1y)}$ – поток энтропии, идущий на накопление повреждаемости;

$\Delta S_q^{(1y)}$ – поток энтропии, рассеиваемый в окружающую среду в виде тепла.

Получены рабочие формулы (1) – (3) для расчета этих потоков энтропии [1]:

$$\left. \begin{array}{l} \text{При } \sigma_a \leq \sigma_R; \\ \Delta S_{1p}^{(1y)} = \frac{\pi \psi E \varepsilon_a^2}{4TK_\phi} \\ \Delta S_{1n}^{(1y)} = 0 \end{array} \right\} \quad (1)$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{При } \sigma_a \succ \sigma_R: \\ \Delta S_{1p}^{(1y)} = \frac{\pi \psi_R E \varepsilon_a^2}{4TK_\phi} - c_v \frac{\psi_R}{\psi} \ln \frac{T_2}{T_1} \\ \Delta S_{1n}^{(1y)} = \frac{\pi (\psi_R - \psi) E \varepsilon_a^2}{4TK_\phi} - c_v \frac{(\psi - \psi_R)}{\psi} \ln \frac{T_2}{T_1} \end{array} \right\} \quad (2)$$

$$\Delta S_2^{(1y)} = c_v \ln \frac{T_2}{T_1} \approx c_v \frac{T_2 - T_1}{T_1} \quad (3)$$

В этих формулах: c_v – удельная теплоемкость материала; $T = \frac{T_1 + T_2}{2}$, где T_1 и T_2 – температуры очага повреждаемости соответственно в начале и конце рассматриваемого цикла; ψ – коэффициент поглощения энергии; ψ_R – коэффициент поглощения энергии, соответствующий нагружению при амплитудных напряжениях σ_a , равных пределу выносливости σ_R ; K_ϕ –

коэффициент формы петли гистерезиса (при эллиптической петле $K_\phi = \frac{\pi}{2}$); ε_a – амплитудная деформация; E – модуль Юнга материала.

Возникает вопрос: каким потоком энтропии корректно воспользоваться при решении конкретной задачи прогнозирования циклической прочности? Этот вопрос мы исследовали в рамках прогнозирования важнейшей характеристики циклической прочности – индивидуального предела выносливости детали.

Но для расчета соответствующих потоков энтропии в формулах (1)–(3) надо знать кинетику температуры и коэффициент поглощения энергии ψ в очаге повреждаемости. Остановимся на этом ключевом вопросе. Очевидно, что ψ является амплитудно-зависимой возрастающей функцией для данного материала, определяемой экспериментально:

$$\alpha = \frac{\alpha_1(3 + \beta_1)}{12 \int_0^{\frac{\pi}{2}} \left\{ \frac{1}{2} [ch(1,875\gamma) + \cos(1,875\gamma)] - 0,367 [sh(1,875\gamma) + \sin(1,875\gamma)] \right\}^{(2+\beta_1)} d\gamma} \psi = \psi(\varepsilon_a) \quad (4)$$

Ее удобно аппроксимировать степенной функцией

$$\psi = a\varepsilon_a^\beta \quad (5)$$

где α и β – параметры внутреннего трения материала, которые надо определить.

Для этой цели были проведены эксперименты с изгибными колебаниями консольных образцов прямоугольного сечения, изготовленных из стали 45, в состоянии поставки (рис.2), поскольку в этом случае возникает неоднородное поле напряжений, что характерно для большинства конструктивных элементов [2, 3].

Осуществлялось поэтапное циклическое нагружение образца по симметричному циклу ($R=-1$) со ступенчато-возрастающей от этапа к этапу амплитудой колебаний a , начиная с максимальных напряжений в очаге повреждаемости σ_{amax} , заведомо меньших предполагаемого предела выносливости, и заканчивая напряжениями, несколько превышающими его. Продолжительность нагружения на каждом этапе была относительно небольшой и составляла не более 3% от обычно принятой базы классических испытаний по методу Велера [4] при $\sigma_{amax} \leq \sigma_{-1}$ или от долговечности образцов при $\sigma_{amax} > \sigma_{-1}$. При этом практически сохранялся циклический ресурс образца.

На каждом этапе нагружения с помощью шведского тепловизора *Agar-750*, имеющего чувствительность $0,01^\circ$ при выключенном механизме сканирования, велось наблюдение за температурой очага повреждаемости, который находился в зоне максимальных напряжений (рис. 2). Была установлена важная закономерность: при $\sigma_{amax} < \sigma_{-1}$ температура очага через некоторое время после начала деформирования стабилизировалась; при $\sigma_{amax} > \sigma_{-1}$ стабилизации температуры не происходило. Заметим, что величина предела выносливости σ_{-1} первоначально определялась неразрушающим образом по методу внутреннего трения, а затем уточнялась в процессе эксперимента по термографическому методу.

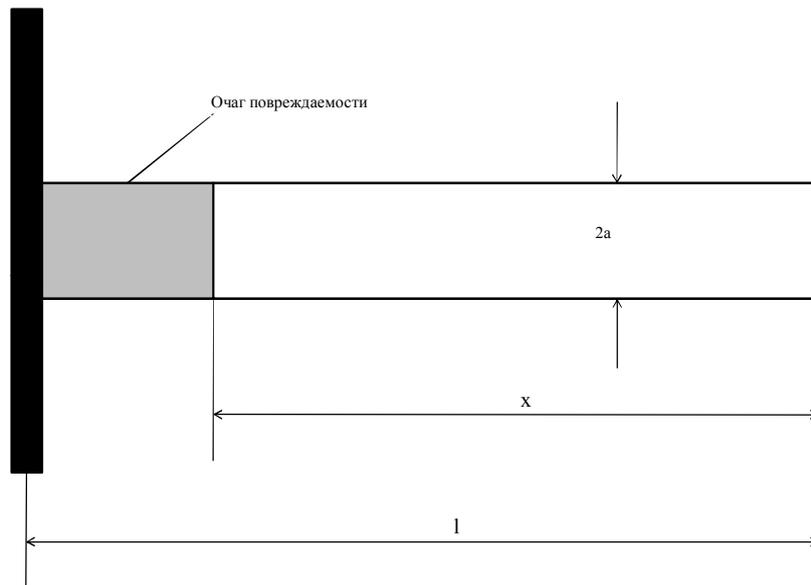


Рис. 2. Схема эксперимента с изгибными колебаниями образца

После каждого этапа нагружения определялся коэффициент поглощения энергии $\psi_{оч}$ в очаге повреждаемости. Предварительно образец ставился на специальный стенд, на котором определялся коэффициент поглощения энергии всего образца $\psi_{обр}$. Для этого на стенде осуществлялся режим свободных затухающих колебаний образца от уровня напряжений, соответствующих данному этапу нагружения. $\psi_{обр}$ рассчитывался по известной методике [3] по осциллограмме свободных затухающих колебаний. При записи этой осциллограммы практически исключалась утечка энергии в фундамент, что обеспечивалось конструкцией стенда.

По полученной экспериментальной зависимости для $\psi_{обр}$, которую также целесообразно представить в виде степенной функции

$$\psi_{обр} = \alpha_1 \varepsilon_\alpha^{\beta_1} \quad (6)$$

методом наименьших квадратов определялись параметры внутреннего трения образца α_1 и β_1 . Затем по полученным нами формулам (7) для изгибных колебаний консольного образца [3] с учетом его поля напряжений был проведен пересчет экспериментально определенных параметров внутреннего трения образца α_1 и β_1 на параметры внутреннего трения материала α и β :

$$\alpha = \frac{\alpha_1(3 + \beta_1)}{12 \int_0^{\frac{x}{l}} \left\{ \frac{1}{2} [ch(1,875\gamma) + \cos(1,875\gamma)] - 0,367 [sh(1,875\gamma) + \sin(1,875\gamma)] \right\}^{(2+\beta_1)} d\gamma} \quad (7)$$

В формулах (7) $\gamma = \frac{x}{l}$ – см. рис. 2.

После этого по формулам (1) – (3) на каждом этапе нагружения рассчитывались соответствующие потоки удельной энтропии, производимые в очаге повреждаемости в зоне максимальных амплитудных напряжений σ_{amax} . Заметим также, что температуру очага повреждаемости в каждый конкретный момент времени можно считать равномерно распределенной по толщине очага вследствие того, что образец в тепловом отношении является “тонким” (рассчитанный критерий Био: $Bi \approx 10^{-3} < 0,1$).

В таблице приведены результаты эксперимента по одному из образцов.

Таблица

Таблица потоков удельной энтропии за цикл колебаний

a, мм	1,55	1,8	1,88	2,1	2,22	2,3
$\psi_{обр}$	0,013	0,034	0,042	0,062	0,063	0,064
ψ_m	0,04	0,1	0,131	0,2	0,207	0,21
σ_a , МПа	190	220	230	257	270	280
ε_a	0,00095	0,0011	0,00115	0,0013	0,00135	0,0014
T_1 , К ($t_1 = 6$ мин)	295,48	296,37	296,97	298,17	299,3	300,9
T_2 , К ($t_2 = 8$ мин)	295,5	296,4	297	298,5	300	301,8
$(T_2 - T_1)_{1ц}$	0,0000013	0,000002	0,000002	0,000021	0,000045	0,00006
$\Delta S_{1p}^{(1ц)}$, Дж/м ³ К	12,18	40,73	57,17	99,6	106,4	115
$\Delta S_{1п}^{(1ц)}$, Дж/м ³ К	0	0	0	13,8	18,82	22
$\Delta S_1^{(1ц)}$, Дж/м ³ К	12,18	40,73	57,17	113,4	125,22	137
$\Delta S_2^{(1ц)}$, Дж/м ³ К	0,02	0,03	0,03	0,4	0,78	1
$\Delta S^{(1ц)}$, Дж/м ³ К	12,2	40,8	57,2	113,8	126	138

Затем были построены графические зависимости $\Delta S_{1p}^{(1ц)}$, $\Delta S_{1п}^{(1ц)}$, $\Delta S_1^{(1ц)}$, $\Delta S_2^{(1ц)}$ от амплитудных циклических напряжений σ_a – рис. 3.

Проанализируем эти графики на их пригодность для прогнозирования предела выносливости образца. Как видно, для этой цели подходит только график $\Delta S_2^{(1ц)} = f(\sigma_a)$, который имеет резкий излом в районе некоторого “порогового” напряжения. Рассчитанный параллельно предел выносливости по методу внутреннего трения [3] выявил его корреляцию с этим пороговым напряжением, что позволило принять это напряжение за индивидуальный предел выносливости испытанного образца (в нашем эксперименте $\sigma_{-1} = 232$ МПа).

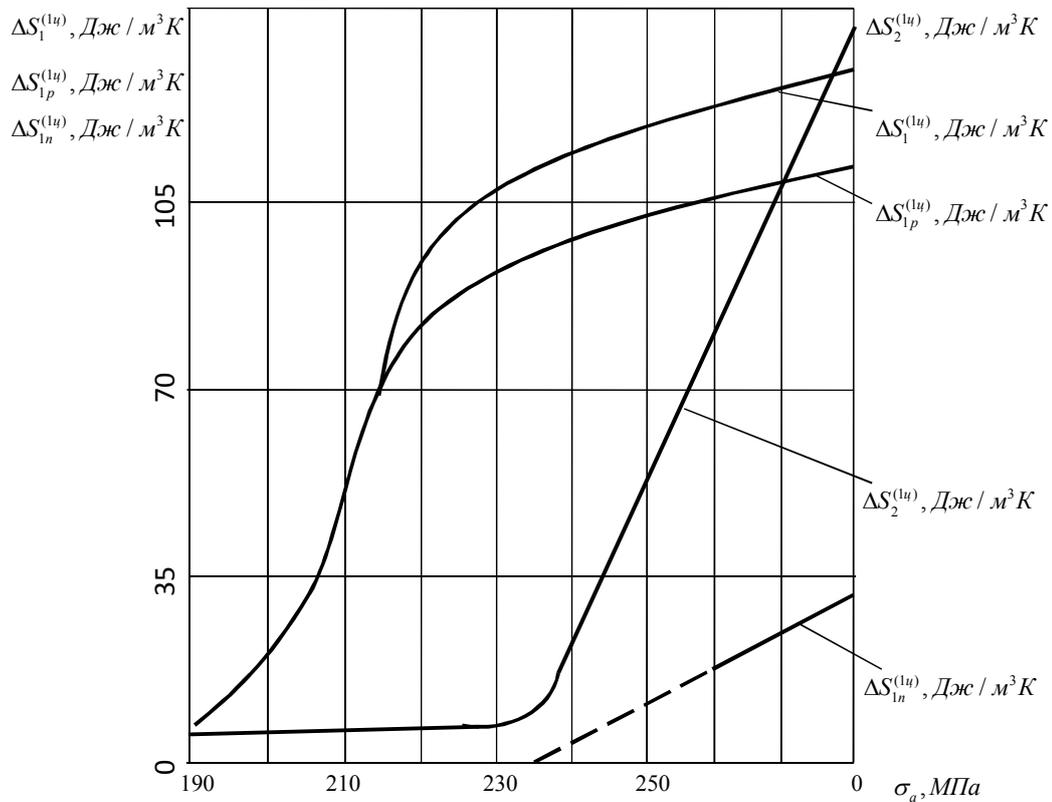


Рис. 3. Зависимости различных потоков энтропии от амплитудного напряжения

Получился довольно интересный результат: информацию об индивидуальном пределе выносливости детали можно получить по кинетике той части производимой энтропии в очаге повреждаемости, которая характеризует сам процесс развития повреждаемости лишь косвенным образом (по рассеянной в очаге тепловой энергии).

Почему же эту информацию оказалось затруднительным получить по кинетике других потоков энтропии? Это можно объяснить тем обстоятельством, что значительная часть энергии, рассеянной в материале, не переходит в тепло, а накапливается в нем в виде скрытой энергии деформации. И эта энергия изменяется незначительно при деформировании детали до и после предела выносливости. Именно поэтому остальные графики не имеют характерных точек. Выделение же тепла резко возрастает при переходе через физический предел выносливости, поскольку при этом существенно усиливается процесс микропластического деформирования, а эту сторону процесса и отражает кинетика $\Delta S_2^{(1u)}(\sigma_a)$.

Кроме того, расчет $\Delta S_2^{(1u)}$ производится на основе прямых наблюдений за температурным полем детали без вычисления каких-либо дополнительных параметров.

Таким образом, проведенный анализ позволил нам определить наиболее адекватный поток энтропии, произведенной в очаге накопления и развития повреждаемости, и по его кинетике существенно повысить точность

прогнозирования индивидуальных пределов выносливости испытанных образцов[5].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Куриленко Г. А. Исследование повреждаемости металлов термодинамическим способом // Известия Томского политехнического университета. – 2015.– №3. – С. 105–110.

2. Айпапетян В. С., Куриленко Г. А. Прогнозирование циклического ресурса бездефектных (без начальных трещин) деталей // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2016. XII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Специальные вопросы фотоники: Наука. Оборона. Безопасность» : сб. материалов (Новосибирск, 18–22 апреля 2016 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2016. – С. 49–55.

3. Шпигельбурд И. Я., Куриленко Г. А., Атапин В. Г. Внутреннее трение металлов и неразрушающий контроль прочности элементов конструкций. – Новосибирск, 1988. –178 с.– Деп. В ВНИИ ТИ 20.04.89, №2604–В89.

4. Писаренко Г. С., Яковлев А. П., Матвеев В. В. Вибропоглощающие свойства конструкционных материалов. – Киев: Наукова думка, 1971. – 359 с.

5. Kurilenko G. A. Advanced Infrared Examining of the Metals Fatigue // Proc. of the Work shop on Advanced Infrared Technology and Applications. – Firenze. – 1995. – P. 253 – 262.

© В. С. Айрапетян, Г. А. Куриленко, 2017

О ПОВЫШЕНИИ ЗНАЧИМОСТИ СИСТЕМНОЙ МЕТОДОЛОГИИ В РАЗВИТИИ ОБРАЗОВАНИЯ, НАУКИ, БОЕВОГО СТРЕЛКОВОГО ОРУЖИЯ И УКРЕПЛЕНИИ БЕЗОПАСНОСТИ СТРАНЫ

Сергей Анатольевич Писарев

Ижевский государственный технический университет им. М. Т. Калашникова, 426069, Россия, г. Ижевск, ул. Студенческая, 7, доктор технических наук, кандидат экономических наук, профессор, зав. кафедрой «Стрелковое оружие», тел. (3412)59-24-34, e-mail: iso@istu.ru

Юрий Борисович Брызгалов

Ижевский государственный технический университет им. М. Т. Калашникова, 426069, Россия, г. Ижевск, ул. Студенческая, 7, доктор технических наук, профессор, декан, тел. (3412)77-60-55 доп. 2317, e-mail: m-dekan@istu.ru

Денис Викторович Чирков

Ижевский государственный технический университет им. М. Т. Калашникова, 426069, Россия, г. Ижевск, ул. Студенческая, 7, кандидат технических наук, доцент кафедры «Стрелковое оружие», тел. (3412)59-24-34, e-mail: iso@istu.ru

Юлия Сергеевна Фархетдинова

Ижевский государственный технический университет им. М. Т. Калашникова, 426069, Россия, г. Ижевск, ул. Студенческая, 7, аспирант кафедры «Стрелковое оружие», тел. (982)124-42-11, тел. (3412) 59-24-34, e-mail: iso@istu.ru

Показана роль системной методологии в подготовке оружейников, развитии науки, создании современного стрелкового оружия.

Ключевые слова: система, методология, образование, наука, стрелковое оружие.

ABOUT THE INCREASING OF THE IMPORTANS OF THE SYSTEMS METHODOLOGY IN THE DEVELOPMENT OF EDUCATION, SCIENCE, MILITARY SMALL ARMS AND THE STRENGTHENING OF THE SECURITY OF THE COUNTRY

Sergey A. Pisarev

Kalashnikov Izhevsk State University, 42069, Russia, Izhevsk, 7 Studencheskaya St., D. Sc., Ph. D., Professor, Head of the «Small arms» Department of Kalashnikov Izhevsk State University, tel. (3412)59-24-34, e-mail: iso@istu.ru

Yuriy B. Brizgalov

Kalashnikov Izhevsk State University, 42069, Russia, Izhevsk, 7 Studencheskaya St., D. Sc., Professor, Head of the «Mechanical engineering» Faculty of Kalashnikov Izhevsk State University, tel. (3412)59-24-34, e-mail: m-dekan@istu.ru

Denis V. Chirckov

Kalashnikov Izhevsk State University, 42069, Russia, Izhevsk, 7 Studencheskaya St., Ph. D., Head of the educational laboratory at the «Small arms» Department of Kalashnikov Izhevsk State University, tel. (3412)59-24-34, e-mail: iso@istu.ru

Yulia S. Farkhetdinova

Kalashnikov Izhevsk State University, 42069, Russia, Izhevsk, 7 Studencheskaya St., graduate student at the «Small arms» Department of Kalashnikov Izhevsk State University, tel. (3412)59-24–34, e-mail: iso@istu.ru

The article shows the role of systems methodology in the education of small arms designers, the development of science and the development of modern small arms.

Key words: system, methodology, education, science, small arms.

Название конференции «Наука. Оборона. Безопасность», на наш взгляд, должно было бы начинаться с базового функционального блока «Образование», так как без него наука малоэффективна, а потому и обеспечение полноценной обороны и безопасности страны становится проблематичным. История нашей страны убедительно доказала, что когда был сформирован культ знаний и укреплено единство триады «образование, наука, промышленность», то успехи не заставили себя долго ждать. Развитие атомной энергетики, ракетно–космической отрасли, многих систем вооружений этот вывод подтверждают весьма убедительно. Также показателен и следующий пример. После запуска в СССР в 1957 году первого искусственного спутника земли США признали, что образование в нашей стране было лучше американского.

Реформа образования ничего хорошего не принесла. Стабильно функционирующая систем «школа – вуз» оказалась разорванной в части фундаментального изучения школьниками точных наук, в первую очередь, математики и физики. Все это снижает конкурентоспособность выпускников вузов, а соответственно отрицательно сказывается на конкурентоспособности систем вооружений, в частности, стрелкового оружия.

Поскольку к сложным системам относится не только само автоматическое оружие, но и система создания боевого стрелкового оружия РФ (стрелковая отрасль), а также системы управления ею на уровне органов государственной власти, промышленных предприятий, научно–исследовательских институтов, учебных заведений, бизнес–структур, то применение методологии системного подхода, его принципов, аспектов, алгоритмов является необходимым условием для оценки перспектив развития отечественного стрелкового оружия и доказательным обоснованием новых конструктивных решений, связанных с созданием оружия нового поколения. Это условие позволяет снизить вероятность ошибок при достижении поставленных целей образовательного, научного, производственного, управленческого характера.

Отметим, что учебное заведение, например, ИжГТУ имени М.Т.Калашникова, кафедра «Стрелковое оружие», обеспечивая выпуск специалистов–оружейников, проводя научные исследования и разрабатывая конструкции оружия, защищенные патентами, опосредованно участвуют в процессе создания оружия промышленными предприятиями. Сегодня на кафедре «Стрелковое оружие» для

студентов читается курс «Основы системной методологии» с акцентом на оружейную специальность, чтобы они делали меньше ошибок в своей практической работе.

Отметим, что системность есть свойство материи, форма её существования, а потому системность мышления так или иначе должна быть присуща всем участникам процесса создания оружия. При этом сегодня важно понимать, что появление проблемы сигнализирует об отсутствии системности в решении задач, а отсутствие проблем подчеркивает, что та или иная работа проводится системно. Современная сложная военная техника, «умное» оружие предъявляют повышенные требования к профессиональной подготовке разработчиков этих систем и военнослужащих, которые их эксплуатируют.

Обоснование тенденций развития автоматического индивидуального оружия, в первую очередь, автоматов, новых конструктивных решений, облика «автомата будущего» для перспективной боевой экипировки представляет актуальную, интересную и достаточно сложную системную задачу, связанную с развитием различных подразделений Вооруженных сил РФ, системы стрелкового оружия, стрелковой отрасли, оборонной промышленности и экономики в целом. Необходимо также учитывать влияние разного рода внешних факторов, в частности, тенденции развития вооруженных сил и боевого стрелкового оружия наиболее вероятных противников.

При этом необходимо учитывать, что прогнозирование и определение потребностей в новых видах оружия, их идентификация, обоснование способов удовлетворения этих потребностей и средств достижения целей требует применения проектировочных компетенций, основанных на знании основ системной методологии. В настоящее время это является аксиомой, так как не только автоматическое оружие представляет собой сложную систему, но и процесс его проектирования отличается ярко выраженной системностью, то есть он также является системой.

Способов удовлетворения оружейных потребностей может быть достаточно много, так как оружие поступает в армию, подразделения ФСБ, МВД, которые формируют «свои» потребности в том или ином виде автоматического индивидуального оружия. Они могут отличаться друг от друга или совпадать по ряду позиций. Но сегодня уже ясно, что один образец автомата и один патрон вряд ли могут удовлетворить все возможные потребности. Отметим, что разработка ТЗ серьезная проблема, а потому субъективизма на этом этапе принятия решений не должно быть. Между тем на практике это условие соблюдается далеко не всегда.

Системный подход позволяет уменьшить вероятность ошибок на одном из важнейших этапов развития стрелковой отрасли, на этапе конкретизации проблем, формулировке целей и задач, в частности, связанных с созданием автомата нового поколения для перспективной боевой экипировки. Системный подход позволяет объединить различные факты, увидеть перспективу развития того или иного процесса, его связи с другими явлениями, учесть их взаимную обусловленность.

Поэтому не только образование, подготовка оружейников связаны с необходимостью обеспечения требований обороны и безопасности страны, но и наука. Поскольку без научного и инновационного потенциала, соответствующего вызовам времени, кафедра «Стрелковое оружие» ИжГТУ имени М.Т. Калашникова не может обеспечить высокого качества учебного процесса, конкурентоспособности своих выпускников, то на кафедре в течение последних четырех лет активно ведутся инициативные научные работы, связанные с обоснованием тенденций развития стрелкового оружия (в первую очередь, автоматического), углубленным изучением проблем устойчивости автоматического оружия, взаимодействием стрелка и оружия, определением предельных функционально-конструктивных возможностей всех известных схем оружия, обоснованием актуальности создания модульного автомата со сменными стволами нового поколения, а на его основе системы стрелкового оружия под различные типы патронов (модульного автомата, модульной винтовки, модульного ручного пулемета) созданием патрона с новой пулей, конструкция которой, позволяет изменять траекторию её движения в заданном направлении и кардинально повышать кучность автоматической стрельбы короткими очередями [1, 2, 3].

Кроме того кафедра создает новую методику проектирования автоматического оружия, которая позволит разработчикам оружия оценивать кучность стрельбы создаваемого оружия сидя за своим рабочим стволом без проведения полигонных стрельб. Методика базируется на результатах уникальных стрельб из штатных и опытных образцов автоматического оружия всех известных кинематических схем из положения «стоя с руки», которые были проведены в нашей стране впервые. Две скоростные видеокамеры позволили определить перемещение оружия в пространстве, связав их с параметрами кучности стрельбы. На специальном стенде замерялись скорости подвижных частей и величина свободного отката всего оружия, которые позволяют в итоге определить силу отдачи и её момент.

В современных условиях эта методика проектирования актуальна как никогда, так как потребности различных подразделений вооруженных сил в тех или иных образцах оружия сильно отличаются друг от друга и конструктору надо принимать правильное решение по перспективам своего проекта как можно раньше, а не ждать результатов испытаний. В современных условиях главное конкурентное преимущество - это время.

Теоретическая модель позволит в зависимости от параметров цели определять облик оружейного комплекса с требуемыми тактико-техническими характеристиками. То есть модель предназначена последовательно реализовать следующую системную взаимосвязь «модели военных действий - параметры цели - выбор параметров патрона, ствола - схема автоматики - устойчивость оружия - новые конструкции пуль и патронов - оценка влияния промежуточной баллистики на траекторию полета пули - движение пули по траектории в заданном направлении - эффективность стрельбы и поражения цели - обоснование облика перспективного оружейного комплекса».

Сегодня на кафедре «Стрелковое оружие» ИжГТУ имени М.Т. Калашникова идет решение задачи по определению в аналитическом виде импульса реакции стрелка при стрельбе из автоматов с различными схемами автоматики. Поскольку оружие вращается относительно центра масс человека в горизонтальной и вертикальной плоскостях, то должны решаться два дифференциальных уравнения вращательного движения, что позволит определить выражение для реакции стрелка, действующей на оружие с конкретной схемой автоматики при стрельбе.

Отсутствие инновационных образцов автоматического оружия нового поколения, которые имели бы стратегические перспективы развития, подтверждает вывод о необходимости формирования новых массивов научных знаний в интересах развития оружейной науки, подготовки оружейников, системы автоматического оружия, укрепления обороны и безопасности страны.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Писарев С. А., Фархетдинов Р. Р. Системный подход к структурным преобразованиям в стрелковой отрасли // Вестник ИжГТУ им. М. Т. Калашникова. – 2014. – № 3, С. 150–153.
2. Якимович Б. А., Писарев С. А., Чирков Д. В., Фархетдинов Р. Р. Обоснование актуальности модульной схемы автомата // Вестник ИжГТУ им. М.Т.Калашникова. – 2015. – № 3., С. 24–26.
3. Якимович Б. А., Писарев С. А., Чирков Д. В., Фархетдинов Р. Р. Обоснование нового способа повышения кучности стрельбы из автоматического оружия // Вестник ИжГТУ им. М. Т. Калашникова. – 2015. – № 4, С. 9–12.

© С. А. Писарев, Ю. Б. Брызгалов, Д. В. Чирков, Ю. С. Фархетдинова, 2017

АЛГОРИТМ ЛАЗЕРНОЙ ЛОКАЦИИ И РАСПОЗНАВАНИЯ ОБЪЕКТОВ ПО ТРЕХМЕРНОМУ ИЗОБРАЖЕНИЮ

Владимир Николаевич Легкий

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, доктор технических наук, доцент, зав. кафедрой автономных информационных и управляющих систем, тел. (383)346-26-23, e-mail: sniios@mail.ru

Валерий Григорьевич Эдвабник

АО «Научно-исследовательский институт электронных приборов», 630005, Россия, г. Новосибирск, ул. Писарева, 53, заместитель генерального директора по развитию, чл.-корр. РАН, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, тел. (383)216-05-63, e-mail: niiep@oaoniep.ru; Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, профессор кафедры АИУС, тел. (383)346-26-23

Владимир Александрович Шумейко

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Маркса, 20, старший преподаватель кафедры автономных информационных и управляющих систем, тел. (383)346-26-23, e-mail: shumeyko@corp.nstu.ru

Степан Александрович Буднов

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Маркса, 20, аспирант кафедры автономных информационных и управляющих систем, тел. (383)346-26-23, e-mail: sniios@mail.ru

Предложен алгоритм локационных измерений и распознавания объектов для трехмерных импульсных лазерных дальномеров с наносекундными зондирующими импульсами. Показаны перспективы построения систем распознавания и избирательной дальнометрии наземных (надводных) объектов по геометрическим признакам в условиях сложного рельефа.

Ключевые слова: трехмерные лазерные локаторы, наносекундные импульсы, избирательная дальнометрия, распознавание объектов по геометрическим признакам.

ALGORITHM OF LASER LOCATION AND OBJECT RECOGNITION FOR 3D IMAGE

Vladimir N. Legkiy

Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia, Novosibirsk, 20 K. Marksa Prospekt, D. Sc., associate Professor, Head of the Department Autonomous Information and Control Systems, tel. (383)346-26-23, e-mail: sniios@mail.ru

Valery G. Edvabnik

Joint-Stock Company «Scientific Research Institute on Electronic Devices», 630005, Russia, Novosibirsk, 53 Pisareva St., Deputy General Director for development, Corresponding member of Russian Academy of Missile and Ammunition Sciences, Ph. D., Senior Researcher, tel. (383)216-05-63, e-mail: niiep@oaoniep.ru; Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia, Novosibirsk, 20 K. Marksa Prospekt, Professor at the Department of AICS, tel. (383)346-26-23

Vladimir A. Shumeyko

Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia, Novosibirsk, 20 K. Marksa Prospekt, Senior Lecturer of the Department Autonomous Information and Control Systems, tel. (383)346-26-23, e-mail: sniios@mail.ru

Stepan A. Budnov

Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia, Novosibirsk, 20 K. Marksa Prospekt, graduate student, tel. (903)999-46-69, e-mail: stepan_budnov@mail.ru

Algorithm of distance measurements and target recognition for three-dimensional pulsed laser rangefinders with nanosecond probe pulses is proposed. Prospects of creation of recognition systems and selective ranging to ground (surface) targets in complex terrain using geometric features is shown.

Key words: three-dimensional laser radar, nanosecond pulses, selective ranging, object recognition by geometrical features.

В данной работе рассматриваются импульсные лазерные системы для обнаружения, определения координат и распознавания объектов путем измерения профиля рельефа и распознавания объектов путем многократного измерения расстояния в заданном угловом секторе [1,2,3]. Техническая реализация локационной системы (ЛС) предполагает либо применение узконаправленного излучателя и фотоприемника в сочетании с двухкоординатным сканером (бортовым однокоординатным сканером на подвижном носителе), либо зондирование лазерным импульсом всего заданного углового сектора и применение многоэлементного фотоприемного устройства для получения трехмерного кадра за минимальное время. Результатом работы является матрица расстояний до точек на лоцируемой поверхности объекта и реального рельефа. Обработка трехкоординатной матрицы измеренных расстояний и анализ формы поверхности позволяет селективировать заданный объект на фоне сложного рельефа и местных предметов (растительность, строения, контрастная техника, попадающие в диаграмму ЛС) [4].

Интервал измерения расстояния составляет от десятков метров (полупроводниковый излучатель) до сотен метров (твердотельный лазер) при погрешности доли - единицы метров в угловом секторе от 0,02 мрад до 0,15 мрад. Формат дальномерной матрицы фотоприемного устройства определяется назначением ЛС. Примеры трехмерного кадра, полученные с помощью установленной на мачте сканирующей ЛС [1], показаны на рис. 1.

Используя результаты натурных измерений или тестовый рельеф заданного объекта, разрабатывается специализированное программное обеспечение (ПО), генерирующее синтезированные матрицы расстояний произвольного размера для отработки алгоритма распознавания. В данной работе используются геометрические признаки объектов (могут быть прямолинейные кромки, соотношение площади высотных сечений, отношение сторон прямоугольника и др.). Задачей ПО является генерация матрицы высот поверхности объекта, при наличии элементов рельефа случайной геометрии.

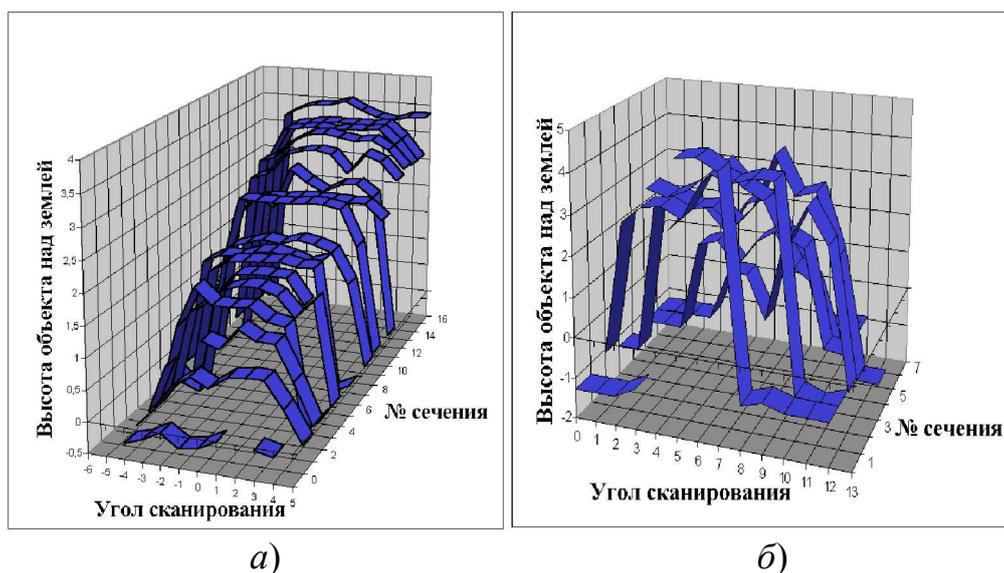


Рис. 1. Трехмерный кадр ЛС со сглаживанием измеренных перепадов высоты для объекта техники (а) и для кроны лиственного дерева (б)

Язык РНР выбран для создания программы по ряду причин:

1. Кроссплатформенность – работа с любой операционной системой.
2. Простота – ускоряется разработка приложения и его адаптация программы сторонними разработчиками.
3. Открытый исходный код – особенность языка РНР: созданные приложения на его основе не являются скомпилированной версией исполняемого файла, это интерпретатор команд.

При написании ПО использована концепция объектно-ориентированного программирования (ООП), позволяющая упростить общее понимание работы приложения, и облегчить разработку дополнительных модулей к нему.

На основе измерений (рис. 1, а) составляется матрица расстояний формата 16x16, либо другого формата. Влияют лишь ограничения самого языка РНР и технические характеристики процессорной платформы (бортового вычислителя). В данном случае рассматривается процесс обработки данных в верхнем левом углу матрицы (рис. 2). Все характеристики характерных (признаковых) участков - их число, размеры и форма, определяются в настройках программы. Формат вывода выбирается с учетом его дальнейшего импортирования в программы типа MS Excel и другие (достаточно выбрать в качестве объекта импорта файл данных с разделителями в виде «;»).

На рис. 2 видны отдельные плоские участки, а так же перепады высот в точках «измерения». Таким образом, создан вариант исходных данных на основе результатов измерений.

Для скоростного выполнения вычислений при минимальных вычислительных мощностях предлагается из базовой матрицы высот создавать матрицу двоичных значений согласно выражению:

$$X \geq p(\tau_i), X=1;$$

$$X < p(\tau_i), X=0,$$

где $p(\tau_i)$ – пороговое значение амплитуды при соответствии момента принятого сигнала определенному интервалу времени τ_i в каждом элементе, определяемое в конкретном такте измерения.

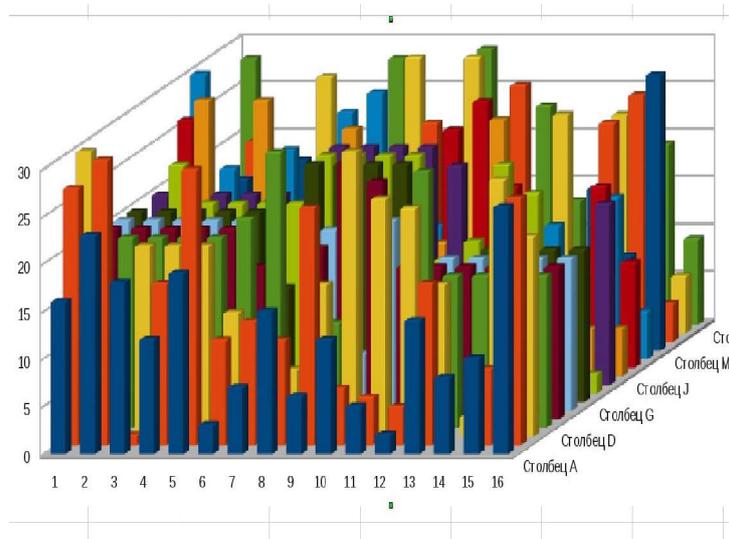


Рис. 2. Рельеф, построенный по матрице высот

Процесс обработки полученной матрицы заключается в нахождении одинаковых по высоте областей для какой-либо плоской поверхности в сканируемом участке пространства. Классические алгоритмы с построчным перебором двоичной матрицы с установкой маркеров на плоских участках, требуют много времени. Усовершенствование алгоритма построчного перебора двоичной матрицы дает выигрыш по времени обработки при некотором снижении точности определения границ равно-высотных областей.

Основные затраты времени приходятся на перебор нулевых строк (содержащих только нули, назовем их «пустыми»), а также на выделение отдельно расположенных единиц, обусловленных случайными ошибками измерения. Интерес представляют только области единиц, соответствующие плоскости в секторе сканирования. Для сокращения затрат времени следует применить грубый перебор матрицы, при котором, обработка матрицы разбивается на несколько этапов:

1. Грубый перебор матрицы — для предварительного обнаружения равно-высотных (единичных) областей;
2. Аппроксимация областей, например, по условию заданной формы и максимальной площади;
3. Распознавание объекта и принятие решения.

Сначала используется параллельный перебор нескольких строк. Чем больше количество одновременно перебираемых строк, тем выше точность обнаружения единичных областей, при больших вычислительных ресурсах.

При обнаружении соседних единичных значений $(x-1, x+1)$, в граничных точках непрерывных плоских областей устанавливаются маркеры, а именно: $\{x-1:=0, x:=1, x+1:=1\}$ и $\{x-1:=1, x:=1, x+1:=0\}$. На этом этапе определяются две недостающие координаты единичных областей путем перебора по координате Y от уставленных ранее маркеров, как стартовых точек (рис. 3). Точками обозначены единичные значения и предполагаемые единичные области

Пусть на первом этапе обнаружены 3 единичные области, и несколько неустойчивых точек. Единичные области в районах первой и последней строк уточняются, в результате повторного перебора по координате Y , до тех пор, пока последовательность единиц не прервется. На пороговые значения $\{y-1:=1, y:=1, y+1:=0\}$ также устанавливаются маркеры. В центре кадра необходим двунаправленный перебор, для более точного установления границ единичной области. Контуры найденных единичных областей заданной формы (выявляются по максимальному числу внутренних точек), либо координаты центров масс сложных по форме единичных областей (рис. 4) передаются для дальнейшей обработки на этапе распознавания и принятия решения [3].

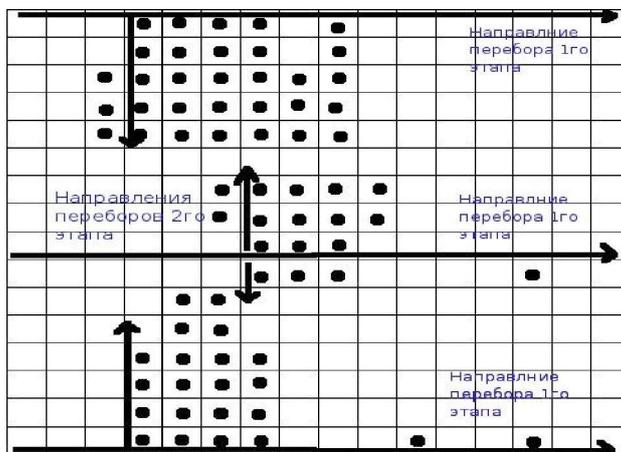


Рис. 3. Направление перебора по координате Y

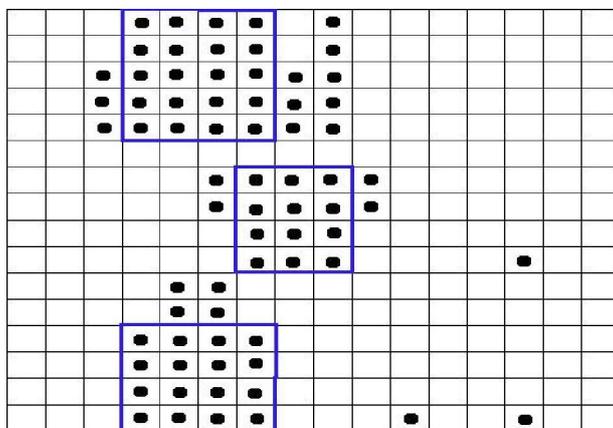


Рис. 4. Оконтурирование единичных областей прямоугольной формы

В патенте [4] предложено практическое решение задачи создания системы с повышенной достоверностью определения дальности до заданных объектов за счет селекции объектов по конкретным признакам (движение с определенной

скоростью, размеры, форма и т.д.), т.е. с применением технологии распознавания трехмерного рельефа наблюдаемой сцены. В основе построения системы лежит анализ трехмерного импульсного отклика, принятого многоэлементным дальномером фотоприемным устройством, при зондировании пространства коротким лазерным импульсом.

В высокоинформативном распознающем дальномере в качестве излучателя может быть применен твердотельный или инжекционный лазер (длительность импульса 1-5 нс). В качестве ФПУ предлагалось применить 76-анодный микроканальный фотоэлектронный умножитель [4]. Современные технологии позволяют реализовать N -канальное фотоприемное устройство в виде фотоматрицы с высоким быстродействием, с необходимой чувствительностью и с достаточной разрешающей способностью [5,6,7].

Оптимизация энергетических параметров наносекундных дальномерных систем и их адаптация к случайным условиям работы описаны в работах [8,9].

Выводы: Разработано специализированное программное обеспечение для моделирования и отработки алгоритма распознавания.

Предложенные решения позволяют создать оптоэлектронные системы нового поколения: высокоинформативные дальномеры, измерители реальной высоты до неровных поверхностей, импульсные системы для обнаружения и распознавания объектов, системы управления полетом и коррекции траектории летательных аппаратов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Легкий В. Н., Топорков В. Д. Лазерные системы ближней локации. Оптоэлектронные датчики. Под ред. В.Н. Легкого. - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002. - 179 с.

2. Бурый Е. В., Зубцов С. А., Савельев С. Б. Использование ультракоротких импульсов в лазерных локационных системах для задач распознавания. - М.: ГОНТИ МГТУ им. Н. Э. Баумана, 1990. - 61 с.

3. Моделирование алгоритма измерения профиля рельефа и распознавания объектов в бортовых сканирующих импульсных лазерных дальномерях / В. Н. Легкий, В. А. Шумейко, И. Ю. Баласов // Международная конференция-семинар по микро/нанотехнологиям и электронным приборам EDM'2010. Секция 5. «Оптико-электронные приборы и системы: физика, электроника, применения». - Новосибирск: НГТУ, 2010. - С. 390-392.

4. Патент РФ № 22545457 от 20.06.05 г Высокоинформативный распознающий дальномер. Легкий В.Н., Плешакова Е.В.

5. Перспективы применения лавинных фотодиодов в режиме Гейгера в системах двойного назначения / К. В.Сероштанов, А.Г.Батулин, С.А.Буднов, С.А.Андреев, В.Н.Легкий // Труды XVII всероссийской научно-технической конференции "Наука. Промышленность. Оборона.» - Новосибирск: НГТУ, 2016. - С. 241-245.

6. Филачев А.М., Таубкин И.И., Трищенко М.А. Современное состояние и магистральные направления развития современной фотоэлектроники. - М.: Физматкнига, 2010. - 128 с.

Легкий В. Н., Галун Б. В., Санков О. В. Оптоэлектронные элементы и устройства систем специального назначения. - Новосибирск: Издательство НГТУ, 2011. - 455 с.

Принципы построения помехоустойчивых миниатюрных лазерных импульсных дальномеров, высотометров и датчиков для бортовых и транспортных систем / В. Н.Легкий, Б. В. Галун, С. А.

Литвиненко, О. В. Санков, В. А. Шумейко, И. Ю. Баласов, А. О. Башмаков // Оптический журнал. – 2011. – Т. 78, №5. – С. 64–69.

© В. Н. Легкий, В. Г. Эдвабник, В. А. Шумейко, С. А. Буднов, 2017

ФАКТОРЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ ГОРЮЧИХ ГАЗОВЫХ СМЕСЕЙ ЧЕРЕЗ ИНЕРТНУЮ ПОРИСТУЮ СРЕДУ

Евгений Витальевич Манжос

Институт химической кинетики и горения СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, ул. Институтская, 3, ведущий инженер, тел. (383)333-22-96, e-mail: eugen.manzhos@kinetics.nsc.ru

Наталья Александровна Какуткина

Институт химической кинетики и горения СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, ул. Институтская, 3, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник, ученый секретарь, тел. (383)333-22-96, e-mail: kktk@kinetics.nsc.ru

Алексей Анатольевич Коржавин

Институт химической кинетики и горения СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, ул. Институтская, 3, доктор физико-математических наук, зав. лабораторией физики и химии горения газов, тел. (383)333-22-96, e-mail: korzh@kinetics.nsc.ru

Александр Васильевич Вьюн

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, доцент

Проведено экспериментальное исследование горения газа в условиях фильтрации, т.е. при движении газовой смеси через инертную пористую среду. Установлены факторы, определяющие характер фильтрационного горения газа. Выявлено влияние скорости подачи газовой смеси, теплопотерь от пористой среды, размера зерна пористой среды на характер горения и движения волн фильтрационного горения.

Ключевые слова: фильтрационное горение, горение газа.

THE FACTORS PROVIDING SAFETY OF MOTION OF COMBUSTIBLE GAS MIXTURE THROUGH AN INERT POROUS MEDIUM

Evgeny V. Manzhos

Institute of Chemical Kinetics & Combustion, Novosibirsk 630090, 3 Institutskaya St., principal engineer, tel. (383)333-22-96, e-mail: eugen.manzhos@kinetics.nsc.ru

Nataliya A. Kakutkina

Institute of Chemical Kinetics & Combustion, Novosibirsk 630090, 3 Institutskaya St., D. Sc., academic secretary, tel. (383)333-22-96, e-mail: kktk@kinetics.nsc.ru

Alexei A. Korzhavin

Institute of Chemical Kinetics & Combustion, Novosibirsk 630090, 3 Institutskaya St., D. Sc., Head of laboratory of gas combustion chemistry and physics, tel. (383)333-22-96, e-mail: korzh@kinetics.nsc.ru

Alexandr V. V'yun

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., Ph. D., docent

There was carried out an experimental study of gas combustion in the filtration conditions, that is, under motion of combustible gas mixture through an inert porous medium. It was established the factors that determine the nature of filtration gas combustion. The effects of the gas mixture feed rate, heat loss from the porous medium, the grain size of the porous medium on the nature of combustion and movement of the waves of filtration combustion were revealed.

Key words: filtration combustion, gas combustion.

Одна из проблем фильтрационного горения газа (ФГГ) – горения горючей газовой смеси при ее движении через пористую среду – это проблема формирования волны ФГГ.

Эта проблема возникает при использовании пористых огнепреградителей при фильтрации через них горючего газа, например, сбросных газов угольных шахт [1]. В этом случае формирование волны ФГГ при случайном воспламенении газа может привести к прогоранию огнепреградителя и распространении пламени в защищаемый объем. В горелках типа реверс-процесса формирование волны ФГГ является штатным режимом работы горелки [2]. В связи с этим необходимо исследование процесса формирования волн ФГГ и знание управляющих параметров и параметрических зависимостей этого процесса.

Проведены экспериментальные исследования фильтрационного горения метано-воздушной газовой смеси в инертной пористой среде.

Экспериментальная установка, методика проведения эксперимента описаны в работе [3].

В качестве горючего газа использовался природный газ, содержащий 96% метана, 1,5% этана, 0,7% пропана, 0,3% бутана, 0,04% углекислого газа и 1,0% азота. Горючие смеси составлялись по расходам горючего газа и воздуха. Выдерживались стехиометрические смеси горючего газа и воздуха.

Использовалась засыпка со средним размером диаметра зерен 5,11 и 4,08 мм, теплофизические характеристики которых приведены в таблице. Для зерен со средним диаметром 5,11 мм проводились серии экспериментов с изоляцией пористой среды с помощью каолиновой ваты и без изоляции.

Таблица

Теплофизические свойства пористой среды

Свойства	Пористая среда (электрокорунд)
Плотность гранул, $кг/м^3$	3900
Теплоемкость, $Дж/(кг \cdot К)$	1000 [4]
Теплопроводность, $Вт/(м \cdot К)$	3,02 [4]
Средний размер зерна, мм	4,08; 5,01
Пористость, t	0,56; 0,54

В экспериментах определялось время формирования волны ФГГ в зависимости от параметров газового потока и пористой среды. Горение газа инициировалось открытым пламенем, затем пламя входило в пористую среду и распространялось по ней далее с постоянной скоростью навстречу поступающей газовой смеси.

Результаты экспериментов

Полученные при экспериментах результаты представлены на рисунке.

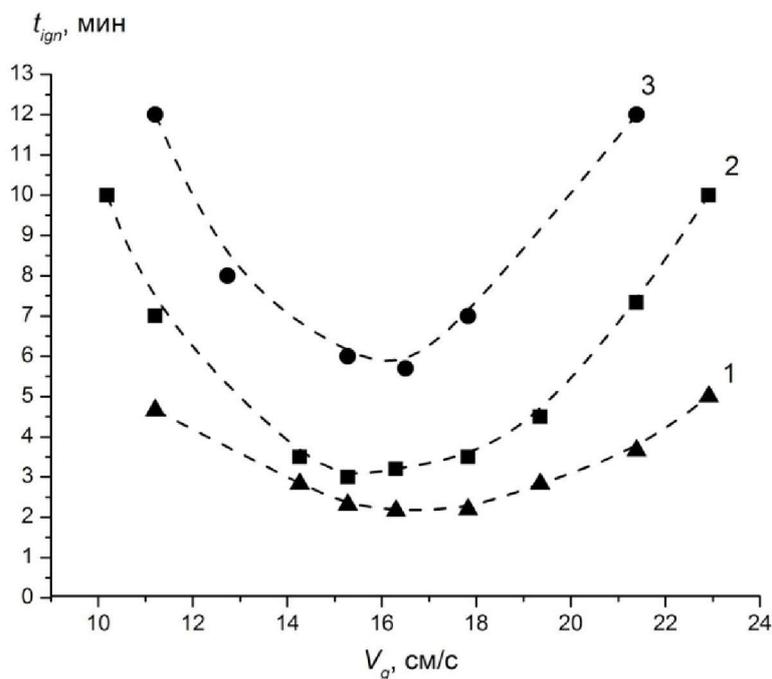


Рис. Зависимость времени формирования t_{ign} волны ФГГ от скорости подачи газовой смеси V_g .

- 1 – средний диаметр зерен 4,08 мм;
- 2 – средний диаметр зерен 5,11 мм, пористая среда изолирована;
- 3 – средний диаметр зерен 5,11 мм

На рисунке показаны зависимости времени формирования стационарной волны ФГГ (t_{ign}) от скорости подачи газовой смеси V_g в зависимости от различных условий.

Зависимость времени формирования волны ФГГ от скорости потока газа имеет U – образный характер. При слишком больших и слишком малых значениях скорости газа формирование волны ФГГ не происходит, т.е. можно говорить о наличии пределов по скорости газа.

Сравнение кривых 2 и 3 на рисунке показывает влияние теплотерь от пористой среды. При снижении потерь тепла (использовании изоляции) происхо-

дит уменьшение времени формирования волны ФГГ и сдвиг границ минимальной и максимальной скорости подачи газовой смеси, при которых возникает волна ФГГ.

Сравнение кривой 1 с кривыми 2 и 3 свидетельствует, что при прочих равных условиях, уменьшение среднего диаметра зерна пористой среды ускоряет инициирование волны ФГГ и расширяет диапазон скоростей, при которых формируется волна ФГГ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Какуткина Н.А., Коржавин А.А., Рычков А.Д. Особенности прогорания пористых огнепреградителей засыпного и канального типа // Физика горения и взрыва. - 2009. - Т. 45. № 3. - С. 35-43.
2. Numerical Study of Thermoelectric Generation within a Reciprocal Flow Porous Media Burner. Luis Henríquez-Vargas and Pablo Donoso. Journal of Mechanics Engineering and Automation 3 (2013) 367-377.
3. Экспериментальное исследование зажигания волн фильтрационного горения газа открытым пламенем при различных условиях внешнего теплообмена / Е. В. Манжос, Н. А. Какуткина, А. А. Коржавин, А. В. Вьюн // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2016. XII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «СибОптика-2016» : сб. материалов в 2 т (Новосибирск, 18–22 апреля 2016 г). – Новосибирск : СГУГиТ, 2016. Т. 1. – С. 79–83.
4. Чиркин В. С. Теплофизические свойства материалов. Справочник. – М.: ФИЗМАТГИЗ., 1959.

© Е. В. Манжос, Н. А. Какуткина, А. А. Коржавин, А. В. Вьюн, 2017

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЕКТОРНОГО СИНТЕЗА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ВОЛНОВОДНО-ЩЕЛЕВЫХ АНТЕНН

Валерий Иванович Ознобихин

АО «Научно-исследовательский институт электронных приборов», 630005, Россия, г. Новосибирск, ул. Писарева, 53, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, тел. (383)216-05-48, e-mail: ozval@mail.ru

Валерий Борисович Ромодин

АО «Научно-исследовательский институт электронных приборов», 630005, Россия, г. Новосибирск, ул. Писарева, 53, кандидат технических наук, начальник лаборатории, тел. (383)216-05-48, e-mail: romodin@ngs.ru

Виталий Сергеевич Кулик

АО «Научно-исследовательский институт электронных приборов», 630005, Россия, г. Новосибирск, ул. Писарева, 53, инженер 1-й категории, тел. (383)216-05-48, e-mail: vkulik@ngs.ru

С помощью методов векторного синтеза проводится оптимизация волноводно-щелевых антенн. Рассмотрены варианты составления коэффициентов качества. С помощью генетического алгоритма найдено множество нехудших решений. Приводится пример оптимизации двенадцати элементной антенны.

Ключевые слова: проектирование, волноводно-щелевая антенна, векторный синтез, генетический алгоритм.

USING OF VECTOR SYNTHESIS IN THE DESIGN OF WAVEGUIDE SLOT ANTENNAS

Valery B. Oznobihin

Joint-Stock Company «Scientific Research Institute on Electronic Devices», 630005, Russia, Novosibirsk, 53 Pisareva St., Ph. D., senior researcher, tel. (383)216-05-48, e-mail: ozval@mail.ru

Valery B. Romodin

Joint-Stock Company «Scientific Research Institute on Electronic Devices», 630005, Russia, Novosibirsk, 53 Pisareva St., Ph. D., laboratory chief, tel. (383)216-05-48, e-mail: romodin@ngs.ru

Vitaly S. Kulik

Joint-Stock Company «Scientific Research Institute on Electronic Devices», 630005, Russia, Novosibirsk, 53 Pisareva St., engineer, tel. (383)216-05-48, e-mail: vkulik@ngs.ru

With the help of vector synthesis methods, waveguide-slotted antennas are optimized. The variants of quality factors are considered. With the help of a genetic algorithm, many non-bad solutions were found. An example of optimization of the twelve element antenna is given.

Key words: design, waveguide-slot antenna, vector synthesis, genetic algorithm.

Проектирование волноводно-щелевых антенных решеток, как правило, связано с оптимизацией тех или иных геометрических параметров антенны, с целью

получения требуемых характеристик. Данная задача является многокритериальной, так как приходится учитывать требования, предъявляемые к диаграмме направленности (ДН), к энергетике и т.д. В совокупности эти требования можно объединить в, так называемый, многомерный вектор качества $K(k_1, k_2, \dots)$, где k_1, k_2 и т.д. характеризуют соответствующие требования [1].

Во многих случаях, требования к ДН сводятся к углу наклона главного максимума, его ширине и уровню боковых лепестков (УБЛ). Для уменьшения размерности вектора качества, можно все эти требования объединить и представить k_1 в виде [2]:

$$k_1 = c_1 \cdot |\theta_{0t} - \theta_{0p}| / \theta_{0t} + c_2 \cdot |\Delta\theta_t - \Delta\theta_p| / \Delta\theta_t + c_3 \cdot |U_t - U_{\max p}| / U_t, \quad (1)$$

где $\theta_{0t}, \Delta\theta_t$ – заданные (требуемые) угол наклона и ширина максимума (по уровню -3дб или по «нулям») ДН,

$\theta_{0p}, \Delta\theta_p$ – расчетные значения угла наклона и ширины максимума ДН,

U_t – заданный уровень БЛ,

$U_{\max p}$ – максимальный расчетный уровень БЛ,

c_1, c_2, c_3 – весовые коэффициенты (Лагранжа).

Требования к энергетическим характеристикам можно тоже свести в один коэффициент качества, например, вида:

$$k_2 = |c_1 \cdot P_n + c_2 \cdot P_{ref}|, \quad (2)$$

где P_n и P_{ref} – мощность, идущая в нагрузку, и мощность, отраженная от входа антенны,

В такой форме он учитывает все необходимые энергетические требования.

Таким образом, k_1 и k_2 учитывают по несколько требований сразу. Можно было бы ввести показатели качества, каждый из которых учитывал бы только одно требование, но тогда вектор качества был бы многомерным, так, в нашем случае, пятимерным. При данном выборе k_1 и k_2 он двухмерный, что существенно облегчает анализ. Заметим, что часто векторный синтез сводят к скалярной оптимизации путем объединения выражений (1) и (2) в скалярную целевую функцию [2].

Любому численному значению вектора $K(k_1, k_2)$ на плоскости (в системе координат k_1 и k_2) соответствует точка с определенными значениями k_1 и k_2 , или вариант антенны. Теоретически (идеально), для оптимального варианта k_1 и k_2 должны равняться нулю, т.е. идеальная точка находится в начале координат. Реально, все требования задаются в определённых пределах, например, для ДН: $\theta_{0t} \pm \delta\theta_{0t}$, $\Delta\theta_t \pm \delta\theta_t$, $U_t \pm \delta U_t$. Тогда, из выражения (1) следует, что минимальное значение k_1 равно:

$$k_{1\min} = c_1 \cdot \delta\theta_0 / \theta_{0t} + c_2 \cdot \delta\theta_t / \Delta\theta_t + c_3 \cdot \delta U_t / U_t \quad (3)$$

Зная процент мощности, идущей в нагрузку и КСВН, по формуле (2) можно определить k_{2min} .

Рассмотрим пример волноводно-щелевой антенны, состоящей из 12-ти продольных щелей одинаковой длины. Здесь входной параметрический вектор имеет размерность 13, $P(x_1, x_2, \dots, x_{12}, L)$, т.е., 12 смещений щелей (x) относительно средней линии волновода и длина щелей (L).

Пусть заданы следующие требования: $\theta_{0t} = (65^\circ \pm 1^\circ)$, $\Delta\theta_t = (34^\circ \pm 1^\circ)$, $U_t = -(30 \pm 1) \text{дБ}$, $P_n = 0.05$, КСВН=1.5. Тогда из (3), при $c_1 = c_2 = c_3 = 1$, получаем, что $k_{1min} = 0.077$, а из (2), при $c_1 = 1$, $c_2 = 2$, имеем $k_{2min} = 0.07$. На рисунке, в системе координат k_1 и k_2 приведена данная точка, соответствующая оптимальному (наилучшему) решению. Заметим, что она может быть и не достижима.

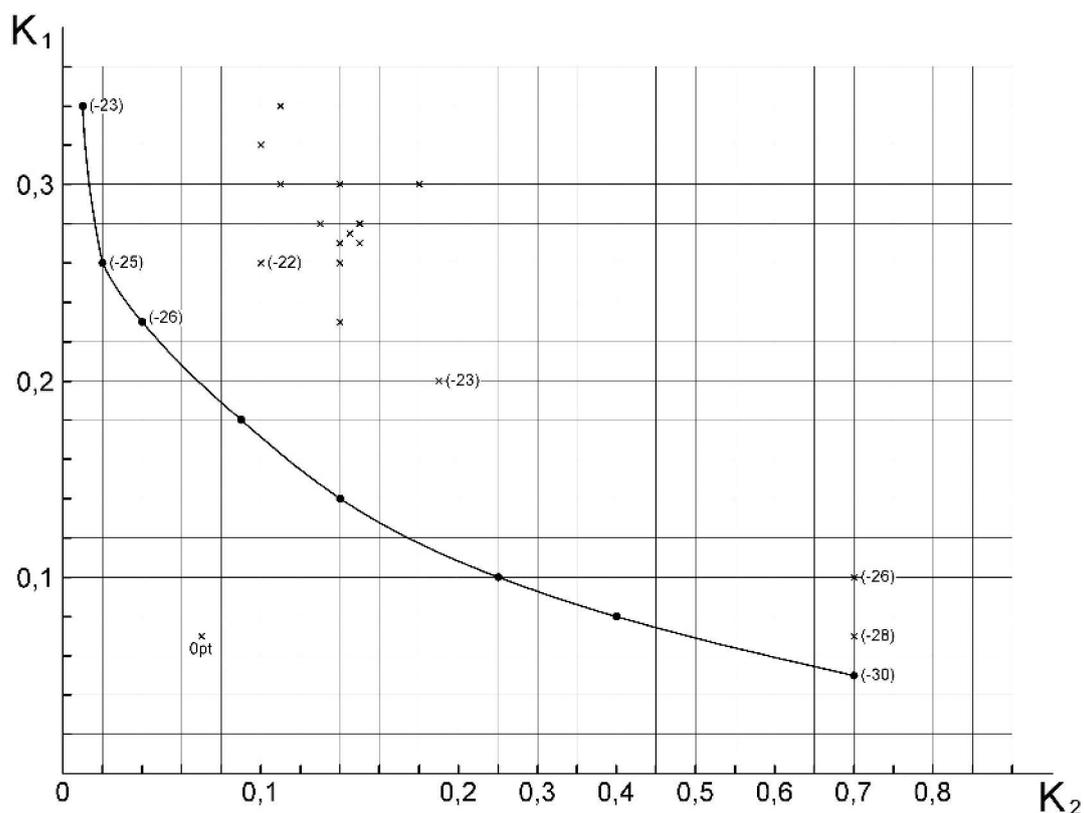


Рис. Вектор качества

На плоскости (k_1, k_2) каждой точке соответствует определенная антенна со своим вектором $P(x_1, x_2, \dots, x_{12}, L)$. Задача векторного синтеза сводится к тому, чтобы из множества этих точек выбрать такую точку (антенну), которая обладает наилучшим значением вектора $K(k_1, k_2)$. Из смысла k_1 и k_2 ясно, что крайние точки этого множества являются «не худшими решениями», и они соответствуют левой нижней границе множества [1]. Задача сводится к нахождению (построению) этой границы. Самый простой способ – анализ всех вариантов антенн и выбор тех, вектора качества $K(k_1, k_2)$ которых, лежат на границе. Но этот метод

очень громоздкий. Например, для данного примера, если геометрические размеры разбить на 10 дискретных значений, то необходимо провести анализ 10^{13} вариантов. В данной работе используется генетический алгоритм (ГА) минимизации [3]. Это достаточно гибкий и простой алгоритм, позволяющий находить как локальные, так и глобальные экстремумы.

Из показателей качества k_1 и k_2 можно создать скалярную целевую функцию, например, вида:

$$f = c_1 \cdot (k_1 - k_{1\min})^2 + c_2 (k_2 - k_{2\min})^2 \quad (4)$$

Данная функция является нелинейной, поэтому многоэкстремальной. Весовые коэффициенты c_1 и c_2 позволяют изменять направление поиска.

С помощью генетического алгоритма и целевой функции (4) была построена левая нижняя граница не худших решений. Как доказано в работе [1], кривая, характеризующая эту границу, является непрерывной убывающей функцией $k_1=f(k_2)$. Оптимальные решения должны располагаться на этой границе. На рисунке 1 приведена граница и некоторые варианты решений, в скобках указаны соответствующие уровни боковых лепестков. Видно, что для нашего примера оптимальное решение находится ниже этой границы, т.е. приведенные выше требования к антенне получить не удастся, используя только смещения щелей одинаковой длины. При данных же геометрических параметрах из графика видно, что для $k_{2\min} = 0.07$ реализуем вариант с $k_{1\min} = 0.2$, это соответствует УБЛ примерно -25 дБ.

Таким образом, методы векторного синтеза совместно с генетическим алгоритмом позволяют выявить потенциальные возможности антенны, ускорить процесс оптимизации и сделать более наглядными его результаты.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гуткин Л.С. Оптимизация радиоэлектронных устройств - М.: Советское радио, 1975 г.
2. Ознобихин В. И., Ромодин В. Б., Ячменева Т. В. Исследование целевых функций, используемых при проектировании антенных решеток // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015. XI Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «СибОптика-2015» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 13–25 апреля 2015 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2015. Т. 3. – С. 192–196.
3. Ознобихин В.И., Ромодин В.Б. Оптимизация волноводно-щелевых антенн методом генетического алгоритма / Сборник трудов МНТК "Четвертые Уткинские чтения". Секция "Ракетно-космическая техника и технология" Том 1, сс.230-232. БГТУ "Военмех", Санкт-Петербург, Россия, 2009 г.

© В. И. Ознобихин, В. Б. Ромодин, В. С. Кулик, 2017

ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК АНТЕНН БЕГУЩЕЙ ВОЛНЫ СВЧ-ДИАПАЗОНА С РАСШИРЯЮЩИМЯ РАСКРЫВОМ

Александр Сергеевич Коваленко

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, магистрант кафедры автономных информационных и управляющих систем, тел. (383)3462623, e-mail: rockstaaz@yandex.ru

Александр Александрович Слободяненко

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, магистрант кафедры автономных информационных и управляющих систем, тел. (383)3462623, e-mail: sepwood@gmail.com

Любовь Васильевна Шебалкова

АО «Научно-исследовательский институт электронных приборов», 630005, Россия, г. Новосибирск, ул. Писарева, 53, ведущий инженер-руководитель группы; Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, старший преподаватель, тел. (383)216-05-48, e-mail: lvsheb@list.ru

С применением методов компьютерного моделирования были рассчитаны и исследованы образцы СВЧ антенны Вивальди со ступенчато-расширяющимся раскрывом с изменяемыми геометрическими параметрами. Получены результаты о влиянии количества ступеней в раскрыве на диаграмму направленности и электродинамические характеристики антенны.

Ключевые слова: диаграмма направленности, СВЧ-диапазон, антенна Вивальди, электродинамическое моделирование, печатные антенны

ELECTROMAGNETIC MODELING THE CHARACTERISTICS OF THE X-BAND TRAVELING WAVE ANTENNA WITH A APERTURE ENLARGEMENT

Alexander S. Kovalenko

Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia, Novo sibirsk, 20 K. Marksa Prospekt, undergraduate Department Autonomous Information and Control Systems, tel. (383)346-26-23, e-mail: rockstaaz@yandex.ru

Alexander A. Slobodyanenko

Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia, Novosibirsk, 20 K. Marksa Prospekt, undergraduate Department Autonomous Information and Control Systems, tel. (383)346-26-23, e-mail: sepwood@gmail.com

Lyubov V. Shebalkova

Joint-Stock Company «Scientific Research Institute on Electronic Devices», 53 Pisareva St., Novosibirsk, 630005, Russia, leading engineer-team manager, Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia, Novosibirsk, 20 K. Marksa Prospekt, senior lecturer, tel. (383)216-05-48, e-mail: lvsheb@list.ru

With the use of computer simulation, the samples studied short-range microwave antennas with stepped-expanding aperture with variable geometric parameters. Results on the effects of these parameters on the broadband antennas investigated. Obtained pattern, revealed the influence of geometrical parameters on the electromagnetic characteristics of the antenna.

Key words: directional pattern, microwave range, vivaldi antenna, electrodynamic modeling, printed antennas.

Разработка антенн для радиосистем СВЧ-диапазона, удовлетворяющих требованиям широкополосности, узконаправленности, а также компактности и простоте производства, актуальна в связи с растущим рынком радиосистем.

Если предположить, что в направляющей структуре распространяется только один тип волны (E или H) и что он не изменяется вследствие изменения поперечного сечения щели, то для анализа излучения антенн с расширяющимися щелями можно использовать известные результаты для расчета параметров симметричной щелевой линии [1].

В данном случае исследовались антенны, для которых изменение поперечного сечения вдоль направляющей структуры антенны является ступенчатым, изменяя количество ступеней до приближения к линейной структуре. Регуляризация для конечного числа участков позволила применить известные модельные представления [1,2] для каждого регулярного участка и по их суммарному вкладу рассчитать диаграммы направленности (ДН) всей антенны [3].

Предполагается, что шаг увеличения ширины щели должен быть много меньшим четверти длины волны:

$$w_n - w_{n-1} = w_{n+1} - w_n = \Delta w \ll \frac{\lambda_0}{4}, \quad (1)$$

где w_n - ширина щели n -го регулярного участка направляющей структур антенны, λ_0 - длина волны электромагнитных колебаний на входе антенны [4,5]

Результирующее поле в дальней зоне будет определяться суммированием вклада в излучение, вносимого каждым регулярным участком

$$E(\theta, \varphi) = \sum_{n=1}^N, \quad (2)$$

где $E_n(\theta, \varphi)$ – вклад в поле дальней зоны n -участком [6,7].

Для сохранения условий бегущей вдоль направляющей структуры антенны волны потребуем, чтобы мощность, проходящая через каждый регулярный участок оставалась постоянной :

$$P_{n-1} = P_n = P_{n+1} = const, \quad (3)$$

Мощность, проходящая вдоль n -участка регулярной структуры может быть определена как

$$P_n = \frac{V_n^2}{Z_n}, \quad (4)$$

где V_n – разность потенциалов в щели, а Z_n – волновое сопротивление.

Заменим V_n на поперечную составляющую поля регулярной симметричной щелевой линии и положим $P_n = 1$. Формула (2) с учетом (3) принимает вид:

$$E(\theta, \varphi) = \sum_{n=1}^N \sqrt{Z_n} \cdot E_{0n}(\theta, \varphi), \quad (5)$$

где E_{0n} – поле излучения n -участка, которое может быть определено по какой-либо модели антенны с помощью постоянной ширины, а Z_n может быть взято из выражения

$$Z_n = \frac{60 x^2}{\ln \left(\frac{2H}{w} + \sqrt{\left(\frac{2H}{w} \right)^2 - 1} \right)}, \quad (6)$$

Процедура ступенчатой аппроксимации может быть автоматизирована.

Как показано в [8,9], поперечная компонента электрической напряженности электромагнитного поля для i -го регулярного участка антенны определяется следующим выражением:

$$E_{\theta}(\theta, \varphi) = \frac{j\omega \varepsilon w \sin \varphi \cdot e^{-jk_0 r}}{4\pi^2 r} \int_{-\frac{w}{2}}^{\frac{w}{2}} \frac{e^{jk_0 z' \cos \theta}}{\sqrt{\left(\frac{w}{2} \right)^2 - z'^2}} dz' \times$$

$$\times \int_0^l e^{jk_0 x' \cos \varphi} \cdot e^{k_x x'} \cdot \left[1 + e^{j\frac{\pi}{4}} F \left(v \cdot \sqrt{\frac{\pi}{2}} \right) + \frac{\sqrt{2} e^{-j\frac{\pi}{4}}}{\pi} \frac{e^{-j\frac{\pi}{2} v^2}}{v} \right] dx', \quad (7)$$

Построение ДН в главных плоскостях производится с помощью электродинамического моделирования.

Расчеты велись для антенны Вивальди, раскрыв которой был аппроксимирован с помощью ступенек (рис. 1–5), имевшей длину $L = 37.5 \text{ мм}$ на частоте 14.5 ГГц. Для оценки влияния ступенчатой аппроксимации на качественные характеристики антенны количество регулярных участков было выбрано $n=5$ $n=7$, что соответствует неравенству $\frac{L}{n} > \frac{c}{4\vartheta}$ и отражает противоположность предположению (1), $n=11$ и $n=20$ согласованны с предположением (1) и удовлетворяют неравенству $\frac{L}{m} \leq \frac{c}{4\vartheta}$.

Ниже представлены модели и объемные ДН для соответствующих антенн.

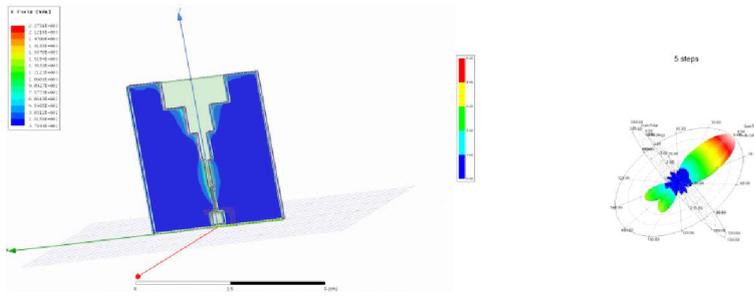


Рис. 1. Модель и объемная ДН для 5 регулярных участков

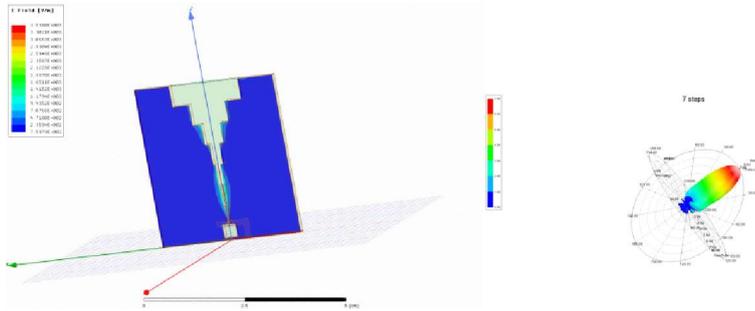


Рис. 2. Модель и объемная ДН для 7 регулярных участков

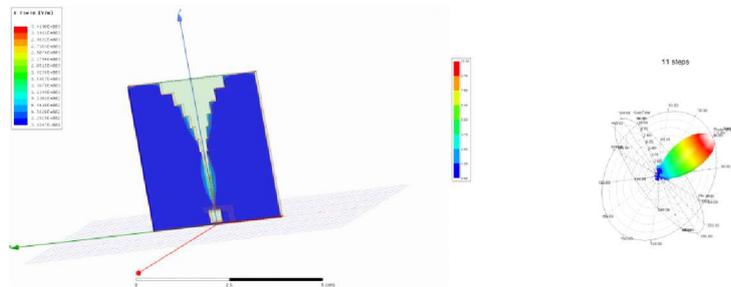


Рис. 3. Модель и объемная ДН для 11 регулярных участков

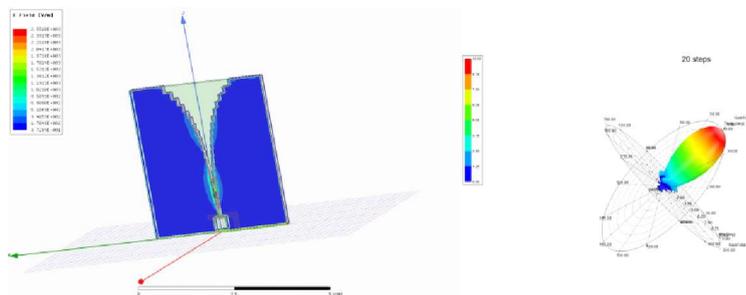


Рис. 4. Модель и объемная ДН для 20 регулярных участков

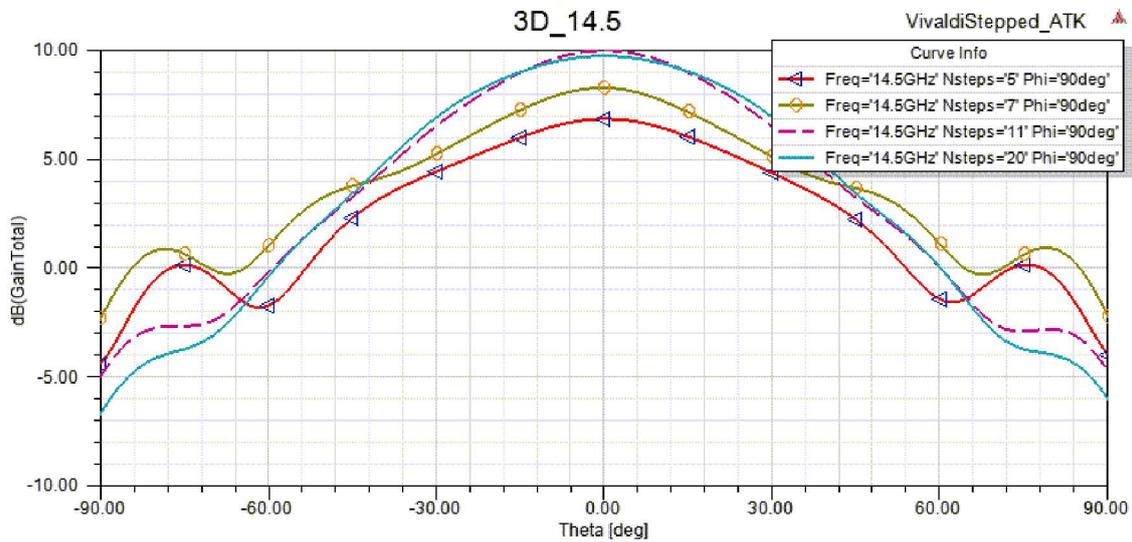


Рис. 5. Главные сечения диаграммы направленности для различного количества регулярных участков

Исходя из графиков можно сделать вывод, что значение n оказывает ничтожное влияние на ширину главного луча, но значительно сказывается на коэффициенте усиления который снижается при $n=5$ и $n=7$ до 6.2 дБ и 8.2 дБ соответственно. КУ при $n=11$ составил 9.7 дБ, $n=20$ – 10 дБ. Это связано с значительными обратными потерями, которые появляются при шаге аппроксимации большем $\frac{\lambda_0}{4}$, также происходит переизлучение электромагнитной энергии в противоположном направлении. На рис. 6 представлен график коэффициента отражения для различного количества регулярных участков в модели.

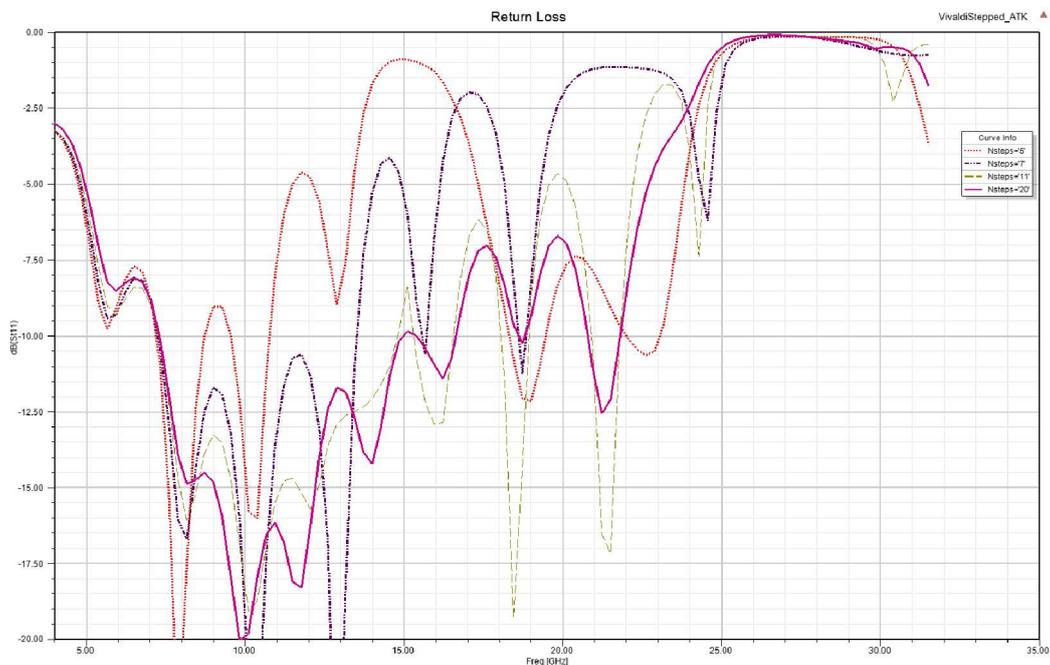


Рис. 6. Параметр S_{11} для построенных моделей в полосе 4–31,5 ГГц

В работе исследовано влияние количества ступеней в раскрыве на качественные характеристики антенны.

Из результатов можно сделать вывод о том, что для удовлетворительного построения математической и электродинамической модели антенны Вивальди, с помощью ступенчатой аппроксимирующей функции, необходимо удовлетворение следующего условия : количество регулярных участков должно удовлетворять неравенству: $\frac{L}{m} \leq \frac{c}{4\vartheta}$.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Sharma, A. K. An Experimental investigations of Millimeter-Wave Fin Antennas / A. K. Sharma, R. M. Wilson, A. Rosen // IEEE Antennas & Propagation Society APS. – 1985. – Vol. 6. – P. 97–100.
2. Bhat, V. Analysis, design and applications of fin lines / V. Bhat, S. Koul // Artech House. – 1987.
3. Janaswamy, R. Analysis of the tapered slot antenna / R. Janaswamy, D. Schaubert // IEEE Trans. AP. – 1987. – Vol. 35. – P. 1058–1065.
4. Гирич, В. С. Короткие антенны поверхностной волны на симметричной щелевой линии передачи / С. В. Гирич, А. А. Фролов, Ю. А. Домаев // Физика и технические приложения волновых процессов : Тезисы докладов и сообщений / под ред. В. А. Неганова и Г. П. Ярового. – II Международная научно-техническая конференция. Самара, 2003.
5. Парпула С.А. Изучение электродинамических характеристик антенн бегущей волны СВЧ-диапазона с линейно-расширяющимся раскрывом / С.А. Парпула, С. В. Гирич, В. П. Заярный // Известия волгоградского государственного технического университета – 2013. – Т. 7. – № 3. – С. 112–115.
6. Фролов, А. А. Информационно-управляющая система для измерения характеристик антенн СВЧ-диапазона / А. А. Фролов, С. В. Гирич, В. П. Заярный // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. – Волгоград, 2008. – (Серия «Электроника, измерительная техника, радиотехника и связь» ; вып. 2). – С. 77–80.
7. Гирич, С. В. Характеристики излучения антенн бегущей волны, созданных на основе симметричной щелевой линии передачи : дис. ... канд. физ.-мат. наук : 01.04.03 / С. В. Гирич. – М., 2000. – 116 с.
8. Современное состояние и проблемы / Д. И. Воскресенский [и др.] ; под ред. Л. Б. Бахраха и Д. И. Воскресенского. – М.: Сов. радио, 1979. – 208 с.
9. Куммер, В. Х. Антенные измерения / В. Х. Куммер, Э. С. Джиллеспи // ТИИЭР. – 1978. – Т. 66. – № 4. – С. 143–173.

© А. С. Коваленко, А. А. Слободяненко, Л. В. Шебалкова, 2017

УДК 621.372.413

ИНЖЕНЕРНЫЙ МЕТОД РАСЧЕТА ЗАВИСИМОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ ТЕХНИКИ ПРИ УСКОРЕННЫХ ИСПЫТАНИЯХ

Муза Ивановна Гулькова

АО «Научно-исследовательский институт электронных приборов», 630005, Россия, г. Новосибирск, ул. Писарева, 53, ведущий инженер, тел. (383)216-05-82

Николай Данилович Калюжный

АО «Научно-исследовательский институт электронных приборов», 630005, Россия, г. Новосибирск, ул. Писарева, 53, начальник лаборатории, тел. (383)216-05-82

Сергей Юрьевич Калюжный

АО «Научно-исследовательский институт электронных приборов», 630005, Россия, г. Новосибирск, ул. Писарева, 53, инженер II-й категории, тел. (383)216-05-82

Николай Николаевич Кашун

АО «Научно-исследовательский институт электронных приборов», 630005, Россия, г. Новосибирск, ул. Писарева, 53, старший научный сотрудник, тел. (383)216-05-82

Исследована деградация полупроводниковых приборов и микросхем различного уровня интеграции при проведении испытаний на ускоренное хранение при воздействии повышенной и пониженной температур, влажности, росы и инея. Представлена методика расчета длительности имитационного периода имитирующего один год старения микросхемотехники в реальных условиях эксплуатации.

Ключевые слова: микросхемы, ускоренные испытания.

ENGINEERING METHOD OF THE SEMICONDUCTOR DEVICES PARAMETER CHANGES UNDER ACCELERATION TESTS

Muza I. Gulkova

Joint-Stock Company «Scientific Research Institute on Electronic Devices», 630005, Russia, Novosibirsk, 53 Pisareva St., Principle Engineer, tel. (383)216-05-82

Nikolay D. Kalyuzhnyy

Joint-Stock Company «Scientific Research Institute on Electronic Devices», 630005, Russia, Novosibirsk, 53 Pisareva St., Head of laboratory, tel. (383)216-05-82

Sergey Y. Kalyuzhnyy

Joint-Stock Company «Scientific Research Institute on Electronic Devices», 630005, Russia, Novosibirsk, 53 Pisareva St., 2nd category engineer, tel. (383)216-05-82

Nikolay N. Kashun

Joint-Stock Company «Scientific Research Institute on Electronic Devices», 630005, Russia, Novosibirsk, 53 Pisareva St., Senior associate, tel. (383)216-05-82

The work represents examination of degradation in semiconductor devices and various scale integration circuits during accelerated storage and aging tests under extreme temperatures, humidity, dew point, and frost point. Also the authors discuss the method of calculating time duration of the

simulation period equal to one year of microelectronic circuitry aging under factual operation conditions.

Key words: circuits, accelerated tests.

После вступления России во Всемирную торговую организацию, а также учитывая возросшую конкуренцию со стороны иностранных компаний, разработчики военной и радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) предпочитают применять современную иностранную электронную компонентную базу (ЭКБ), в том числе интегральные микросхемы (ИМС).

Не вдаваясь в подробности причин создавшейся ситуации, подчеркиваю, что применение в военной российской промышленности, включая и космическую технику, западной ЭКБ часто является не только прогрессивным, но и единственно возможным в определенных ситуациях инженерно-техническим решением. После того как принято решение о применении в военной аппаратуре зарубежной ЭКБ, встает вопрос о подтверждении заданных на разрабатываемую военную технику перечня внешних воздействующих факторов (ВВФ) в условиях воздействия, которых разработанная техника должна нормально функционировать.

ВВФ, которым подвергается РЭА военного назначения, определены соответствующим государственным стандартом (ГОСТ), которые входят в перечень обозначенные, как государственные военные стандарты.

Мы основное внимание уделим стандартам, которые определяют надежность разрабатываемой и выпускаемой военной РЭА.

В этих стандартах надежность квалифицируется, как комплексный показатель в который входят:

- безотказность;
- долговечность;
- ремонтпригодность;
- хранение;

Самым длительным испытанием на надежность являются испытания по подтверждению НСС или сроков хранения.

Испытания по подтверждению заданных сроков хранения и НСС проводятся двумя методами:

- хранение в естественных условиях, того климатического пояса, где изделие будет эксплуатироваться;
- хранение ускоренным методом (ускоренные испытания на хранение);

Для проведения расчетов длительности испытаний имитирующего годовой цикл хранения, как правило, необходимо рассчитывать энергетический коэффициент (B_k) каждого комплектующего электрорадиоэлемента (ЭРА), на которых собрана электрическая схема любого устройства.

Но так как определение энергетических коэффициентов требует больших экспериментальных исследований, то их определение затруднительно, так как на современную ЭКБ особенно импортного производства, как правило отсутствует

необходимая техническая документация (ТД), по которой можно было бы определить необходимые энергетические коэффициенты, это такие данные, как вероятность отказа как в условиях эксплуатации так и при хранении в определенных условиях. Мы попытались на основании методики расчета энергетической функции по [2], [4], [5] рассчитать энергетические функции ЭКБ для различных поколений.

Ускоренные испытания достигаются форсированием одного или нескольких климатических факторов, приводящих к интенсификации деградиционных процессов.

В качестве основных при назначении ускоренных испытаний рассматриваются следующие места хранения:

- отапливаемое хранение;
- неотапливаемое хранение;
- под навесом;

При проведении ускоренных испытаний подвергается набору следующих факторов:

1. Пониженная температура, время воздействия τ_{nm} ;
2. Повышенная температура, время воздействия τ_{u1} ;
3. Наличие суточных перепадов температур с учетом климатических районов, время воздействия τ_{u2} ;
4. Влажность, время воздействия $\tau_{вл}$;

В соответствии с ГОСТ В 20.57.304-76 продолжительность ускоренных испытаний (τ_u), имитирующих один год хранения, определяется по формулам:

– при испытаниях имитирующих хранение РЭА в неотапливаемом помещении и под навесом

$$\tau_u = \tau_{nm} + \tau_{u1} + \tau_{u2} + \tau_{вл} \quad (1)$$

– при испытаниях имитирующих хранение РЭА в отапливаемом помещении

$$\tau_u = \tau_{u1} + \tau_{вл} \quad (2)$$

Для имитации n -летнего срока хранения испытания, имитирующие год хранения, подтверждаются n раз.

Вопросов о продолжительности ускоренных испытаний на воздействие пониженной температуры, суточных перепадов температур и влажности, заданных в ГОСТ В 20.57.304-76, у нас не возникает.

Основное внимание было уделено продолжительности ускоренных испытаний РЭА на сохранность при воздействии повышенной температуры (τ_{u1}). До настоящего времени продолжительность ускоренных испытаний при повышенной температуре в соответствии с [1] определялось при одной энергетической функции (B_k) для всех комплектующих элементов (КИ) 3-го поколения, входящих в РЭА.

Энергетическая функция КИ, характеризует зависимость скорости его старения от температуры и определяется на основании анализа и обобщения опытных данных на сохраняемость комплектующего изделия в условиях эксплуатации и хранения.

В настоящее время с выходом [2], [4], [5], где приведены энергетические функции для наиболее часто применяемых КИ как 3-го, так и 4–5-го поколений, появилась возможность, используя значения энергетических функций, более точно оценивать продолжительность ускоренных испытаний РЭА, состоящей из различных поколений.

Время ускоренных испытаний при повышенной температуре, за которое изменение (старение) РЭА будет таким же, как изменение за время естественного хранения, зависит от физико-химических свойств КИ, входящих РЭА и определяется по формулам [2], [4], [5]:

$$\tau_{u1} = \frac{t_{uo}}{K_{вл}}, \quad (3)$$

где

$$t_{uo} = \frac{1}{\lambda_{xp}(T_u)} \sum_{j=1}^n \lambda_{xp}(T_j) * t_{xp,j} \quad (4)$$

$$\lambda_{xp}(T) = \sum_{k=1}^r n_k \lambda_{xp,k}(k) = \sum_{k=1}^r n_k \lambda_{xm,k} * e^{\left(B_k(T) \left(\frac{1}{T_{sp}} - \frac{1}{T} \right) \right)} \quad (5)$$

Интенсивность отказов РЭА $\lambda_{xp}(T)$ (5) в свою очередь зависит от следующих величин:

– $B_k(T)$ – энергетическая функция k -того КИ 3-го поколения в РЭА, зависит от температуры и определяется по формуле:

$$B_k(T) = a_0 + a_1 T + a_2 T^2 + a_3 T^3 \quad (6)$$

Коэффициенты a_0, a_1, a_2, a_3 определяются по результатам анализа и обобщения экспериментальных данных.

В случаях применения в РЭА КИ 4–5-го поколения в формуле (5) $\lambda_{xp,k}(T)$ изменяется на:

$$\lambda_{xp,k}(T) = \lambda_{xm,k} e^{\left(A_{k1}(T) - \frac{B_{k1}(T)}{T} \right)}$$

где B_{k1} – энергетическая функция k -того типа КИ 4 и 5 поколения.

A_{k1} – функция предэкспонент k -того типа КИ, определяемая на основании анализа и обработки данных по сохраняемости КИ в условиях эксплуатации и испытаний и характеризующая совместно с энергетической функцией B_{k1} зависимость скорости старения от температуры.

Характеристики кинетики старения КИ 4–5-го поколения описываются полиномами:

$$B_{k1}(T) = b_0 + b_1T + b_2T^2 + b_3T^3 \quad (8)$$

$$A_{k1}(T) = a_{00} + a_{01}T + a_{02}T^2 + a_{03}T^3 \quad (9)$$

Рассчитанная по формулам (3)–(9) продолжительность ускоренных испытаний на воздействие повышенной температуры (τ_{u1}) учитывается в формулах (1) и (2) для расчета суммарной продолжительности ускоренных испытаний имитировавших один год хранения РЭА в заданных климатических условиях.

Используя расчетные значения продолжительности ускоренных испытаний КИ 4–5-го поколений (7), были определены «приведенные» функции B_{np} (так мы её назвали) т.е. функции соответствующие данным условиям хранения. «Приведенные» функции позволяют использовать формулу (5) заменяя в ней B_k на B_{np} для расчета τ_{u1} как для КИ 3-го так и 4–5-го поколений. Расчеты показали, что продолжительность ускоренных испытаний КИ 4–5-го поколений, рассчитанная для формулы (5) с использованием функции B_{np} совпадает с τ_{u1} , рассчитанной для тех же условий хранения (климатическая зона, условия хранения) по формуле (7) с использованием $B_{k1}(T)$, $A_{k1}(T)$.

Для расчёта продолжительности ускоренных испытаний а так же для проведения анализа результатов ускоренных испытаний РЭА, составлены программы и по ним проведены для наиболее часто применяемых КИ расчеты продолжительностей ускоренных испытаний на тепловое старение, имитирующих год хранения под навесом, в неотапливаемом и отапливаемом помещении в различных климатических зонах.

1. По результатам составлены таблицы значений энергетической функции B_{np} , τ_{u1} и продолжительности ускоренных испытаний, соответствующих КИ 3–5 поколений.

2. Построены графики зависимостей τ_{u1} от функции B_{np} , соответствующая одному году хранения в различных условиях.

3. Составлены таблицы суммарной продолжительности ускоренных испытаний τ_u для различных значений функции B при хранении один год в различных условиях, аналогично таблицам ГОСТ В 20.57.304-76.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аппаратура, приборы, устройства и оборудование военного назначения. ГОСТ В
2. Методы расчета показателей надежности в режимах хранения. ОСТ В 4Г0.012.241-84.
3. Климат СССР. ГОСТ 16350-80.
4. Ускоренные испытания по сохраняемости при хранении. РМ В 22.31.ХХ-90.
5. Типовые методики испытаний на сохраняемость. РД В 319.01.15-98.

© М. И. Гулькина, Н. Д. Калюжный, С. Ю. Калюжный, Н. Н. Капун, 2017

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРЕИМУЩЕСТВ КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ КАНАЛОВ ЛОКАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Мария Владимировна Орлова

АО «Научно-исследовательский институт электронных приборов», 630005, Россия, г. Новосибирск, ул. Писарева, 53, кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник, тел. (383)216-05-68; Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, кандидат технических наук, доцент, тел. (383)216-05-68

Рассматривается возможность комплексирования нескольких автономных локоаторов с различными характеристиками обнаружения с целью повышения характеристик обнаружения комплексированной системы. Разработана программа оценки и исследования характеристик системы в различных условиях работы с наглядным отображением результатов работы комплексированной системы и каналов по отдельности.

Ключевые слова: комплексированная система ближней локации, характеристики локационного обнаружения, вероятность правильного обнаружения, вероятность ложной тревоги, выигрыш за счет комплексирования.

INVESTIGATION OF THE COMPLEX MULTICHANNEL LOCATION SYSTEM ADVANTAGES

Maria V. Orlova

Joint-Stock Company «Scientific Research Institute on Electronic Devices», 630005, Russia, Novosibirsk, 53 Pisareva St., Ph. D., Associate Professor, Senior Researcher, tel. (383)216-05-68, Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia, Novosibirsk, 20 K. Marksa Prospekt, Ph. D., Associate Professor, tel. (383)216-05-68

A possibility of the integration of different location systems with various detection characteristics is considered for the purpose of the detection characteristics increasing. A program for calculating and investigating of the complex system probability characteristics for various conditions has been developed, that provides the presentation of the complex system characteristics and characteristics of the channels-components.

Key words: complex location system, multichannel system, detection characteristics, correct detection probability, false alarm probability, complex location system advantages.

Одним из перспективных направлений улучшения характеристик локационных систем является применение принципа комплексирования. Под комплексированием понимается совместная обработка результатов воспроизведения различными устройствами (системами) одного и того же сообщения или нескольких различных, но статистически связанных сообщений [1]. Под комплексированием устройств также понимается объединение их в единую комплексную (комплексированную) систему, осуществляющую совместную обработку информации [2]. Цель комплексирования – повышение характеристик за счет избыточности сообщения. В комплексированных локационных системах информация может

поступать в виде: решений об обнаружении или о необнаружении объекта отдельными информационными каналами; в виде решений об обнаружении объекта и решений о типах помех, воздействующих на информационные каналы; а также в виде аналоговых реализаций принятых сигналов с выходов линейных трактов информационных каналов [3].

При разработке алгоритма обработки информации, выдаваемой отдельными каналами комплексированной системы, рассматривается случай, когда информация поступает с выходов каналов в виде решений об обнаружении или необнаружении объекта. То есть, реализация сигнала на входе блока обработки информации представляет собой вектор, состоящий из нулей и единиц. Отношение правдоподобия в этом случае для наблюдаемой выборки $y(t) = [\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_n]$ [2]:

$$\Lambda = \frac{P(\delta_1, \dots, \delta_N / A = 1)}{P(\delta_1, \dots, \delta_N / A = 0)} = \prod_{i=1}^N \left[\left(\frac{D_i}{F_i} \right)^{\delta_i} \left(\frac{1-D_i}{1-F_i} \right)^{1-\delta_i} \right]. \quad (1)$$

Алгоритм принятия решения об обнаружении заключается в вычислении для принятой входной реализации логарифма отношения правдоподобия и сравнении его с порогом:

$$\sum_{i=1}^N \delta_i \ln \left(\frac{D_i(1-F_i)}{F_i(1-D_i)} \right) \geq \Lambda_0. \quad (2)$$

При превышении порога Λ_0 принимается решение о наличии полезного сигнала в наблюдаемой выборке. Особенность алгоритма в том, что решения, принимаемые отдельными каналами (δ_i), суммируются с весовыми коэффициентами, то есть, с порогом сравнивается так называемая «взвешенная сумма», в которой весовые коэффициенты определяют вклад каждого канала в окончательное решение об обнаружении или необнаружении в зависимости от характеристик данного канала (вероятности правильного обнаружения D_i и ложной тревоги F_i).

Если вероятности ложной тревоги и правильного обнаружения всех каналов (обнаружителей) одинаковы, то есть, $D_i = D$, $F_i = F$, $i = 1, \dots, N$, то весовые коэффициенты одинаковы. Тогда вероятность правильного обнаружения D , вероятность ложной тревоги F и результирующая вероятность обнаружения W комплексированной системы могут быть определены по формулам

$$D = \sum_{m=\Lambda_0}^N C_N^m D^m (1-D)^{N-m}, \quad F = \sum_{m=\Lambda_0}^N C_N^m F^m (1-F)^{N-m}, \quad W = D(1-F) \quad (3)$$

где $C_N^m = \frac{N!}{m!(N-m)!}$ - число сочетаний из N по m .

Разработана программа исследования характеристик различных вариантов построения комплексированной системы. Результаты оценки представлены в виде графиков. Например, на рис. 1, 2 приведены характеристики обнаружения двухканальной системы, реализующей алгоритм (2), при одинаковых характери-

стиках каналов, в зависимости от вероятности ложной тревоги отдельных каналов при различных значениях порога обнаружения. Кривые соответствуют принятию решения об обнаружении по схеме «И» и принятию решения по схеме «ИЛИ», а также приведены характеристики одноканальной системы.

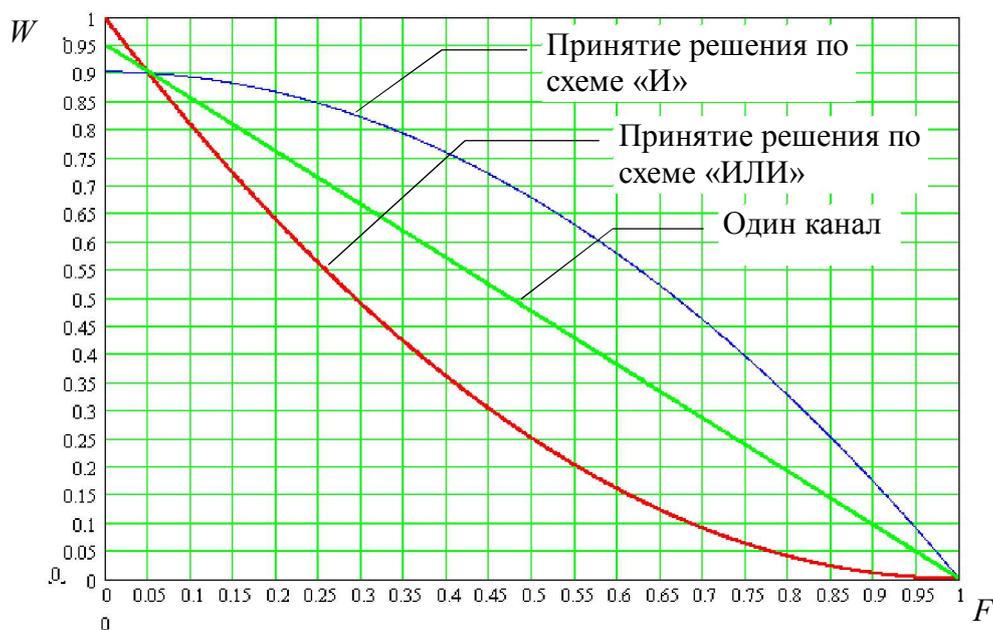


Рис. 1. Зависимости вероятности обнаружения W двухканальной системы и одного канала от вероятности ложной тревоги одного канала F при значении вероятности правильного обнаружения $D = 0,95$

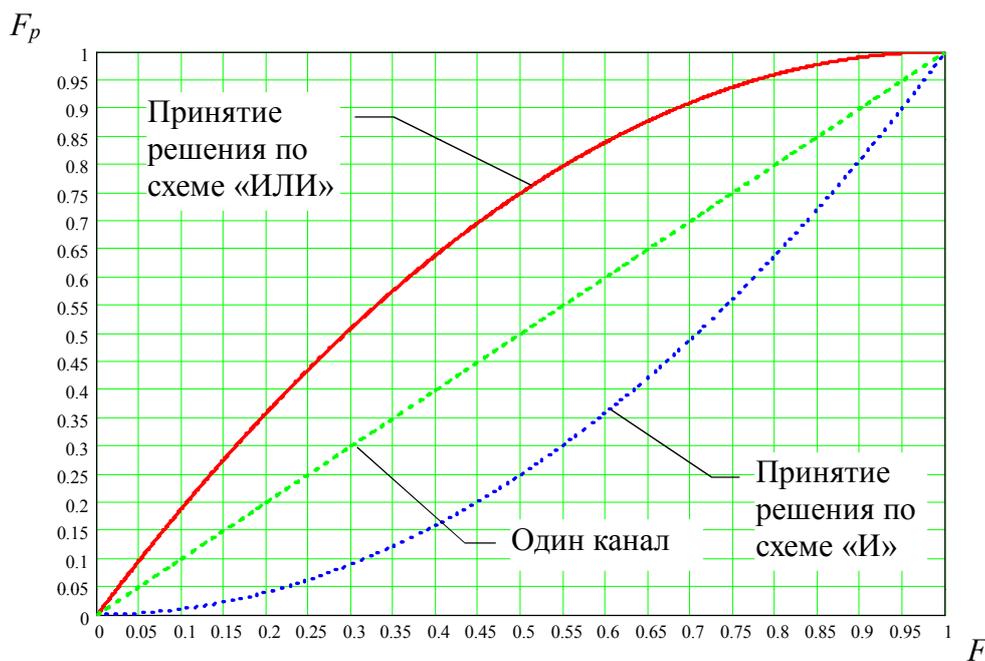


Рис. 2. Зависимости результирующей вероятности ложной тревоги F_p двухканальной системы от вероятности ложной тревоги одного канала F

На рис. 3, 4 приведены характеристики обнаружения трехканальной системы при одинаковых характеристиках каналов в зависимости от вероятности ложной тревоги отдельных каналов. Графики приведены для различных значений порога обнаружения, которые соответствуют принятию решения об обнаружении по схеме «И», принятию решения по схеме «два из трех» и принятию решения по схеме «ИЛИ», а также характеристики одноканальной системы.

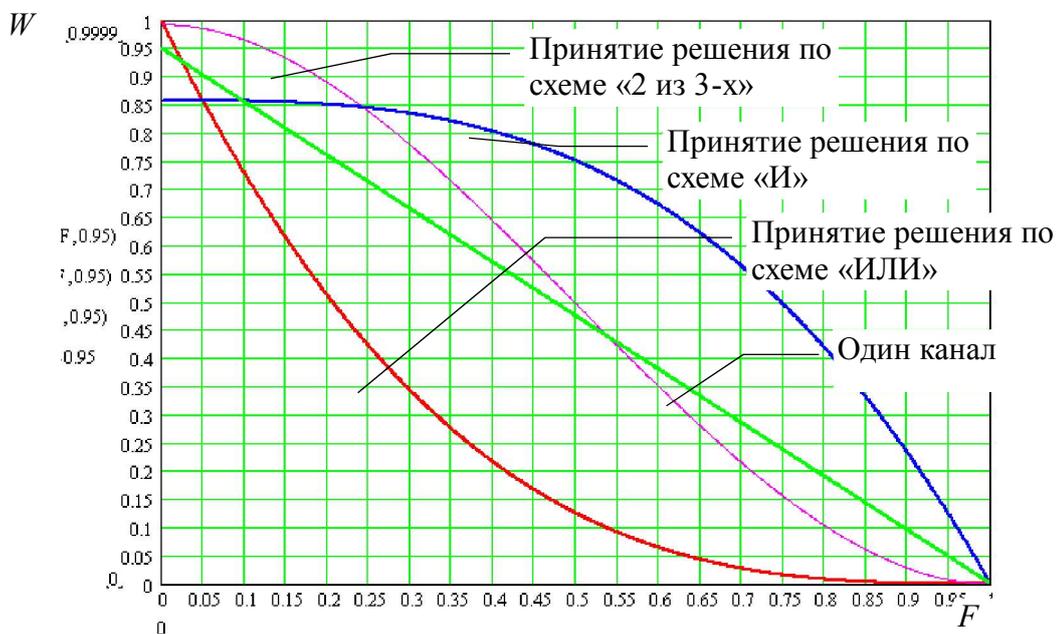


Рис. 3. Зависимости вероятности обнаружения W трехканальной системы и одного канала от вероятности ложной тревоги одного канала F при значении вероятности правильного обнаружения $D = 0,95$

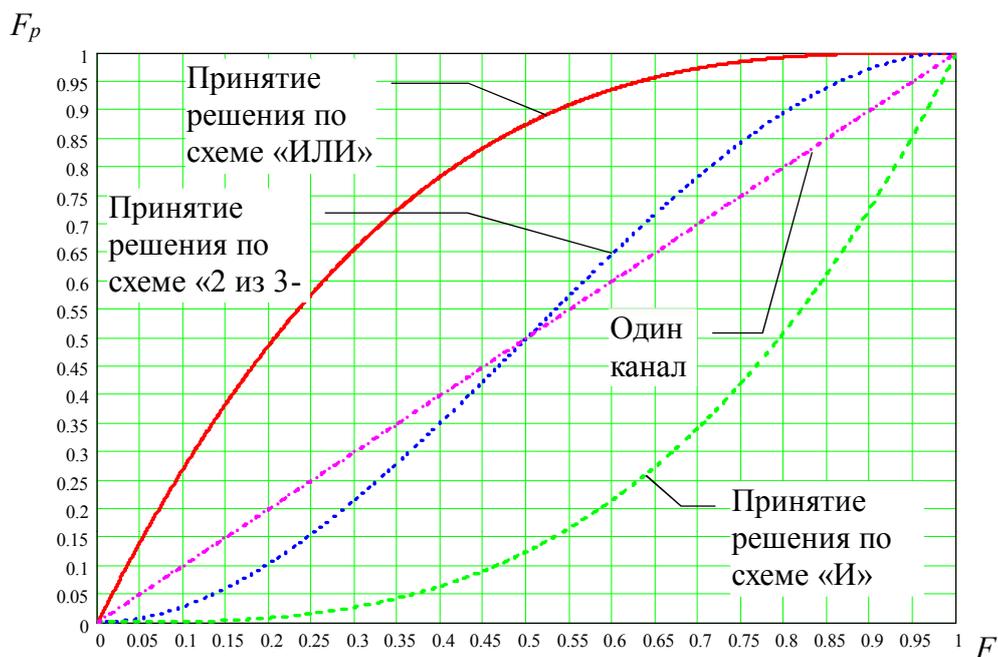


Рис. 4. Зависимости результирующей вероятности ложной тревоги F_p трехканальной системы от вероятности ложной тревоги одного канала F

При разработке комплексированных локационных систем интерес представляет случай, когда каналы системы имеют различные характеристики обнаружения, например, различные вероятности ложной тревоги. На рис. 5 приведены результаты расчетов вероятности правильного обнаружения D , ложной тревоги F и результирующей характеристики вероятности обнаружения W для трехканальной системы в зависимости от величины порога обнаружения. По эти графикам можно подобрать необходимые характеристики системы (и характеристики отдельных каналов), удовлетворяющие требованиям при поставленной задаче.

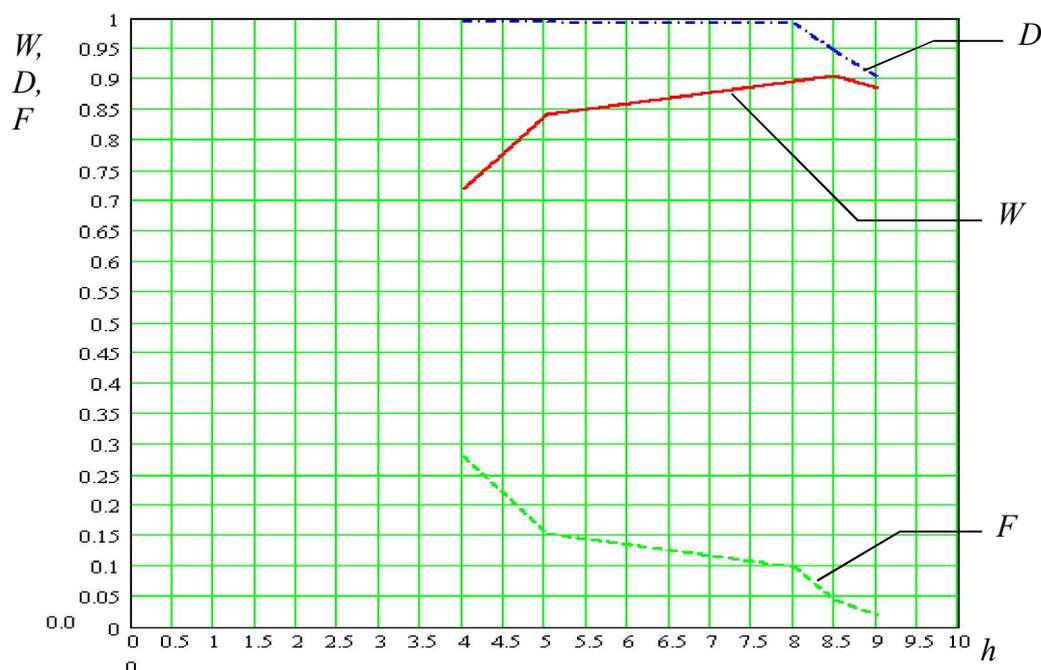


Рис. 5. Зависимости вероятности правильного обнаружения D , ложной тревоги F и результирующей характеристики вероятности обнаружения W для трехканальной системы от величины порога обнаружения h при характеристиках каналов: $D=D=D_3=0.95$; $F_1=0.2$; $F_2=0.3$; $F_3=0.1$

Разработанная программа позволяет оценить выигрыш за счет применения комплексирования каналов локационной системы с различными характеристиками и исследовать характеристики системы в целом в зависимости от характеристик отдельных каналов, а также от порога обнаружения. Характеристики могут быть рассчитаны для различных условий применения комплексированной системы и для различных требований, накладываемых на систему, что позволяет подобрать оптимальные характеристики каналов и порога обнаружения для конкретной задачи.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гуткин Л.С. Проектирование радиосистем и радиоустройств. – М.: Радио и связь, 1986. – 288 с.
2. Сосулин Ю.Г. Теоретические основы радиолокации и радионавигации. – М.: Радио и связь, 1992. – 304 с.
3. Орлова М.В. Обработка сигналов в комплексированных системах ближней локации: учеб. пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2007. – 76 с.

© М. В. Орлова, 2017

ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ: ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ МЕТОДЫ РАСПОЗНАВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Сергей Александрович Кравец

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, аспирант, тел. (383)346-26-23, e-mail: santoserg@yandex.ru

Владимир Николаевич Легкий

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, доктор технических наук, доцент, зав. кафедрой автономных информационных и управляющих систем, тел. (383)346-26-23, e-mail: sniios@mail.ru

Владимир Александрович Шумейко

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, старший преподаватель кафедры автономных информационных и управляющих систем, тел. (383)346-26-23, e-mail: shumeyko@corp.nstu.ru

Рассмотрены пути решения задачи обнаружения объекта интереса. Описана концепция сверточных нейронных сетей, которые предполагается использовать в ИК системах летательных аппаратов. Данный метод основан на алгоритмах машинного обучения, особенность которого заключается в выделении признаков из изображения.

Ключевые слова: методы распознавания, сверточные нейронные сети, ИК системы.

OPTOELECTRONIC SYSTEMS: METHODS OF OBJECT RECOGNITION

Sergey A. Kravets

Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia, Novosibirsk, 20 K. Marksa Prospekt, graduate student, tel. (383)346-26-23, e-mail: santoserg@yandex.ru

Vladimir N. Legkiy

Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia, Novosibirsk, 20 K. Marksa Prospekt, D. Sc., associate Professor, Head of the Department Autonomous Information and Control Systems, tel. (383)346-26-23, e-mail: sniios@mail.ru

Vladimir A. Shumeyko

Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia, Novosibirsk, 20 K. Marksa Prospekt, Senior Lecturer of the Department Autonomous Information and Control Systems, tel. (383)346-26-23, e-mail: sniios@mail.ru

This article describes the main principles for the solution of task of detecting object. The concept of convolutional neural networks to be used in the IR systems of aircraft. This method is based on machine learning algorithms, a feature of which consists in the allocation of signs of images.

Key words: methods of object recognition, convolutional neural network, IR systems.

Известно несколько подходов к классификации объектов из за данной группы, основанных на разных методах обработки изображений.

Корреляционный метод реализует линейный пространственный фильтр. В основе данного метода лежит выбор некоторого участка изображения в качестве эталонного, который представляет собой объект анализа. При перемещении данного эталона по изображению вычисляется матрица корреляции. Вычислительная сложность данного метода растет экспоненциально от количества степеней свободы объекта анализа, что и представляет основную сложность. Также, из-за непосредственного использования полутоновых значений, данный метод может быть неустойчивым при сильном изменении интенсивности изображения.

Можно отметить методы, использующие извлеченные из изображения признаки. SURF [1] (Speeded up Robust Features) представляет собой дескриптор, который проводит поиск особых точек и строит их описание, инвариантное к изменению масштаба и вращению. Особые точки определяются с помощью матрицы Гессе, что и обеспечивает инвариантность относительно поворота. Для инвариантности при изменении масштаба используются фильтры различных размеров. HOG (Histogram of Oriented Gradients) [2] алгоритм основан на разделении изображения на заданное число областей и подсчете в них преобладающего направления градиентов. Для использования указанных дескрипторов в задаче классификации возможно использование методов машинного обучения. Например, метода опорных векторов (SVM – support vector machines) [3]. Принцип работы SVM состоит в линейном разделении гиперплоскостью векторов признаков в многомерном пространстве. Оптимальная разделяющая гиперплоскость – плоскость, расстояние от которой до ближайшего вектора максимально с любой стороны. Ближайшие к плоскости векторы, на которых она построена, являются опорными векторами.

Из методов машинного обучения в качестве перспективного является применение архитектуры сверточной нейронной сети. Сверточная нейронная сеть (англ. convolutional neural network, CNN) — специальная архитектура компьютерных нейронных сетей, предложенная Яном Ле Куном для распознавания изображений (рис. 1). Данный метод достаточно устойчиво решает задачу классификации объектов на изображении с искажениями вида: поворот, сдвиг, масштабирование и деформация [4].

Для дискретного двумерного варианта, например для изображения, свертка выглядит следующим образом:

$$x_{ij} = \sum_{a=0}^{m-1} \sum_{b=0}^{m-1} w_{ab} y_{(i+a)(j+b)} \quad x_{ij} = \sum_{a=0}^{m-1} \sum_{b=0}^{m-1} w_{ab} y_{(i+a)(j+b)}, \quad (1)$$

где i, j - координаты пикселя "сворачиваемого" изображения, a, b -координаты пикселя в "сворачивающем" изображении.

Данная формула фактически отображает обычную фильтрацию изображения, где w_{ab} ω_{ab} - фильтр. В сверточном слое таких фильтров находится несколько. Если входное изображение полноцветное, то каждый из RGB слоев сво-

рачивается с фильтром, а затем результат суммируется. Очевидно, что суммирование карт признаков (то есть выходов с предыдущих слоев) так же используется для более глубоких сверточных слоев.

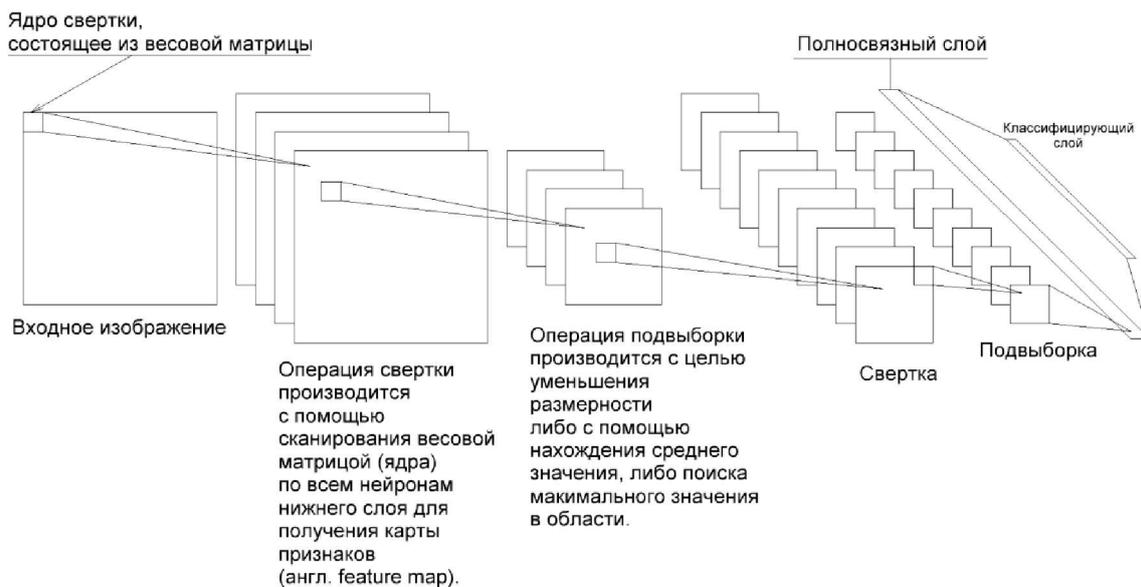


Рис. 1. Архитектура одной из первых версий сверточной нейронной сети

Слой субдискретизации (пулинг, англ. Pooling) предназначен для сокращения размерности изображений, которые получают после слоя фильтрации. Пулинг - это операция, при которой из 4 пикселей выбирается максимальный (рис. 2) или же выполняется процедура усреднения. Помимо сокращения размерности, эта операция призвана как бы "выбирать" самые заметные, самые максимальные части карты признаков. После пулинг слоя к карте признаков применяется некоторая нелинейная функция, например такие функции, как \tanh , softmax или ReLU .

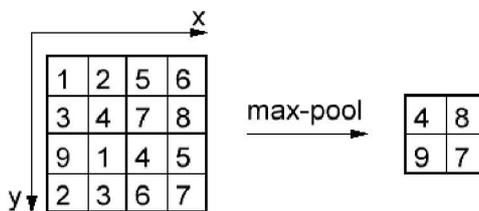


Рис. 2. Принцип вычислений в max-pool слое

Полносвязный слой идет после комбинации сверточных и пулинг слоев. Полносвязный слой это обычная нейронная сеть прямого распространения. Назначение полносвязного слоя - классификация. Дело в том, что когда изображение проходит через комбинацию сверточных и пулинг слоев, то в результате этого похождения происходит выбор определенных признаков. Полносвязный слой предназначен классифицировать эти отобранные признаки. Но, по сути,

вместо полносвязного слоя можно поставить любой классификатор, такой как SVM или регрессионный.

Для данной архитектуры, которую иногда относят к методам глубокого обучения (англ. Deep Learning), характерна такая особенность, как требование большого набора данных для настройки весовых коэффициентов.

Процесс настройки коэффициентов проводится по алгоритму обратного распространения ошибки, который на текущий момент является одним из распространенных методов обучения нейронной сети. Данная методика заключается в вычислении сигнала прямого распространения сети, последующего определения функции потерь, вычисления сигнала обратного распространения для определения тех весовых значений, которые оказали большее влияние на полученную функцию потерь. После выполнения данных операций происходит обновление весовых коэффициентов нейронной сети. Для определения функции потерь обычно используют выражение среднеквадратичной ошибки (СКО):

$$E = \frac{1}{2}(t - o(w))^2 \quad (2)$$

В формуле (2) E – это ошибка распознавания для текущего примера, t – это желаемое значение отклика системы, $o(w)$ – выходное значение сети. В итоге сама задача настройки весовых коэффициентов сводится к процессу минимизации значения ошибки распознавания. Весовые коэффициенты нейронной сети обновляются по следующему правилу:

$$w_{new} = w_i - \eta \frac{dE}{dw} \quad (3)$$

В формуле (3) w_{new} – новое значение весового коэффициента, w_i – начальное значение весового коэффициента, η – коэффициент скорости обучения.

Пример объекта показан на рис. 3. На рис. 4 приведен пример архитектуры нейронной сети, на рис. 5–7 показан пример отклика в сверточных слоях в результате процесса обработки изображения и принятия решения.

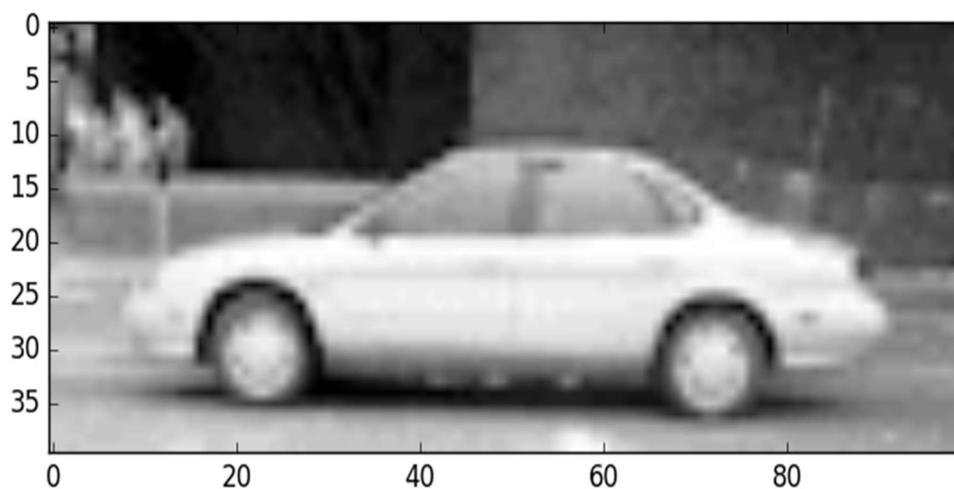


Рис. 3. Пример объекта, используемого для демонстрации процесса вычисления в сверточных слоях

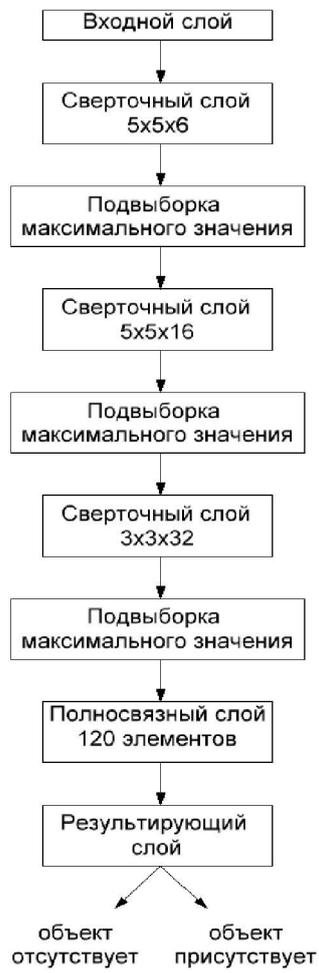


Рис. 4. Архитектура сверточной нейронной сети, выбранной для демонстрации процесса вычисления в сверточных слоях

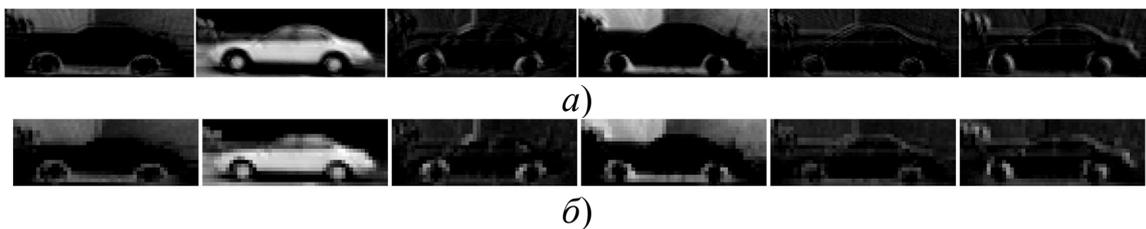


Рис. 5. Графическое представление процесса вычислений в первом слое: *a)* в сверточном слое; *б)* в max-pool слое

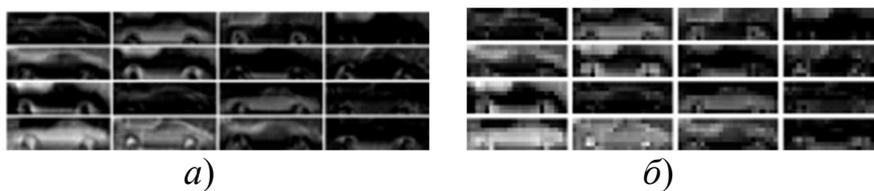


Рис. 6. Графическое представление процесса вычислений во втором слое: *a)* в сверточном слое; *б)* в max-pool слое

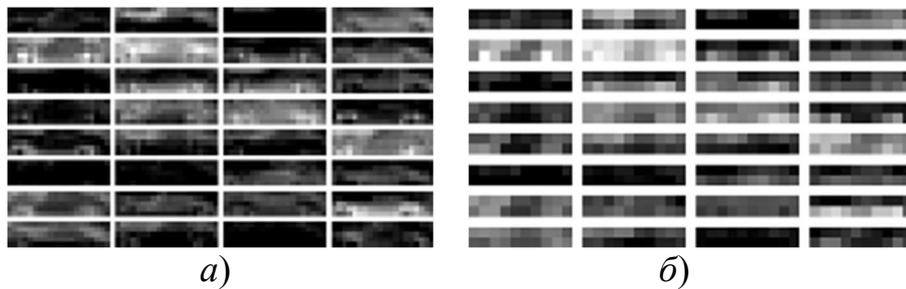


Рис. 7. Графическое представление процесса вычислений в третьем слое:
a) в сверточном слое; *б)* в max-pool слое

В работах по распознаванию в качестве объектов интереса для исследований используются данные с набором изображений лиц. Информация в данном типе набора данных представлена в виде RGB изображений, имеющих цветовую информацию. Однако, объекты интереса могут быть другими, как и информация, получаемая с камеры. Так, в качестве примера, ниже представлены изображения в ИК диапазоне 8-12 мкм, рис. 8. В качестве объектов интереса выбраны легковые автомобили. В качестве алгоритма распознавания заданных объектов применен max-margin алгоритм [5], который использует признаки, извлеченные с помощью нейронной сети, состоящей только из сверточных слоев.

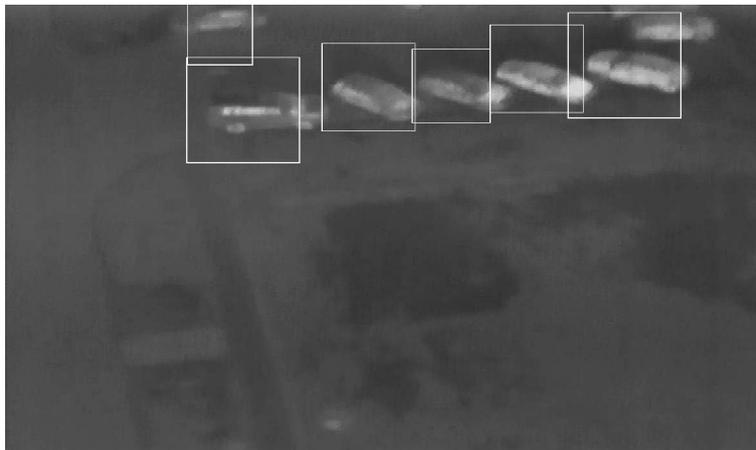


Рис. 8. Результат оценки возможности распознавания
и обнаружения нейронной сети

Для улучшения обнаружительной способности данной нейронной сети можно использовать следующие пути: увеличение размеров обучающей выборки, улучшение алгоритмов по обогащению обучающей выборки, усложнение архитектуры нейронной сети.

С учетом случайных условий получения изображения (с искажениями вида: поворот, сдвиг, масштабирование и деформация) при решении задач классификации объектов представляется целесообразным провести сравнение нейросетевых методов с методами распознавания, основанными на ориентации градиента

яркости [6], а далее разработать интегральный алгоритм обработки изображений на основе двух указанных подходов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. SURF: Speeded Up Robust Features / Herbert Bay, Tinne Tuytelaars, Luc Van Gool // Computer Vision and Image Understanding (CVIU). - 2008. - V. 110, №. 3. - P. 346-359.
2. Dalal N., Triggs B. Histograms of Oriented Gradients for Human Detection // Computer Vision and Pattern Recognition. - 2005. - V. 1. -P. 886–893.
3. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс. 2-е изд. - М.: Вильямс, 2006.
4. Gradient-Based Learning Applied to Document Recognition / Y. LeCun, L. Bottou, Y. Bengio, P. Haffner // Proc. of the IEEE. - 1998. – V.86, № 11. -P.2278-2324.
5. King Davis E. Max-margin object detection [Электронный ресурс] / Cornell University Library - Англ. –<https://arxiv.org/abs/1502.00046>.
6. Борисова И.В. Сегментация и автосопровождение объектов на сложном подстилающем фоне // Оптический журнал. - 2011. - т.78, №5. - С.27-30.

© С. А. Кравец, В. Н. Легкий, В. А. Шумейко, 2017

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВЗРЫВНОЙ ВОЛНЫ В ХИМИЧЕСКИ АКТИВНОЙ ПУЗЫРЬКОВОЙ СМЕСИ

Павел Аркадьевич Фомин

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат физико-математических наук, доцент; Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 15, тел. (383)361-07-31, e-mail: kaf.suit@ssga.ru

Теоретически рассмотрен процесс ударно-волнового инициирования взрыва химически активного газового пузырька. Показана возможность взрыва пузырька не только по причине его сжатия и нагрева в поле давления за фронтом падающей ударной волны, распространяющейся по жидкости, но и вследствие сжатия и нагрева газа за фронтом преломленной в пузырек ударной волны. Преломленная волна возникает при падении на поверхность предварительно сжатого в падающей ударной волне пузырька сферической ударной волны, излучаемой соседним взорвавшимся пузырьком. Показано, что для реализации данного процесса необходимо достаточно сильное сжатие пузырька в первичной ударной волне и небольшое расстояние между пузырьками. Процесс инициирования пузырьков преломленными ударными волнами может рассматриваться в качестве дополнительного механизма распространения волны пузырьковой детонации по жидкости с равномерно распределенными по пространству пузырьками.

По-видимому, инициирование пузырьков преломленными ударными волнами необходимо принимать во внимание и при моделировании взрывных процессов в химически активных пузырьковых смесях с высоким начальным давлением.

Ключевые слова: пузырьковая смесь, взрывная волна, преломленная волна, инициирование.

INVESTIGATION OF EXPLOSION WAVE PROPAGATION MECHANISM IN CHEMICALLY ACTIVE BUBBLE SYSTEMS

Pavel A. Fomin

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., Ph. D., associate Professor; Lavrent'ev Institute of Hydrodynamics SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 17 Akademik Lavrentiev Prospect, tel. (383)361-07-31, e-mail: kaf.suit@ssga.ru

The possibility of explosion of a compressed oxygen containing bubble in liquid cyclohexane due to interaction with a spherical shock wave emitted by a nearby-exploded bubble is theoretically considered.

Key words: bubble system, explosion wave, refractive wave, initiation.

Традиционно полагается [1], что взрыв пузырьков за фронтом волны пузырьковой детонации происходит вследствие их адиабатического сжатия (уменьшения их объема и, соответственно, нагрева) в поле окружающего пузырьки давления, представляющего набор стохастических мощных и коротких пульсаций,

которые, в свою очередь, являются суммой возмущений давления от вовлеченных в волну пузырьков. Однако подобный механизм распространения детонационной волны может быть дополнен и другим механизмом: иницированием химически активных пузырьков преломленными в газ ударными волнами. Преломленные волны возникают при падении на поверхность предварительно сжатых (но по каким-либо причинам не взорвавшихся) в падающей ударной волне пузырьков сферических ударных волн, излучаемых соседними взорвавшимися пузырьками.

Объяснение данного механизма состоит в следующем. Интенсивность преломленной из жидкости в газ ударной волны зависит от соотношения между величинами акустических сопротивлений газа и жидкости. Чем акустическое сопротивление газа выше, тем амплитуда преломленной в газ ударной волны больше. Напомним, что акустическое сопротивление сплошной среды равно произведению плотности среды на скорость звука в ней. Как правило, акустическое сопротивление жидкости превышает акустическое сопротивление газа в несколько тысяч раз. В силу малости акустического сопротивления газа в пузырьках, в волне пузырьковой детонации, при взаимодействии падающей (лидирующей) ударной волны с пузырьками амплитуды преломленных ударных волн пренебрежимо малы и совершенно недостаточны для иницирования химического превращения в газе. Поэтому преломленные волны в теоретическом рассмотрении взрывных процессов в химически активных пузырьковых смесях, как правило, не рассматриваются. Иное дело, когда пузырьки перед падением на них ударных волн достаточно сильно сжаты. Тогда разница в акустических сопротивлениях жидкости и газа в пузырьке будет не столь значительной. [Например, при адиабатическом сжатии пузырька в 4 раза акустическое сопротивление газа увеличивается почти в 150 раз, если его показатель адиабаты равен 1.4.] Поэтому амплитуда преломленной ударной волны (a , соответственно, температура газа за ней) может быть достаточна для иницирования взрыва газа в пузырьке. Таким образом, если в силу каких-либо причин часть пузырьков за фронтом падающей волны пузырьковой детонации сжалась, но не взорвалась, то на их поверхность будут падать ударные волны, вызванные взрывами соседних пузырьков. И не взорвавшиеся при сжатии в падающей ударной волне пузырьки будут иницироваться преломленными ударными волнами.

Принципиальная возможность взрыва предварительно сжатых пузырьков при преломлении ударных волн от взрыва соседних пузырьков экспериментально показана в [2]. Приведем теоретические оценки, подтверждающие данный механизм иницирования взрыва пузырьков.

Рассмотрим сценарий, представленный на рис. 1. По жидкости с находящимися внутри нее двумя пузырьками распространяется первичная ударная волна SW_L . Для обоих пузырьков начальное акустическое сопротивление газа на три порядка меньше акустического сопротивления жидкости. В результате взаимодействия первичной волны с поверхностью каждого из пузырьков внутрь газа будет распространяться преломленная волна. В силу малости акустического сопротивления газа, преломленными волнами можно пренебречь. Пусть, далее,

сжатие одного из пузырьков в поле давления первичной ударной волны приводит к взрыву, а сжатие другого – нет. В момент взрыва радиус пузырька равен R_{ign} , а давление P_{ign} . Взрыв пузырька приводит к излучению вторичной сферической ударной волны SW_b , начальная амплитуда которой близка к P_{ign} . Вторичная волна достигает поверхности не взорвавшегося пузырька, внутрь которого пойдет преломленная ударная волна SW_{ref} . Полагаем, что к этому моменту времени колебания пузырька, вызванные первичной ударной волной, уже затухли.

Динамику и взрыв пузырька будем описывать по модели, представленной в нашей работе [3]. Полагаем, что плоская первичная ударная волна имеет постоянный профиль с амплитудой 40 атм. Из расчетов следует, что $P_{ign} \approx 5 \cdot 10^3$ бар. Зависимость амплитуды вторичной волны P_{SSW} от расстояния будем описывать по формуле $P_{SSW} = P_{ign} (R_{ign}/L)$, где L – расстояние от центра взорвавшегося пузырька.

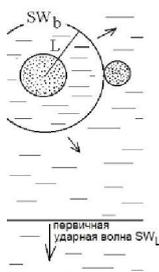


Рис. 1. Схема процесса инициирования взрыва предварительно сжатого пузырька преломленной ударной волной

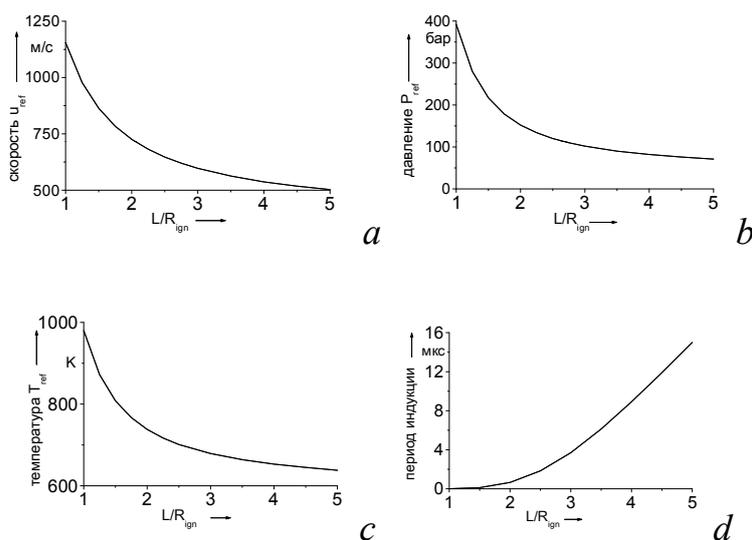


Рис. 2. Параметры за фронтом преломленной ударной волны

Полагая сжатие пузырька адиабатическим, можно рассчитать плотность и температуру газа в пузырьке (параметры перед фронтом преломленной волны в

газе), когда на его поверхность падает вторичная ударная волна. Получено, что температура газа равна 585 К.

Параметры преломленной ударной волны (скорость u_{ref} , давление P_{ref} , температуру T_{ref}) получим из расчета распада газодинамического разрыва на границе раздела газ-жидкость в одномерном приближении и соотношений на фронте ударной волны в газе. Давление и температура за фронтом волны позволяют рассчитать величину периода индукции τ .

Если величина периода индукции за фронтом преломленной волны τ меньше или порядка нескольких (скажем, одной – трех) микросекунд, то инициирование пузырька есть результат преломления вторичной ударной волны в газ. Инициирование пузырька происходит “мгновенно”, поскольку за время τ изменение объема пузырька (и, соответственно, давления и температуры газа в нем) вследствие его сжатия в поле давления вторичной ударной волны пренебрежимо мало. Вторичная ударная волна проходит при этом расстояние, сравнимое или даже не превышающее размер сжатого пузырька. “Мгновенность” взрыва свидетельствует о том, что инициирования пузырька вследствие его сжатия в поле давления вторичной ударной волны не происходит.

Результаты расчета параметров преломленной ударной волны представлены на рис. 3. Видно, что инициирование пузырька преломленной ударной волной вполне возможно. Это происходит в том случае, если пузырьки находятся достаточно близко друг к другу. Например, если $R_{ign}/L \leq 2$, то $\tau \leq 0.65$ мкс (“мгновенный” взрыв, рис. 3(d)).

По-видимому, инициирование пузырьков преломленными ударными волнами необходимо принимать во внимание и при моделировании взрывных процессов в химически активных пузырьковых смесях с высоким начальным давлением. Это связано с тем, что вследствие высокого начального давления в смеси акустическое сопротивление газа в пузырьках также велико, вследствие чего возможно инициирование взрыва пузырьков вследствие преломления в газ первичной ударной волны.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кедринский В.К. Гидродинамика взрыва: эксперимент и модели. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000. – 434с.
2. Mitropetros K.S., Fomin P.A., Hieronymus H. Modeling of detonation processes in chemically active bubble systems at normal and elevated initial pressures // Chemical Engineering Journal, 2005, Vol. 107, № 1-3, pp. 27-331.
3. Fomin P.A., Mitropetros K.S., Hieronymus H. Modeling of detonation processes in chemically active bubble systems at normal and elevated initial pressures // Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 2003, Vol. 16, № 4, pp. 323-331.

© П. А. Фомин, 2017

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМОЙ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ В ГОСУДАРСТВЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

Алёна Алексеевна Старикова

Управление Федеральной службы по техническому и экспортному контролю по Сибирскому федеральному округу, 630091, Россия, г. Новосибирск, ул. Красный пр., 41, старший государственный инспектор 6-го отдела, тел. (913)007-78-72, e-mail: starikova.alena.123@gmail.com

Диана Георгиевна Макарова

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, ассистент кафедры наносистем и оптоэлектроники, тел. (383)343-91-11, e-mail: Diana_ssga@mail.ru

Рассматривается процесс оценки эффективности управления системой защиты информации в государственных информационных системах. Оценка эффективности управления системой защиты основана на оценке вероятности своевременного сбора всей необходимой информации для принятия решения. Применение данного способа продемонстрировано на конкретной государственной информационной системе.

Ключевые слова: информация, защита информации, государственные информационные системы, оценка эффективности управления.

EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF MANAGING THE INFORMATION PROTECTION SYSTEM IN STATE INFORMATION SYSTEMS

Alyona A. Starikova

The office of the Federal service for technical and export control in the Siberian Federal district, 630091, Russia, Novosibirsk, 41 Krasny Prospect, high state inspector of the 6-th Department, tel. (913)007-78-72, e-mail: starikova.alena.123@gmail.com

Diana G. Makarova

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., Assistant of Nanosystems and Optical Devices Department, tel. (383)343-91-11, e-mail: Diana_ssga@mail.ru

The process of evaluating the effectiveness of managing the information security system in government information systems is considered. Evaluation of the effectiveness of protection system management is based on the assessment of the probability of timely collection of all necessary information for decision making. The application of this method is demonstrated on a specific state information system.

Key words: information, information protection, state information systems, assessment of management effectiveness.

На сегодняшний день в Российской Федерации приняты нормативные правовые акты, регламентирующие необходимость защиты информации, содержащейся в государственной информационной системе. Федеральный закон (далее – ФЗ) №149 от 27 июля 2006 г. «Об информации, информационных технологиях

и о защите информации» обязывает владельца информации и оператора информационной системы, обеспечивать защиту информации от неправомерного доступа, уничтожения, модифицирования, блокирования, копирования, предоставления, распространения и иных неправомерных действий (ст.14 п.9) путем принятия правовых, организационных и технических мер, направленных на соблюдение конфиденциальности информации ограниченного доступа и реализацию права на доступ к общедоступной информации (ст. 16). В соответствии с ФЗ №149 утверждены требования о защите информации Приказом ФСТЭК России от 11 февраля 2013 г. №17, которые являются обязательными к исполнению.

Обеспечение защиты информации, содержащейся в государственных информационных системах (далее – ГИС), заключается в проведении следующих мероприятий:

- формирование требований к защите информации, содержащейся в ГИС;
- разработка системы защиты информации (далее – СЗИ) в ГИС;
- внедрение СЗИ в ГИС;
- аттестация ГИС по требованиям защиты информации и ввод ее в действие;
- обеспечение защиты информации в ходе эксплуатации аттестованной ГИС;
- обеспечение защиты информации при выводе из эксплуатации аттестованной ГИС или после принятия решения об окончании обработки информации.

При этом если формирование требований к защите информации, разработка и внедрение СЗИ, аттестация и ввод в действие ГИС, обеспечение защиты информации при выводе из эксплуатации ГИС, являются краткосрочными процессами относительно всего срока эксплуатации ГИС, то обеспечение защиты информации в ходе эксплуатации ГИС является долгосрочным процессом, осуществляемым оператором системы.

В ходе эксплуатации ГИС перед оператором встают следующие задачи:

- управление СЗИ в ГИС;
- выявление инцидентов и реагирование на них;
- управление конфигурацией ГИС и ее СЗИ;
- контроль за обеспечением уровня защищенности информации, содержащейся в ГИС.

Для контроля за обеспечением защищенности информации, содержащейся в ГИС, на этапе аттестации ГИС осуществляется оценка эффективности СЗИ и на этапе обеспечения защиты информации в ходе эксплуатации ГИС – оценка эффективности управления СЗИ в ГИС.

Таким образом, под оценкой эффективности управления СЗИ в ГИС можно понимать оценку действий оператора, управляющего системой защиты информации в ходе эксплуатации ГИС.

Существует большое количество способов оценки эффективности управления, в основе которых оценка квалификации лиц, принимающих решение, оценка вероятности правильного принятия решения и другие. Так как процесс управления начинается со сбора необходимой информации, то вероятность свое-

временного сбора всей необходимой информации для принятия решения является одним из основных показателей эффективности управления системой защиты информации.

В данной статье предложен способ оценки эффективности управления системой защиты в ГИС, основанный на оценке вероятности своевременного сбора всей необходимой информации для принятия решения.

Оценка вероятности своевременного сбора всей необходимой информации для принятия решения определяется по формуле:

$$P_{\text{св.инф}} = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M M_{\text{св.инф},j}, j = \overline{1, M},$$

где M – количество ситуаций;

$$M_{\text{св.инф},j} = \begin{cases} 1, & \text{если } t_{uj} \leq t_{\text{доп.и}} \\ 0, & \text{если } t_{uj} > t_{\text{доп.и}} \end{cases}$$

t_{uj} – текущее значение времени, затраченное на сбор всей необходимой информации для принятия решения в j -й ситуации; $t_{\text{доп.и}}$ – допустимое время на сбор информации.

Управление системой защиты информации осуществляется эффективно при

$$P_{\text{св.инф}} \geq 0,5,$$

иначе управление системой защиты информации – неэффективно.

Для демонстрации применения способа оценки эффективности управления системой защиты в ГИС, основанного на оценке вероятности своевременного сбора всей необходимой информации для принятия решения, рассмотрена ГИС, состоящая из пяти рабочих станций, сервера базы данных, сервера приложений и веб-сервера, на котором расположен веб-сайт. Рабочие станции, сервер базы данных и сервер приложений объединены в локальную сеть при помощи коммутатора, подключенного к веб-серверу. Веб-сервер имеет доступ к сети Интернет посредством маршрутизатора.

На рабочих станциях в качестве операционной системы используется Windows 7 Professional, также на них установлен пакет офисных программ Microsoft Office 2013. В качестве серверной операционной системы используется операционная система Windows Server 2012 R2.

Для определения количества ситуаций (M) и времени, затраченного на сбор всей необходимой информации для принятия решения (t_{uj}), рассмотрен журнал инцидентов, в котором оператор фиксирует порядковый номер, время выявления, время устранения и краткое описание инцидента.

В табл. 1 приведены данные о произошедших инцидентах в рассматриваемой ГИС.

Согласно инструкции администратора безопасности в рассматриваемой ГИС допустимое время реагирования на инциденты (допустимое время на сбор информации $t_{\text{доп.и}}$) составляет 1 час с момента выявления инцидента.

Таблица 1

Выписка из журнала инцидентов

№ п.п	Время выявления	Время устранения	Краткое описание
1	13.01.2017 09:07	13.01.2017 09:30	Ввод неверного пароля администратора
2	16.01.2017 09:40	16.01.2017 09:57	Ввод нового пароля, не соответствующего требованиям безопасности
3	17.01.2017 10:02	17.01.2017 10:10	Отключение средства антивирусной защиты
4	17.01.2017 15:20	17.01.2017 15:32	Подключение незарегистрированного USB-накопителя
5	19.01.2017 13:34	19.01.2017 13:50	Доступ к папке с грифом выше грифа текущей сессии
6	23.01.2017 09:00	23.01.2017 12:15	Окончание срока действия лицензии средства антивирусной защиты

В табл. 2 приведены расчеты необходимые для оценки эффективности управления СЗИ в ГИС.

Таблица 2

Расчеты для оценки эффективности управления СЗИ в ГИС

№ п.п	t_{uj}	$t_{доп.и}$	$M_{св.инф.j}$	M	$P_{св.инф.}$	Вывод
1	23 мин.	1 ч.	1	6	$(1+1+1+1+1+0)/6=0,84$	Эффективно
2	17 мин.		1			
3	8 мин.		1			
4	12 мин.		1			
5	16 мин.		1			
6	3 ч. 15 мин.		0			

Как видно из таблицы 2 управление системой защиты информации в рассматриваемой государственной информационной системе осуществляется эффективно.

В ходе исследования было подсчитано количество ситуаций, на которые отреагировал оператор за время эксплуатации ГИС, определены время, затраченное на сбор всей необходимой информации, и допустимое время на сбор информации. По результатам оценки вероятности своевременного сбора всей необходимой информации для принятия решения был сделан вывод об эффективном управлении системой защиты информации в ГИС.

Применение способа оценки эффективности управления системой защиты информации в ГИС, основанного на оценке вероятности своевременного сбора всей необходимой информации для принятия решения, позволяет оператору контролировать процесс обеспечения защищенности информации в ходе эксплуатации государственной информационной системы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Евстратенко Е. С. Построение системы защиты информации государственной информационной системы с учетом управления рисками информационной безопасности [Текст] / Е. С. Евстратенко, В. В. Селифанов, А. А. Старикова // Научные исследования: от теории к практике: материалы VII Междунар. науч.-практ. конф. (Чебоксары, 13 март 2016 г.) / редкол.: О. Н. Широков [и др.]. – Чебоксары: ЦНС «Интерактив плюс», 2016. – № 1 (7).
2. Селифанов В.А. Способ оценки эффективности управления и устройство для его осуществления / В.А. Селифанов, В.В. Селифанов. Патент на изобретение RUS 2517409 27.05.2014.
3. Селифанов В.В. Испытания системы защиты информации государственной информационной системы // Вестник Науки и Творчества, 2016. – № 4 (4).
4. Селифанов В.В. Классификация автоматизированных систем // Science Time, 2016. – № 4 (28).
5. Селифанов В.В. Оценка эффективности системы защиты информации государственных информационных систем от несанкционированного доступа [Текст] // Интеграция науки, общества, производства и промышленности: сборник статей Международной научно-практической конференции, 2016. С. 109-113.

© А. А. Старикова, Д. Г. Макарова, 2017

СПОСОБ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ ИВ УСТРОЙСТВ

Валентин Валерьевич Селифанов

Управление Федеральной службы по техническому и экспортному контролю по Сибирскому федеральному округу, 630091, Россия, г. Новосибирск, ул. Красный пр., 41, начальник 6-го отдела, тел. (923)247-25-81, e-mail: sfo1@mail.ru

Диана Георгиевна Макарова

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, ассистент кафедры наносистем и оптоэлектроники, тел. (383)343-91-11, e-mail: Diana_ssga@mail.ru

Даниил Денисович Клипов

Новосибирский государственный университет экономики и управления, 630099, Россия, г. Новосибирск, ул. Каменская, 52/1, e-mail: kldanil28@gmail.com

Анастасия Андреевна Рябцева

Новосибирский государственный университет экономики и управления, 630099, Россия, г. Новосибирск, ул. Каменская, 52/1, e-mail: a.a.ryabceva@nsuem.ru

Объектом данного исследования является проблема обеспечения безопасности в интернете вещей (далее – IoT). В ходе ее изучения, на основе эталонной четырехуровневой модели IoT была разработана четырехуровневая модель системы защиты IoT, далее к ней был применен способ моделирования процессов управления техническими средствами. Результатом исследования стал способ моделирования процессов управления системой защиты информации сети IoT устройств.

Ключевые слова: информационная безопасность, интернет вещей, сеть, система защиты, моделирование, технологии безопасности.

METHOD OF MODELLING MANAGEMENT PROCESSES OF INFORMATION SECURITY SYSTEM INTERNET OF THINGS

Valentin V. Selifanov

The office of the Federal service for technical and export control in the Siberian Federal district, 630091, Russia, Novosibirsk, 41 Krasny Prospect, Chief of the 6-th Department, tel. (923) 247-25-81, e-mail: sfo1@mail.ru

Diana G. Makarova

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., Assistant of Nanosystems and Optical Devices Department, tel. (383)343-91-11, e-mail: Diana_ssga@mail.ru

Daniil D. Klipov

Novosibirsk State University of Economics and Management, 630099, Russia, Novosibirsk, 52/1 Kamenskaya St., e-mail: kldanil28@gmail.com

Anastasia A. Ryabceva

Novosibirsk State University of Economics and Management, 630099, Russia, Novosibirsk, 52/1 Kamenskaya St., e-mail: a.a.ryabceva@nsuem.ru

The object of this research is the problem of security on the Internet of things (IoT). During its research, a four-level model of the IoT protection system was developed on the basis of the standard four-level IoT model. A well-known method for modeling the management of technical means was applied to it. The result of the research was the method of modeling the management of the information security system of the IoT-devices.

Key words: information security, Internet of Things, IoT, network, security system, modelling, security technology.

Интернет вещей (Internet of Things, IoT) — концепция вычислительной сети физических предметов («вещей»), оснащённых встроенными технологиями для взаимодействия друг с другом или с внешней средой. Данная концепция подразумевает, что человек определяет цель, а не задаёт программу по достижению этой цели. Также возможен вариант, когда система сама анализирует данные и предугадывает желания человека.

В условиях широкого распространения Интернет вещей перед разработчиками встают новые задачи - им необходимо гарантировать достаточную безопасность IoT-систем, поскольку они манипулируют большим количеством конфиденциальных данных, должны быть защищены в соответствии с триадой ключевых принципов безопасности информации. В IoT-решениях уже было выявлено множество брешей безопасности, поэтому разработчикам необходимо уделять большое внимание встраиванию защиты в IoT-системы в процессе проектирования и реализации таких решений. Вследствие этого такая система должна отвечать следующим требованиям:

1. Предотвращение взломов и компрометации системы. На каждом уровне IoT-системы должны быть реализованы эффективные превентивные меры для противодействия злоумышленникам.

2. Поддержка непрерывного мониторинга. Даже в защищенных наилучшим образом системах остается множество уязвимостей. Поэтому разработчик должен дополнительно реализовать средства безопасности с непрерывным мониторингом и постоянным обновлением системы, чтобы защитить ее от новейших видов атак.

3. Обеспечение устойчивости. Наконец, если нарушение действительно произошло, необходимо минимизировать ущерб и обеспечить скорейшее восстановление системы.

Как эталон, была рассмотрена модель четырехуровневой системы [1]. Её компоненты, функционирующие на каждом из этих уровней, должны иметь надлежащие средства безопасности для защиты от разнообразных уязвимостей.

1. Уровень устройств/шлюзов: Защита от "мошеннического" сервера, который отправляет злонамеренные команды, или от хакера, который пытается прослушивать приватные данные датчиков, отправляемые устройствами.

2. Уровень сети/транспорта: Защита от "мошеннического" устройства, отсылающего ложные результаты измерений, которые могли бы повредить данные, сохраняемые в приложении.

3. Уровень поддержки услуг и приложений: защита от атак типа человек-посередине, подмены устройств.

4. Уровень приложений: Защита от некорректного использования данных или от манипулирования аналитическими процессами, которые выполняются на уровне приложений.

Каждый уровень имеет свои вопросы безопасности, которые необходимо решить. На уровне устройств требуется обеспечить идентификацию, аутентификацию и авторизацию устройств, а также конфиденциальность и контроль целостности данных. Уровень сети нуждается в установлении защищенного канала передачи данных. Кроме того, требуется обеспечение конфиденциальности данных об использовании сетевых соединений и защита целостности и конфиденциальности данных сигнализации, а также безопасность самих данных IoT-системы при их передаче. На уровне поддержки услуг и приложений производится инкапсуляция пакетов при их передаче, поэтому должны поддерживаться сервисы идентификации и аутентификации, а также функции шифрования и защиты целостности. На уровне приложения необходимо обеспечивать как общие требования к безопасности, так и специальные. К первым относятся: корректное решение задач аутентификации и авторизации как для самих приложений, так и для участников обмена, защита конфиденциальности и целостности данных, используемых приложениями, а также защита персональных данных.

Следует отметить, что наиболее важным этапом в жизненном цикле системы защиты информации (СЗИ) является эксплуатация. Это связано с тем, что IoT-устройства активно взаимодействуют с постоянно изменяющейся сетью Интернет. При этом, для того, чтобы система защиты информации могла своевременно адаптироваться к изменяющимся условиям, она должна включать в себя проработанную подсистему управления. По этой причине при создании модели СЗИ особое внимание было уделено подсистеме управления СЗИ.

Задачей, на решение которой было направлено исследование, является применение способа моделирования процессов управления [2] для моделирования процессов управления системой защиты информации сети IoT устройств.

Для решения поставленной задачи была разработана четырехуровневая модель системы защиты IoT устройств заключающаяся в следующем: IoT устройства при помощи управляющего устройства уровня устройств объединяются в группы, данные группы при помощи управляющего устройства уровня сети объединяются в отряды, отряды при помощи управляющего устройства уровня поддержки услуг и приложений объединяются в кластеры, кластеры управляются устройством уровня приложений. Каждому IoT устройству сопоставляется объект воздействия, с которым устройство взаимодействует, и информацию о котором оно обрабатывает.

Указанная модель включает в себя моделирование на всех уровнях четырехуровневой системы [1], а именно:

- предварительно последовательно моделируют формирование базы данных кластеров IoT устройств, объектов воздействия и условий обстановки на управляющем устройстве уровня приложений (УУ4);
- моделируют анализ имеющихся данных о кластерах IoT устройств, объектах воздействия и условиях обстановки на полноту путем их сравнения с требуемыми данными, необходимыми для решения стоящей задачи;
- моделируют формирование команды в виде управляющих сигналов на сбор данных о кластерах IoT устройств, объектах воздействия и условиях обстановки, а также её (команды) передачу по линиям связи на устройства управления поддержки услуг и приложений (УУ3), одновременно с моделированием передачи этой команды;
- моделируют передачу имеющихся данных об объектах воздействия, моделируют получение этой команды на УУ3;
- моделируют формирование базы данных своих кластеров IoT устройств, объектов воздействия и условий обстановки путем моделирования ввода в нее полученных от УУ4 об объектах воздействия и имеющихся данных о кластерах IoT устройств, объектах воздействия и условиях обстановки;
- моделируют анализ имеющихся данных о своих кластерах IoT устройств, объектах воздействия и условиях обстановки на полноту путем моделирования их сравнения с требуемыми данными, необходимыми для решения стоящей задачи;
- при необходимости моделируют формирование команды в виде управляющих сигналов на сбор данных о кластерах IoT устройств, объектах воздействия и условиях обстановки, а так же моделируют ее передачу по линиям связи на устройства управления уровня сети (УУ2);
- одновременно моделируют передачу имеющихся данных об объектах воздействия, а также то, что после выполнения операции моделирования доопределения данных об объектах воздействия и до начала выполнения операции моделирования идентификации объектов воздействия на УУ2 моделируют уточнение базы данных IoT устройств отряда, объектов воздействия и условий обстановки;
- моделируют передачу на УУ3 данных об IoT устройствах отряда, объектах воздействия и условиях обстановки;
- моделируют сбор данных о кластерах IoT устройств, объектах воздействия и условиях обстановки на УУ3;
- моделируют уточнение базы данных уровня приложений, а именно данных о кластерах IoT устройств, объектов воздействия и условий обстановки;
- моделируют сбор данных о кластерах IoT устройств, объектах воздействия и условиях обстановки на УУ4;
- моделируют уточнение базы данных УУ3;
- моделируют оценку возможностей кластеров IoT устройств по осуществлению воздействия на объекты;

- моделируют распределение проранжированных объектов воздействия между кластерами IoT устройств в соответствии с их возможностями;
- моделируют формирование задач кластерам IoT устройств для осуществления воздействия на выбранные объекты,
- моделируют передачу на устройства УУ3 кластерам IoT устройств в виде управляющих сигналов, содержащих данные об объектах, назначенных для осуществления воздействия;
- моделируют прием от УУ4 данных об объектах, назначенных для осуществления воздействия, на устройствах УУ3;
- моделируют ранжирование объектов воздействия;
- моделируют оценку возможностей кластеров IoT устройств по осуществлению воздействия на объекты;
- моделируют распределение проранжированных объектов воздействия между кластерами IoT устройств в соответствии с их возможностями;
- моделируют формирование заданий кластерам IoT устройств для осуществления воздействия на выбранные объекты;
- моделируют передачу на устройства УУ2 заданий отрядам IoT устройств в виде управляющих сигналов, содержащих данные об объектах, назначенных для осуществления воздействия;
- моделируют прием от УУ3 данных об объектах, назначенных для осуществления воздействия, на УУ2;
- моделируют анализ принятых данных на полноту путем их сравнения с ранее введенными в базу данных, моделируют при необходимости доопределение данных об объектах воздействия.

На уровне сети (устройстве управления второго уровня) моделируется:

- формирование на устройстве управления 2 (УУ2) уровня сети базы данных IoT устройств, объектов воздействия и условий обстановки;
- анализ данных о своих IoT устройствах, объектах воздействия и условиях обстановки на полноту;
- доопределение данных об объектах воздействия;
- идентификацию, классификацию и определение приоритетов объектов воздействия;
- формирование списка объектов воздействия в соответствии с полученными значениями их приоритетов;
- оценку эффективности осуществления воздействия на внесенные в список приоритетных объектов воздействия штатными средствами IoT устройств;
- формирование случайным образом списка IoT устройств, значения эффективности которых оказались достаточными для осуществления воздействия на объекты из сформированного списка;
- распределение объектов для осуществления воздействия между IoT устройствами путем последовательного попарного соотнесения объектов воздействия и IoT устройств из соответствующих сформированных списков;

- формирование целеуказания штатным средствам IoT устройств для осуществления воздействия на выбранные объекты;
- формирование команд управления в виде управляющих сигналов и передачу их IoT устройствам;
- канал связи.

Приведенный способ моделирования позволяет построить 4-х уровневую модель системы защиты информации IoT устройств для предварительной оценки эффективности защиты информации, так же оценке правильности выбранных мер и средств защиты.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ITUT Y.2060 (06/2012) Overview of the Internet of things [Электронный ресурс] <https://www.itu.int/rec/T-REC-Y.2060-201206-I>
2. Пат. 2449336 Российская Федерация, МПК G05B 17/00. Способ моделирования процессов четырехуровневого управления техническими средствами и система для его осуществления. / Акиньшина Г.Н., Богданов Ю.Н., Селифанов В.А.; патентообладатель ФГУ "ФГНИИЦ РЭБ ОЭСЗ" Минобороны России. – заявл. 09.06.2010; опубл. 27.04.2012, – 29 с.

© В. В. Селифанов, Д. Г. Макарова, Д. Д. Клипов, А. А. Рябцева, 2017

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ

Полина Александровна Звягинцева

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, старший преподаватель кафедры наносистем и оптотехники, тел. (383)343-91-11, e-mail: polina11-03@mail.ru

Ольга Александровна Крыжановская

Управление Федеральной службы по техническому и экспортному контролю по Сибирскому федеральному округу, 630091, Россия, г. Новосибирск, ул. Красный проспект, 41, главный специалист-эксперт, тел. (983)121-35-60, e-mail: krizanovskaya@ngs.ru.

Рассматривается процесс оценки эффективности средств защиты информации в соответствии с эксплуатационными и техническими показателями, установленными ФСТЭК России, способом, позволяющим смоделировать значения части параметров средства защиты, которые невозможно измерить физически.

Ключевые слова: информация, защита информации, средства защиты информации, оценка эффективности, оценка эффективности управления.

ASSESSMENT OF EFFECTIVENESS OF INFORMATION PROTECTION FACILITIES

Polina A. Zviagintcheva

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., Senior lecturer, Department of Nanosystems and Optics Engineering, tel. (383)343-91-11, e-mail: polina11-03@mail.ru

Olga A. Kryzhanovskaya

The office of the Federal service for technical and export control in the Siberian Federal district, 630091, Russia, Novosibirsk, 41 Krasny Prospect, Chief specialist-expert, tel. (983)121-35-60, e-mail: krizanovskaya@ngs.ru

The process of assessing the effectiveness of information protection tools in accordance with operational and technical indicators established by FSTEC of Russia is considered, in a way that allows modeling the values of some of the parameters of the protective equipment that can not be measured physically.

Key words: information, information security, information protection tools, evaluation of effectiveness, evaluation of management effectiveness.

Оценка эффективности средств защиты информации представляет собой непрерывный во времени процесс, и проводить её анализ имеет смысл только в динамике. На настоящий момент оценка эффективности средств защиты информации осуществляется на основе эксплуатационных и технических показателей.

Эксплуатационные показатели, изложены в Приказах ФСТЭК России об утверждении требований безопасности к информации, содержащейся в информационных системах различного назначения: государственных, для обработки персональных данных, для управления производственными технологическими процессами.

Технические показатели отражены в Профилях защиты для соответствующих видов средств защиты информации.

Профиль защиты – это методический документ, представляющий собой совокупность задач защиты, функциональных требований, требований адекватности и их обоснование.

В 2012 году ФСТЭК России были выпущены первые отечественные профили защиты, они предназначены для средств обнаружения вторжений и средств антивирусной защиты. Затем были разработаны профили защиты для средств контроля подключения/отчуждения съёмных носителей, средств доверенной загрузки и операционных систем.

Требования безопасности к межсетевым экранам содержались в Руководящем документе и были дифференцированы для пяти классов защищённости. Согласно тенденции совершенствования требований оценки механизмов защиты, в 2016 году были утверждены профили защиты для межсетевых экранов. Обновлённый набор требований безопасности предназначен для пяти типов МЭ: уровня сети, уровня логических границ, уровня узла, уровня веб-сервера, уровня промышленной сети.

Межсетевые экраны составляют 25 % от общего числа сертифицированных средств защиты информации в Российской Федерации, таким образом, обновление устаревающих требований безопасности к ним произошло неслучайно. В соответствии с ГОСТ Р ИСО/МЭК 15408 ранее действующие показатели защищённости дополнены и изложены как требования доверия и функциональные требования к безопасности объекта оценки. Компоненты доверия к безопасности к рассматриваемым МЭ соответствуют оценочному уровню доверия ОУДЗ, дополненного компонентами классов: ADV, ALC, AVA, AMA».

В устаревших требованиях были предусмотрены лишь немногие компоненты доверия: «Тестирование», «Правила по безопасной настройке», «Полное независимое тестирование», а также частичное отражение имели четыре иных компонента из ныне предусмотренных.

Функциональные требования безопасности содержат двадцать два компонента и принадлежат семействам: FAU, FIA, FDP, FMT, FTP, FRU.

В устаревших требованиях к рассматриваемым МЭ полностью отсутствуют компоненты семейства «Идентификация и аутентификация». Отсутствуют требования к режиму выполнения функций безопасности; просмотру и настройке аудита. Требования к фильтрации данных, тестированию и восстановлению не детализированы и предъявляются в меньшем объёме.

Эффективность функционирования средств защиты информации главным образом достигается квалифицированным и результативным управлением, следовательно, оценивая эффективность средств защиты информации в целом, целесообразно оценивать эффективность управления ими. На сегодняшний день существует множество способов оценки эффективности управления, в основе которых лежат оценка вероятности своевременного сбора всей необходимой информации для принятия решений, оценка квалификации персонала, принимающего решения и другие.

Однако, для решения данной задачи также подходит способ, позволяющий смоделировать значения части параметров средства защиты, которые невозможно измерить физически.

При этом достаточной мерой оценки эффективности управления, является, как минимум, соответствие ее частных показателей оговоренным требованиям, тогда уровень эффективности управления при выполнении всех без исключения норм принимается за достаточный уровень эффективности.

Оценка эффективности осуществляется в реальном масштабе времени. Исходными данными являются: частные показатели эффективности управления, нормативные значения, соответствующие каждому частному техническому и эксплуатационному показателю эффективности управления, сведения, полученные в процессе опроса экспертов в данной области знаний.

В соответствии с выбранной стратегией оценки эффективности управления моделируют процессы управления средством защиты, подсчитывают статистические характеристики этих процессов управления, исходные данные оценивают по программе оценки эффективности управления, в процессе подсчёта обеспечивается свертка частных показателей эффективности управления, соответствующих результатам анализа измеряемых параметров, далее анализируют, отображают и документируют результаты оценки. В результате получается обобщенный показатель эффективности управления.

Таким образом достигается расширение функциональных возможностей системы защиты информации путём повышения точности оценки эффективности управления средствами защиты информации с помощью обеспечения моделирования значений части параметров, которые невозможно измерить физически.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Евстратенко Е. С. Построение системы защиты информации государственной информационной системы с учетом политик информационной безопасности, разработанных в соответствии с ГОСТ Р ИСО/МЭК 27001 [Текст] / Е. С. Евстратенко, В. В. Селифанов, У. В. Таратынова // Научные исследования: от теории к практике: материалы VII Междунар. науч. -практ. конф. (Чебоксары, 13 март 2016 г.) / редкол.: О. Н. Широков [и др.]. – Чебоксары: ЦНС «Интерактив плюс», 2016. – № 1 (7).

2. Евстратенко Е. С. Построение системы защиты информации государственной информационной системы с учетом управления рисками информационной безопасности [Текст] / Е. С. Евстратенко, В. В. Селифанов, А. А. Старикова // Научные исследования: от теории к практике: материалы VII Междунар. науч. -практ. конф. (Чебоксары, 13 март 2016 г.) / редкол.: О. Н. Широков [и др.]. – Чебоксары: ЦНС «Интерактив плюс», 2016. – № 1 (7).

3. Селифанов В.В. Испытания системы защиты информации государственной информационной системы // Вестник Науки и Творчества, 2016. – № 4 (4).

4. Селифанов В.В. Классификация автоматизированных систем // Science Time, 2016. – № 4 (28).

5. Селифанов В.В. Оценка эффективности системы защиты информации государственных информационных систем от несанкционированного доступа [Текст] // Интеграция науки, общества, производства и промышленности: сборник статей Международной научно-практической конференции, 2016. С. 109-113.

© П. А. Звягинцева, О. А. Крыжановская, 2017

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ АКТУАЛЬНЫХ УГРОЗ БЕЗОПАСНОСТИ ИНФОРМАЦИИ В ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ С ПРИМЕНЕНИЕМ БАНКА ДАННЫХ УГРОЗ ФСТЭК РОССИИ

Валентин Валерьевич Селифанов

Управление Федеральной службы по техническому и экспортному контролю по Сибирскому федеральному округу, 630091, Россия, г. Ново сибирск, ул. Красный пр., 41, начальник 6-го отдела, тел. (923)247-25-81, e-mail: sfo1@mail.ru

Полина Александровна Звягинцева

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новоси-бирск, ул. Плахотного, 10, старший преподаватель кафедры наносистем и оптотехники, тел. (383)343-91-11, e-mail: polina11-03@mail.ru

Яна Викторовна Юракова

Новосибирский государственный университет экономики и управления, 630099, Россия, г. Но-восибирск, ул. Каменская, 52/1, студентка 4-го курса, тел. (906)195-59-91, e-mail: yana.yurackova@yandex.ru

Ирина Сергеевна Слонкина

Новосибирский государственный университет экономики и управления, 630099, Россия, г. Но-восибирск, ул. Каменская, 52/1, студентка 4-го курса, тел. (953) 776-80-79, e-mail: otrada.nsk@gmail.com

В данной статье описана проблема построения прямых связей между уязвимостями и угрозами безопасности информации. Авторами разработан алгоритм, и создана программная реализация, позволяющая решить проблему, значительно снизив трудозатраты, тем самым получив выигрыш по времени, и сократить количество ошибок связанных с человеческим фактором. Заявленная теоретическая польза была подтверждена посредством тестирования, результаты которого приведе ны в статье.

Ключевые слова: информационная система, безопасность информации банк данных угроз, модель угроз, угроза, уязвимость, информационная безопасность, актуальность угроз, базовая метрика оценки уязвимостей, CVSS.

APPLICATION OF METHODS OF AUTOMAT ION IN DETERMINING THE RELEVANT THREATS TO THE SECURITY OF INFORMATION IN INFORMATION SYSTEMS USING THE DATA BANK OF THE THREATS OF THE FSTEC OF RUSSIA

Valentin V. Selifanov

The office of the Federal service for technical and export control in the Siberian Federal district, 630091, Russia, Novosibirsk, 41 Krasny Prospect, Chief of the 6-th Department, tel. (923) 247-25-81, e-mail: sfo1@mail.ru

Polina A. Zviagintcheva

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., Senior lecturer, Department of Nanosystems and Optics Engineering, tel. (383)343-91-11, e-mail: polina11-03@mail.ru

Yana V. Yurakova

Novosibirsk State University of Economics and Management, 630099, Russia, Novosibirsk, 52/1 Kamenskaya St., tel. (906)195-59-91, e-mail: yana.yurackova@yandex.ru

Irina S. Slonkina

Novosibirsk State University of Economics and Management, 630099, Russia, Novosibirsk, 52/1 Kamenskaya St., tel. (953)776-80-79, e-mail: otrada.nsk@gmail.com

This article describes the problem of constructing direct links between vulnerabilities and threats to information security. The authors have developed the algorithm and developed a software implementation to solve the problem, significantly reducing labor costs, thereby gaining a win on time, and to reduce the number of errors related to human factor. The stated theoretical use has been confirmed by testing, the results of which are presented in the article.

Key words: information system, information security, the data bank of the threats, the threat model, the threat, the vulnerability, information protection, the relevance of threats, the base metric vulnerability assessment, CVSS.

Одним из ключевых этапов проектирования системы защиты на предприятии является разработка модели угроз безопасности информации. Адекватные модели угроз информационной безопасности позволяют выявить существующие угрозы, разработать эффективные контрмеры, повысив тем самым уровень ИБ, и оптимизировать затраты на защиту.

В Российском Законодательстве существует ряд методических документов, содержащих рекомендации по разработке модели угроз безопасности информации для информационных систем различного назначения, в частности:

– Приказ ФСТЭК России № 17 «Об утверждении требований о защите информации, не составляющей государственную тайну, содержащейся в государственных информационных системах» [1];

– «Базовая модель угроз безопасности информации в ключевых системах информационной инфраструктуры» [2];

– «Базовая модель угроз безопасности персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных» [3];

– «Методические рекомендации по разработке нормативных правовых актов, определяющих угрозы безопасности персональных данных, актуальные при обработке персональных данных в информационных системах персональных данных, эксплуатируемых при осуществлении соответствующих видов деятельности» [4].

Изучив нормативно-правовые и методические документы было выявлено, что при выявлении актуальных угроз в различных ИС необходимо учитывать следующие характеристики: источник угрозы, уязвимости, способствующие ее возникновению, способ реализации угрозы, последствия деструктивного воздействия.

Такая форма представления сведений об угрозе используется в «Банке данных угроз безопасности информации» (далее – БДУ), разработанном ФСТЭК России и опубликованном в форме электронного ресурса (URL:

<http://bdu.fstec.ru>). Он содержит сведения об основных угрозах и уязвимостях, характерных, в первую очередь, для государственных ИС и автоматизированных систем управления производственными и технологическими процессами критически важных объектов.

Для определения актуальных угроз нужно установить корректные взаимосвязи между параметрами, характеризующими угрозу.

В описании каждой угрозы в БДУ содержатся сведения о типе нарушителя и его потенциале, способе реализации и возможных последствиях, что позволяет построить модель нарушителя и установить взаимосвязи между перечисленными параметрами угрозы. Наиболее сложной выглядит задача включения в характеристику (описание) угроз информации об уязвимостях ИС. При работе с БДУ возникает ряд проблем:

- каталог уязвимостей и каталог угроз представляются обособлено;
- большое количество информации требующей сопоставления вручную (каталог уязвимостей содержит в себе сведения о более чем 16 000 уязвимостей, а каталог угроз сведения о более чем 200 угрозах).

В виду отсутствия в Банке данных угроз средств автоматизации процедуры поиска и сопоставления, у оператора информационной системы два выхода – устанавливать связь между тысячами уязвимостей и сотнями угроз вручную посредством «поиска по тегам» [5] или разработать программное обеспечение позволяющее осуществлять рассматриваемые процедуры в автоматическом режиме. Изложенное выше определяет цель данной работы: разработка алгоритма для автоматизированного анализа и сопоставления угроз и уязвимостей на основе электронного ресурса (Банка данных угроз ФСТЭК России) и его реализация в виде программного приложения.

Алгоритм, на основе которого осуществляется автоматизированный анализ и сопоставление угроз и уязвимостей, включает шесть этапов.

На первом этапе оператор ИС формирует запрос, содержащий сведения о программном (или аппаратном) средстве с указанием формы прохождения процедуры аутентификации, указанием способа и уровня сложности получения доступа.

На втором этапе происходит обработка запроса и осуществляется выборка уязвимостей из БДУ в соответствии с введенными параметрами.

На третьем этапе рассчитывается значение базовой метрики вектора «CVSS», основываясь на том факте, что сведения предоставленные оператором на этапе построения запроса полностью коррелируют с полями записи об угрозе в БДУ, за исключением сведений о программном или аппаратном средстве (рис. 1)

На четвертом этапе, исходя из рассчитанных значений базовой метрики вектора CVSS и имеющихся сведений об уязвимости в БДУ, исключаются те угрозы, у которых рассчитанный показатель отличается от значения, заданного в сведениях об уязвимости. Для расчета значения базовой метрики вектора CVSS используется формула [7]:

$$Base\ Score = RoundUp_1(Minimum[1,08 \times (Impact + Exploitability), 10]),$$

где $RoundUp_1(Minimum [], 10)$ – функция округления (до десятков в меньшую сторону). В табл. 1 приведены формулы и описания переменных используемых для расчета значения базовой метрики.



Рис. 1. Соответствие метрик вектора CVSS и значений полей записи об угрозе

Таблица 1

Сведения о переменных, используемых для расчета базовой метрики

Наименование переменной	Описание	Формула вычисления	Описание параметров
Impact	оценка последствий реализации	$7,52 \times [ISC_{Base} - 0,029] - 3,55 \times [ISC_{Base} - 0,02]^{15}$, где $ISC_{Base} = 1 - [(1 - Impact_{Conf}) \times (1 - Impact_{Integ}) \times (1 - Impact_{Avail})]$	$Impact_{Conf}$ – влияние на конфиденциальность, $Impact_{Integ}$ – влияние на целостность, $Impact_{Avail}$ – влияние на доступность.
Exploitability	оценка нарушителя	$8,22 \times Attack\ Vector \times Attack\ Complexity \times Privilege\ Required$	$Attack\ Vector$ – способ получения доступа, $Attack\ Complexity$ – сложность получения доступа, $Privilege\ Required$ – аутентификация.

На пятом этапе осуществляется отсеивание угроз на основе обобщенной матрицы парных сравнений «Типа программного обеспечения» (запись об уязвимости в БДУ) и «Объекта воздействия» (запись об угрозе в БДУ). В качестве критического значения установлен коэффициент равный 0.5: если на пересечении

соответствующих строк и столбцов матрицы результат сравнения не превышает 0.5, угроза отбрасывается, т.к. не связана с выбранным типом программного обеспечения.

На шестом (заключительном) этапе формируется итоговая таблица, содержащая сведения об угрозах и уязвимостях, способствующих её реализации и актуальных для данной ИС.

Разработанный алгоритм реализован в виде программного приложения «ThreVulSec». В табл. 2 приведены основные сведения о программной реализации.

Таблица 2

Данные о программной реализации

Параметр	Характеристика
Язык программирования	«Python» версии 2.7.8.
Форма представления	«Web»-страница
Поисковой движок	«ElasticSearch». <i>Примечание:</i> выбор обоснован высокой степенью быстродействия и стойкостью к высоким нагрузкам.
Дополнительные возможности	Реализована функция сохранения полученных результатов на рабочей станции в формате «xlsx».

Для корректной инсталляции разработанного приложения «ThreVulSec» на персональный компьютер в зависимости от операционной системы необходимо выполнить следующие действия:

– в «Microsoft Windows» установить интерпретатор «Python 2.7.8», «PyCharm» и загрузить модули «ElasticSearch 1.7.2», «JRE 7», «Flask»;

– в «Unix-системах» - установить «Python 2.7.8» и загрузить модули «ElasticSearch 1.7.2», «JRE 7», «Flask». Установка производится путем запуска файла «control/setup.py».

Перед первым запуском программы оператор должен обновить базу данных посредством запуска скрипта «control/renewDB.py». Далее обновление производится по мере необходимости.

При появлении новых типов программного обеспечения обновление обобщенной матрицы парных сравнений выполняется путем запуска «control/match_table». Заполнение матрицы происходит с использованием метода экспертной оценки [6]. По умолчанию используется обобщенная матрица парных сравнений, заполненная разработчиками. Оператор ИС должен выбрать из раскрывающегося списка следующие данные: вендора (производителя программного продукта); название программного продукта или аппаратной платформы; версию рассматриваемого программного продукта; указать способ получения доступа и оценить сложность его получения; сведения о процедуре прохождения аутентификации. На рисунке 2 представлен пользовательский интерфейс программы.

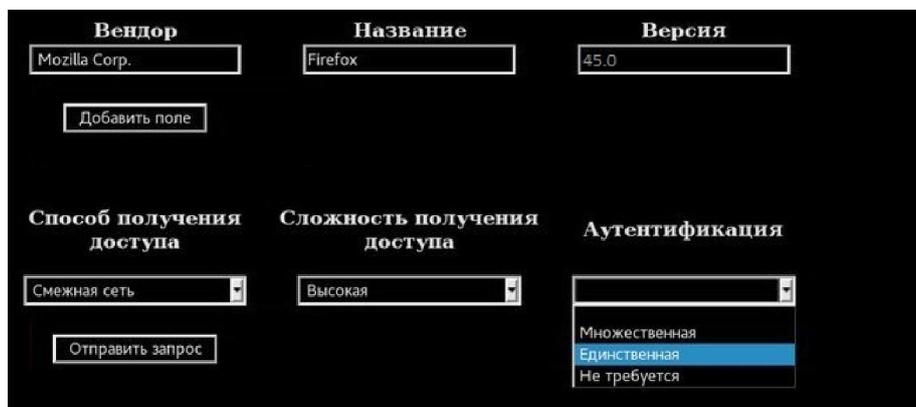


Рис. 2. Интерфейс информационной системы

Апробация была проведена на ряде примеров, один из них представлен ниже. Для примера был выбран web-браузер Firefox версии до 45.0. Результаты применения автоматизированной технологии и метода оценки вручную приведены в табл. 3.

Таблица 3

Тестирование алгоритма сопоставления «вручную»
и с использованием «ThreVulSec»

Поиск по тегам		С применением < ThreVulSec >
В БДУ ФСТЭК России на вкладке «уязвимости» заполняем поля соответствующими значениями.		Формирование запроса оператором.
<i>Промежуточный результат</i> По данному запросу была найдена 41 запись. В качестве примера была выбрана: BDU:2015-11141 «Уязвимости браузера «Firefox», позволяющие нарушителю выполнить произвольный код». Время поиска уязвимостей: 5 секунд.		Используя матрицу парных сравнений «по умолчанию», сразу же получаем актуальные угрозы, уязвимости и таблицу, содержащую построенные прямые связи между ними.
Формирование корректных тегов для поиска угроз.		<i>Результат:</i>
<i>Тег для поиска</i>	<i>Найденные угрозы</i>	Количество найденных угроз: 8. Количество найденных уязвимостей: 41. Время затраченное на поиск: 20 сек.
код	<ul style="list-style-type: none"> – УБИ. 001 «Угроза автоматического распространения вредоносного кода в грид-системе» – УБИ. 002 «Угроза агрегирования данных, передаваемых в грид-системе» – УБИ. 003 «Угроза анализа криптографических алгоритмов и их реализации» – УБИ. 004 «Угроза аппаратного сброса пароля BIOS» – УБИ. 005 «Угроза внедрения вредоносного кода в BIOS» – УБИ. 006 «Угроза внедрения кода или данных» 	

	<ul style="list-style-type: none"> – УБИ. 007 «Угроза воздействия на программы с высокими привилегиями» – УБИ. 008 «Угроза восстановления аутентификационной информации» – УБИ. 009 «Угроза восстановления предыдущей уязвимой версии BIOS» – УБИ. 010 «Угроза выхода процесса за пределы виртуальной машины» 	
целочисленные переполнения	– УБИ.114 «Угроза переполнения целочисленных переменных»	
<p>По результатам анализа вручную было сделано следующее заключение: актуальными и взаимосвязанными с данной уязвимостью являются угрозы УБИ. 114 и УИБ.006.</p> <p>Время, затраченное на анализ 11 угроз для уязвимости BDU:2015-11141: около 10 минут.</p>		

При установлении прямых связей между уязвимостями и угрозами с использованием ручного метода выявлена 41 уязвимость. Для поиска угроз необходимо для каждой уязвимости составить список тегов, затем осуществить поиск угроз. В примере для одной из уязвимостей потребовалось оценить 11 угроз на соответствие. В процессе анализа угрозы УБИ.001-005 и УБИ.009-010 были отброшены из-за несоответствия типа программного обеспечения и объекта воздействия. Посредством более детального анализа сведений об угрозах УБИ.007-008 был сделан вывод об их неактуальности для рассматриваемой уязвимости. В результате только 2 из 11 найденных угроз оказались актуальными, что позволяет сделать вывод, что даже при грамотном составлении тегов для поиска в результатах поиска выводятся угрозы не связанные с рассматриваемой уязвимостью. В целом, время, затрачиваемое на сопоставление всех угроз и уязвимостей «вручную» составило более 2 часов, в то время как использование программного приложения позволило выполнить всю работу за 20 секунд при более качественном выборе перечня угроз. Таким образом, применение «Thre VulSec» позволяет существенно сократить трудозатраты оператора и снизить уровень субъективности полученных результатов.

В результате выполненных исследований разработана автоматизированная технология, включающая алгоритм и реализующее его программное приложение «ThreVulSec» для определения актуальных угроз безопасности информации на основе БДУ с рекомендациями по его использованию. Проведен сравнительный анализ традиционного метода «поиска по тегам» вручную и предложенной технологии, результаты которого показал и значительное сокращение времени на анализ угроз и уязвимостей при её применении. Повышение качества анализа угроз достигается также за счёт уменьшения разнообразных ошибок, связанных

с человеческим фактором. Примерами таких ошибок могут являться субъективная (некомпетентная) оценка соответствия угрозы найденной уязвимости, неверное определение ключевых слов (тегов) для поиска, невнимательность оператора по причине переутомленности от работы с большим количеством данных и ряд других.

Следует отметить, что БДУ ориентирован на анализ уязвимостей и угроз программного обеспечения и аппаратных платформ. Дальнейшее развитие разработанной технологии направлено на создание модулей, обрабатывающих нормативно-методические документы и стандарты по обеспечению информационной безопасности, что позволит существенно расширить «зону выявления угроз», в частности, за счёт учета аспектов организационного характера.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Приказ ФСТЭК России № 17 от 11 февраля 2013 г. «Об утверждении требований о защите информации, не составляющей государственную тайну, содержащейся в государственных информационных системах» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://fstec.ru/component/attachments/download/566>

2. Руководящий документ ФСТЭК России от 18.05.2007 г. «Базовая модель угроз безопасности информации в ключевых системах информационной инфраструктуры» (Утвержден заместителем директора ФСТЭК России от 18.05.2007 г.).

3. Руководящий документ ФСТЭК России от 15.02.2008 г. «Базовая модель угроз безопасности персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных» (Утверждена Заместителем директора ФСТЭК России от 15.02.2008 г.).

4. Руководящий документ ФСБ России от 31.03.2015 г. «Методические рекомендации по разработке нормативных правовых актов, определяющих угрозы безопасности персональных данных, актуальные при обработке персональных данных в информационных системах персональных данных, эксплуатируемых при осуществлении соответствующих видов деятельности» (Утвержден руководством 8 Центра ФСБ России 31.03.2015 г. №149/7/2/6-432).

5. Селифанов В. В., Слонкина И. С., Юракова Я. В. Определение актуальных угроз безопасности информации в информационных системах, используя Банк данных угроз (bdu.fstec.ru) // Электронные средства и системы управления (ЭСиСУ-2016): Материалы XII Международной научно-практической конференции. – Томск, 2016. – №2 – с. 67-69.

6. Ельмеев В. Я. Прикладная социология: Очерки методологии / В.Я. Ельмеев, В.Г. Овсянников. — 2-е изд., испр. и доп. – СПб. : Изд-во С.-Петербургского государственного университета, 1999. — 276 с.

7. First (Forum of Incident Response and Security Yeams) – Common Vulnerability Scoring System [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://first.org/cvss> (Дата обращения: 12.01.2016 г.)

© В. В. Селифанов, П. А. Звягинцева, Я. В. Юракова, И. С. Слонкина, 2017

ИЗМЕРЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОЙ ПЛОЩАДИ РАССЕЙВАНИЯ ОБЪЕКТОВ СЛОЖНОЙ КОНФИГУРАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НОВОСИБИРСКОГО ЛАЗЕРА НА СВОБОДНЫХ ЭЛЕКТРОНАХ

Александр Григорьевич Черевко

Сибирский государственный университет телекоммуникации и информатики, 630106, Россия, г. Новосибирск, ул. Кирова, 86, кандидат физико-математических наук, доцент, зав. кафедрой физики, e-mail: cherevko@mail.ru

Виталий Владимирович Кубарев

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН, Россия, Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 11, доктор физико-математических наук, доцент, старший научный сотрудник, e-mail: V.V.Kubarev@inp.nsk.su

Рассмотрены возможности использования Новосибирского лазера на свободных электронах (НЛСЭ) в качестве источника излучения в специальной установке, предназначенной для измерения эффективной площади рассеяния (ЭПР) уменьшенных моделей трехмерных объектов, с целью оценки ЭПР этих объектов в гигагерцовом диапазоне частот. Приведены результаты измерения ЭПР различных моделей.

Ключевые слова: лазер на свободных электронах, эффективная площадь рассеяния, терагерцовое излучение.

RADAR CROSS-SECTION MEASUREMENT BY OBJECTS OF COMPLEX GEOMETRICAL SHAPE USING NOVOSIBIRSK FREE ELECTRON LASER

Alexander G. Cherevko

Siberian State University of Telecommunications and Informatics, 630106, Russia, Novosibirsk, 86 Kirova St., Ph. D., associate Professor, Head of Department of physics, e-mail: cherevko@mail.ru

Vitaliy V. Kubarev

Institute of Nuclear Physics. G. I. Budker SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 11 Akademik Lavrentiev Prospect, D. Sc., associate Professor, senior researcher, e-mail: V.V.Kubarev@inp.nsk.su

The possibilities of using the Novosibirsk free electron laser (NovoFEL) as a radiation source, a special unit intended for measurement of effective area of dispersion (EPR) reduced models of three-dimensional objects, with the purpose of measuring the ESR of these objects in the gigahertz frequency range. The results of measuring the ESR of the different models.

Key words: free electron laser, the effective area of scattering, terahertz radiation.

Эффективная площадь рассеяния (ЭПР, соответствующий английский термин – radar cross-section (RCS)) является одной из важнейших характеристик объектов в радиолокации, поскольку определяет возможность его обнаружения и опознавания. Поэтому технологии определения ЭПР непрерывно развиваются. Появление мощных вычислительных машин и специальных эффективных алгоритмов привело к развитию численных методов расчета ЭПР, но в настоящее

время приемлемые по точности значения могут быть получены только для относительно простых объектов. К тому же, как известно, не существует иных способов проверки точности расчетов для сложного объекта, кроме их сравнения с экспериментом.

Таким образом, развитие новых экспериментальных методов, позволяющих получить данные по ЭПР сложных объектов, особенно в зоне Фраунгофера (дальней зоне), в которой, как правило, работают РЛС, является актуальной задачей.

Определение ЭПР сложных объектов S_0^* при заданной длине волны излучения λ_0 по значению ЭПР точной уменьшенной модели объекта S_M^* , измеренной с использованием излучения с более короткой длиной волны $\lambda_M < \lambda_0$ (масштабное моделирование) является традиционным [1]. Искомая ЭПР определяется по соотношению

$$S_0^* = \frac{\lambda_0^2}{\lambda_M^2} S_M^*. \quad (1)$$

Для строгого выполнения соотношения (1) необходимо, чтобы диэлектрическая и магнитная проницаемость объекта и его макета были одинаковы, а электропроводность макета σ_M соответствовала соотношению $\sigma_M = (\lambda_0/\lambda_M)\sigma_0$, где σ_0 – электропроводность объекта. Для объектов с высокой электропроводностью эти ограничения не оказывают существенного влияния на результат, если обеспечена высокая поверхностная электропроводность макета [1].

Использование терагерцового (ТГц) диапазона для масштабного моделирования может существенно упростить определение ЭПР объектов большого размера (порядка и более 10 м) для миллиметрового, сантиметрового и дециметрового диапазонов, поскольку модели этих объектов в ТГц-диапазоне имели бы удобные для проведения экспериментов малые размеры ($l_M = (\lambda_M/\lambda_0)l_0$).

Наиболее эффективным источником ТГц-излучения для этих целей является Новосибирский лазер на свободных электронах (НЛСЭ), который является самым мощным в мире источником ТГц-излучения [2]. Частота ЛСЭ может перестраиваться с высокой точностью. НЛСЭ имеет несомненные преимущества перед маломощными фемтосекундными лазерами, используемых для подобных экспериментов [3].

В настоящей работе авторы оценили возможность измерения ЭПР простых и сложных объектов с использованием НЛСЭ. Простыми объектами являлись примитивы: куб с ребром 20 мм из алюминия, алюминиевый цилиндр диаметром и длиной по 20 мм и стальные шары диаметром 13 мм и 28 мм. Эти объекты использовались для калибровки экспериментальной установки.

В качестве более сложного объекта на поворотном стенде устанавливалась стилизованная (неточная) модель истребителя пятого поколения F-22 “Raptor” (США).

Разработанную экспериментальную установку для измерения ЭПР, (схема эксперимента на рис. 1) можно рассматривать как аналог лоатора ТГц-диапазона [4]. Объект размещается на измерительном стенде, включающем поворотный стенд с угловой шаговой подвижкой.

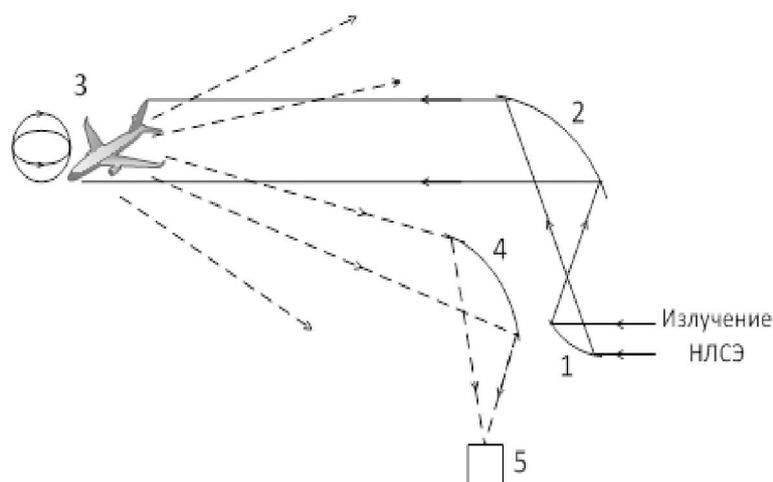


Рис. 1. Схема экспериментов:

- 1, 2 – параболические зеркала передающей антенны; 3 – объект на двумерном угловом сканере (поворотном стенде); 4 – приемная параболическая зеркальная антенна; 5 – детекторная система

Для проведения экспериментов по измерению ЭПР моделей были выбраны следующие параметры излучателя: длина волн $\lambda = 0.13$ мм (2.308 ТГц). Импульсы с длительностью 80 пс, частота следования импульсов 5.6 МГц, импульсная мощность 200 кВт, средняя мощность 90 Вт.

Проверка работоспособности экспериментальной установки и ее калибровка проводились на простейших полированных алюминиевых объектах – примитивах: кубе и цилиндре, а также на стальных шарах двух диаметров. Измерялась угловая зависимость ЭПР примитивов. В угловой зависимости интенсивности отраженного сигнала от вращающегося куба наблюдались четкие пики, соответствующие зеркальному отражению, а в случае отражения от боковой поверхности цилиндра и от шаров угловая зависимость интенсивности отраженного сигнала отсутствовала.

ЭПР стилизованной стальной модели истребителя 5-го поколения F-22 “Raptor” определялась путем нормирования относительной интенсивности отраженного сигнала к интенсивности отраженного сигнала шара радиусом $R_{ш} = 14$ мм. Поскольку ЭПР шара равна его поперечному сечению, в нашем случае $RCS_{ш} = \pi R_{ш}^2 = 1,96 \text{ см}^2 = 2,92 \text{ дБсм}^2$. В радиолокации, в связи с большим диапазоном изменения ЭПР, для ее характеристики часто применяется вместо (м^2) единица измерения дБм². Их связь имеет вид: $RCS, \text{ дБм}^2 = 10 \lg (RCS, \text{ м}^2)$.

Результаты экспериментов по измерению ЭПР F-22 представлялись на круговых диаграммах, где фоновым рисунком служит фотография F-22, поясняющая положение модели при эксперименте. Угол θ – угол между направлением пучка и нормалью к нижней части фюзеляжа. В эксперименте объект закреплялся под углом θ и далее на поворотном столе изменялся его азимутальный угол φ , который и являлся аргументом круговой диаграммы.

Эксперименты проведены при углах $\theta = 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$, и $315^\circ (-45^\circ)$. Азимутальный угол изменялся через 1° . Максимальные пики на всех диаграммах соответствовали зеркальным отражениям от тех или иных плоских частей самолета, которые, как следовало ожидать, сильно увеличивают эффективную площадь рассеяния объекта в направлениях таких зеркальных отражений.

Например, при $\theta = 90^\circ$ (рис. 2), когда модель облучается со стороны кромки крыльев, наблюдается минимальное рассеяние. В этом случае существенный вклад могут давать кили хвостового оперения модели, которые установлены почти вертикально, этому соответствуют небольшие пики на диаграмме при $\varphi = 0^\circ, 180^\circ$ и 360° .

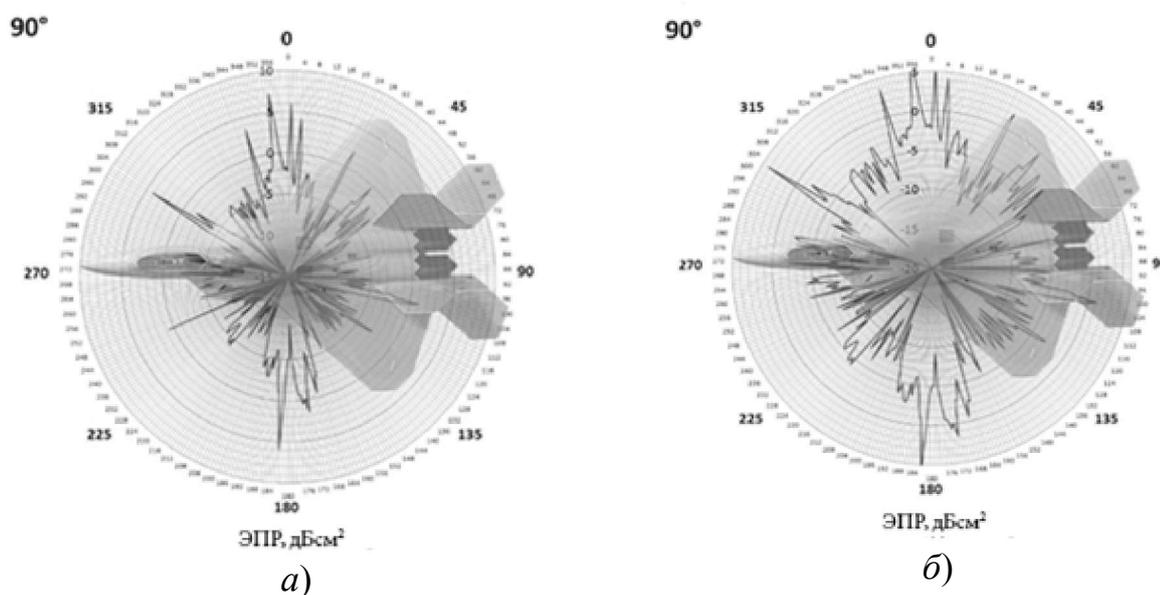


Рис. 2. ЭПР модели истребителя F-22 “Raptor” при $\theta = 90^\circ$; б – увеличенный масштаб

Эксперименты показали, что применение НЛСЭ как источника ТГц излучения при измерении ЭПР простых и сложных объектов должно быть весьма эффективным. В то же время эксперимент показал, что для работы в дальней зоне (зоне Фраунгофера) необходимо повышать чувствительность установки и снижать ее шумы, что возможно при использовании гелиевого детектора, который позволит измерять отраженный сигнал на расстоянии порядка 50 м. Поглощение терагерцевого излучения на водяных парах в воздухе в этих экспериментах можно уменьшить до приемлемого уровня, настраивая длину волны НЛСЭ в одно из многочисленных окон прозрачности атмосферы.

Для расширения номенклатуры моделей целесообразно увеличить диаметр пучка.

Заметим, что подобные измерения в дальней зоне возможны только с мощным излучением НЛСЭ. Кроме этого, плавная перестройка длины волны излучения лазера позволяет моделировать ЭПР на заданных частотах реальных ГГц-локаторов, используя одни и те же дорогостоящие точные модели реальных объектов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сколник Н. И. Справочник по радиолокации: в 4 т, Москва, Советское Радио, 1976 – 1979, Т. 1. С. 356.
2. Kulipanov G. N., Bagryanskaya E. G., Chesnokov E. N., Choporova Yu. Yu., Gerasimov V. V., Getmanov Ya. V., Kiselev S. L., Knyazev B. A., Kubarev V. V., Peltek S. E., Popik V. M., Salikova T. V., Scheglov M. A., Seredniakov S. S., Shevchenko O. A., Skrinsky A. N., Veber S. L., and Vinokurov N. A. Novosibirsk free electron laser – facility description and recent experiments // IEEE Transaction on Terahertz Science and Technology. 2015. V. 5 (5). P. 798 –809.
3. Michishita N., Dinh N., Yamada Y. Simulation and Measurement Methods for RCS Estimations of a Scale Model Airplane // REV Journal on Electronics and Communications. 2016. V. 5, № 1–2. P. 151–158.
4. Черевко А. Г., Ильин Е. М., Полубехин А. И., Черевко А. А., Кубарев В. В. Патент RU 164965 U1, Терагерцовый радиолокатор, приоритет от 18.09.16. Опубликовано 27.09.2016 Бюл. № 27.

© А. Г. Черевко, В. В. Кубарев, 2017

ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ГРАФЕНОВЫХ АНТЕНН ТЕРАГЕРЦОВОГО ДИАПАЗОНА

Александр Григорьевич Черевко

Сибирский государственный университет телекоммуникации и информатики, 630106, Россия, г. Новосибирск, ул. Кирова, 86, кандидат физико-математических наук, доцент, зав. кафедрой физики, e-mail: cherevko@mail.ru

Юрий Вячеславович Моргачев

Сибирский государственный университет телекоммуникации и информатики, 630106, Россия, г. Новосибирск, ул. Кирова, 86, инженер, e-mail: morgachev.yury@gmail.com

В статье, исходя из сравнения экспериментальных и модельных данных, обоснована целесообразность компьютерного моделирования для создания детекторов терагерцового диапазона и их антенных систем в едином технологическом цикле. Отмечено, что приемлемое время моделирования ТГц антенных систем на базе графена обеспечивает 8-ми ядерная рабочая станция с объемом оперативной памяти не менее 200 Гб.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, антенные системы, терагерцовый (ТГц), графен.

FEATURES SIMULATION OF GRAPHENE ANTENNAS FOR TERAHERTZ

Alexander G. Cherevko

Siberian State University of Telecommunications and Informatics, 630106, Russia, Novosibirsk, 86 Kirova St., Ph. D., associate Professor, Head of Department of physics, e-mail: cherevko@mail.ru

Yuriy V. Morgachev

Siberian State University of Telecommunications and Informatics, 630106, Russia, Novosibirsk, 86 Kirova St., engineer, e-mail: morgachev.yury@gmail.com

In the article, authors justified feasibility of the computer modeling for creation terahertz detectors and antenna systems for them in one technological cycle, based on comparison of experimental and simulated data. Acceptable simulation time of THz antenna systems, based on graphene can be provided on 8-core workstations with a RAM of at least 200 Gb for such antenna systems, was noted.

Key words: computer modeling, antenna systems, terahertz (THz), graphene.

Терагерцовый (ТГц) диапазон занимает интервал частот от 0.3 до 10 ТГц ($\lambda - (30 - 1000 \text{ мкм})$). К перспективным направлениям применения ТГц излучения относятся — телекоммуникация, антитеррористический контроль (обнаружение скрытых предметов под одеждой), радиоастрономия и отдельные виды радиолокации [1]. Аппаратура данного диапазона обладает важными для рассмотренных сфер преимуществами, такими как: отсутствие ионизирующего воздействия, большая информационная емкость и способность проникать через непрозрачные объекты. Однако у ТГц излучения имеются также существенные недо-

статки. Самым очевидным из них является затухание ТГц излучения в атмосфере. Однако для работы в данном диапазоне существует ряд изученных окон прозрачности [2], ТГц радиотелескопы для уменьшения поглощения размещают на больших высотах, например, в высокогорье расположена Атакамская обсерватория (АТМА) [3].

Учитывая высокое затухание, для работы в ТГц диапазоне необходимы высокочувствительные приемники. Чтобы повысить чувствительность ТГц приемников, как правило, используются многоэлементные антенные системы (АС).

Современная технология позволяет создавать антенные системы и детекторы ТГц приемника в одном технологическом цикле, что обеспечивает достижение технических параметров и надежность работы приемников. Поскольку технологический процесс весьма дорог, необходимо применять предварительное компьютерное моделирование антенн и антенных систем. Это обеспечит получение точных значений передаточных характеристик, коэффициента отражения и коэффициента стоячей волны по напряжению (КСВН).

Алгоритмы, применяемые в компьютерном моделировании ТГц антенн, базируются на следующих методах: Метод конечных интегралов (FIT), Метод конечных разностей во временной области (FDTD), Метод моментов (MoM) и Метод конечных элементов (FEM). Так же существуют специальные методы для расчета больших структур - Многоуровневый быстрый мультипольный метод (MLFMM), который является модификацией метода моментов, Метод физической оптики (PO) и Метод геометрической оптики (RL-GO). Так же MLFMM применяется для получения эффективной площади рассеивания (ЭПП) больших объектов [4].

Выбор метода определяется типом конкретной задачи. Наиболее эффективными пакетами для моделирования являются FEKO (MoM), CST MWS (FIT), ANSYS HFSS (FEM) и COMSOL (FEM), в скобках отмечен метод, на котором основан представленный пакет. В этих пакетах уже реализованы основные методы. Вычислительные ядра программных пакетов постоянно модифицируются, из-за чего погрешность данных, полученных при помощи моделирования, постоянно падает. На рис. 1 представлен результат нашего моделирования двухщелевой антенны на полусферической линзе, работающей на частоте 500 ГГц.

В плоскости Н диаграммы направленности в области -15 — 15 градусов (основной лепесток) наши данные более адекватно описывают эксперимент. Значительные отличия в областях -30 — -20 и 20 — 30 (боковые лепестки) можно объяснить тем, что данные для точного построения копланарной полосковой линии в статье [5] отсутствуют. Полученные результаты подтверждают целесообразность компьютерного моделирования для создания приемников ТГц диапазона в одном технологическом цикле с антенной системой.

Эти особенности рассмотрим на примере компьютерного моделирования графеновых антенных систем.

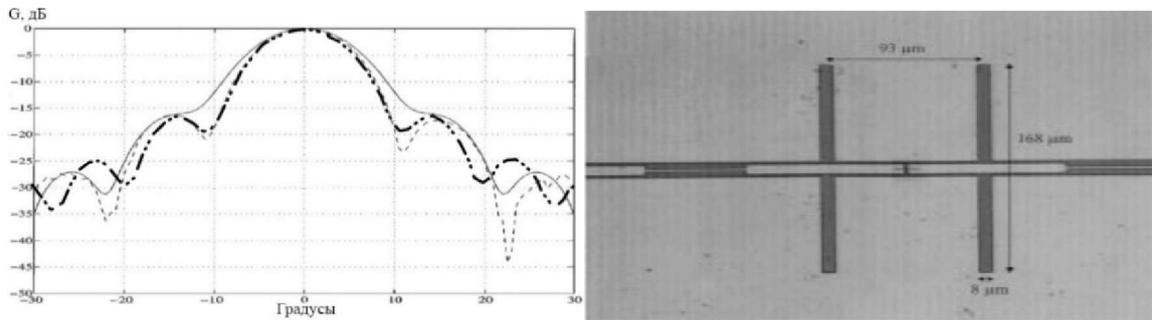


Рис. 1. Двухщелевая антенна с болометром (справа) и ее диаграмма направленности в плоскости Н (слева) [5]. Результат эксперимента – штриховая линия, результат моделирования [5] – сплошная линия, результаты нашего моделирования – штрихпунктирная линия с двумя точками. Справа представлен дизайн этой двухщелевой антенны с указанными размерами

Подвижность носителей в графене при комнатной температуре порядка 10^5 $\text{см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$, а при гелиевых температурах она увеличивается до 10^6 – 10^7 $\text{см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$, что делает графен перспективным материалом для создания антенн. Графен обладает уникальными физическими, электронными и оптическими свойствами в широком диапазоне частот, которые позволяют создать на его основе управляемые электрическим полем устройства ТГц диапазона, в частности, элементы тракта ТГц приемника: антенны, фазовращатели, детекторы в одном технологическом цикле. Использование данного материала позволит преодолеть ограничения, свойственные традиционной кремниевой электронике и миниатюризировать устройства.

В численных методах решения уравнений Максвелла, для нахождения плотности тока, необходимо определить объемную удельную проводимость среды. Монослой графена характеризуется поверхностной проводимостью, определяемой формулой Кубо:

$$\sigma_s(\omega, \mu_c) = \frac{-ie^2 k_b T}{\pi \hbar^2 (\omega - i2\Gamma)} \left(\frac{\mu_c}{k_b T} + 2 \ln \left(\exp \left(\frac{-\mu_c}{k_b T} \right) + 1 \right) \right) - \frac{ie^2 (\omega - i2\Gamma)}{\pi \hbar^2} \int_0^\infty \frac{\left(\exp \left(\frac{-\xi - \mu_c}{k_b T} \right) + 1 \right)^{-1} - \left(\exp \left(\frac{\xi - \mu_c}{k_b T} \right) + 1 \right)^{-1}}{(\omega - i2\Gamma)^2 - \left(\frac{2\xi}{\hbar} \right)^2} d\xi,$$

где e – заряд электрона; k_b – постоянная Больцмана; $\hbar = 1,054 \cdot 10^{-34}$ Дж*с – постоянная Планка; $T = 300$ К; $\Gamma = 10^{12}$ 1/с – скорость релаксации электронов; $\mu_c \leq 1$ эВ – химический потенциал.

В уравнения Максвелла входит объемная удельная проводимость σ , которую необходимо выразить через поверхностную проводимость σ_s . Для монослоя графена вводится комплексная диэлектрическая проницаемость:

$$\varepsilon(\omega, \mu_c) = 1 + \frac{i\sigma(\omega, \mu_c)}{\varepsilon_0 \omega d},$$

где d – эффективная толщина монослоя графена. Введя эффективную толщину графена $d = 1 \cdot 10^{-9}$ м и установив связь между поверхностной σ_s и объемной σ проводимостями: $\sigma = \sigma_s/d$ для уравнений Максвелла, описывающих электродинамические структуры на основе графена, получим:

$$\begin{cases} \text{rot} \vec{H}(t) = \varepsilon_0 \varepsilon_b \frac{\partial \vec{E}(t)}{\partial t} + \frac{\sigma_s}{d} \vec{E}(t), \\ \text{rot} \vec{E}(t) = -\mu_0 \mu_b \frac{\partial \vec{H}(t)}{\partial t}, \end{cases}$$

Химический потенциал можно изменять при помощи внешнего электрического поля. При его изменении от 0 до 1 эВ поверхностная проводимость графена увеличивается почти в 20 раз.

При выполнении компьютерного моделирования целесообразно использовать дополнительный макрос (в отдельных пакетах он является внутренним функционалом). При использовании макроса задаются рабочая температура, рассматриваемый химический потенциал, время релаксации, толщина слоя, максимальная и минимальная частота. На основе этих данных компьютерный пакет создаст модель графена, которую можно будет применить, чтобы получить базовые характеристики графеновых антенн. В компьютерной модели решетка графена представляет собой плоскость, состоящую из шестиугольных ячеек, т.е. является 2D-гексагональной кристаллической решеткой, с расстоянием между ближайшими атомами - 0.14 нм. В элементарной ячейке кристалла находятся два атома. Для анализа материалов с ярко выраженными дисперсионными свойствами используются модели Дейби, Друде и Лоренца. В настоящий момент сложно оценить качество создаваемой таким образом модели, а также качество создаваемых моделей антенн ТГц диапазона, вследствие малого количества реализуемых антенн.

Использование расчетных моделей графена позволяет создать базовую компьютерную модель антенной системы графенового приемника ТГц диапазона. Использование реально созданного графена на подложке для разработки приемника приведет к контролируемым поправкам в полученных параметрах базовых моделей антенных систем.

Поскольку для обеспечения необходимой чувствительности ТГц приемников антенные системы должны иметь высокий коэффициент усиления, то эти системы должны выполняться в виде многоэлементных антенных решеток, матриц, фазированных антенных решеток, что приводит к росту характерного размера (a) антенной системы, при этом отношение a/λ становится большим ($a/\lambda \gg 1$), что не

наблюдается в более низкочастотных диапазонах. Число элементов в ТГц антенне может достигать десятков тысяч [5]. Поэтому время компьютерного моделирования возрастает в сотни раз. Как показывает наш опыт, приемлемое моделирование антенной решетки ТГц диапазона можно обеспечить на 8-ми ядерных рабочих станциях с объемом оперативной памяти более 200 Гб.

Компьютерное моделирование ТГц антенных систем на основе современных материалов является необходимым условием создания антенной системы с детектором в одном технологическом цикле. Приемлемое время моделирования таких антенных систем можно обеспечить на 8-ми ядерных рабочих станциях с объемом оперативной памяти не менее 200 Гб.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Анализ патентной активности в области перспективных локационных технологий терагерцового диапазона / А. Г. Черевко, Е. М. Ильин, Ю. В. Моргачев, А. И. Полубехин // Вестник СибГУТИ. – 2015. – №2. – С. 164–173.
2. Slocum D. M. Terahertz atmospheric attenuation and continuum effects / D. M. Slocum, T. M. Goyette, E. J. Slingerland, R. H. Giles, W. E. Nixon // Terahertz Physics, Devices, and Systems VII: Advanced Applications in Industry and Defense. – 2013. – doi:10.1117/12.2015471.
3. Yamamoto S. Atacama Large Millimeter/submillimeter Array in Operation / S. Yamamoto // Molecular Science. 2014. – Vol. 8. – No. 1. – p. 72-86.
4. Рассеяние терагерцовых волн объектами сложной конфигурации с использованием Новосибирского лазера на свободных электронах / А. Г. Черевко, В. В. Кубарев, Г. Н. Кулипанов, Е. М. Ильин, А. И. Полубехин, Ю. В. Моргачев // Вестник СибГУТИ. – 2016. – №3. – С. 204–214.
5. Maarten J. M Effect of internal reflections on the radiation properties and input impedance of integrated lens antennas-comparison between theory and measurements / J. M. Maarten, J. I. Peter, A. Neto, A. L. Reynolds, A. J. Herben // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. – 2001. – Vol. 49. – No. 6. – p. 1118-1125.

© А. Г. Черевко, Ю. В. Моргачев, 2017

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ ИСПДН С УЧЕТОМ ПРОФИЛЯ ЗАЩИТЫ

Валентин Валерьевич Селифанов

Управление Федеральной службы по техническому и экспортному контролю по Сибирскому федеральному округу, 630091, Россия, г. Новосибирск, ул. Красный пр., 41, начальник 6-го отдела, тел. (923)247-25-81, e-mail: sfo1@mail.ru

Полина Александровна Звягинцева

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, старший преподаватель кафедры наносистем и оптотехники, тел. (383)343-91-11, e-mail: polina11-03@mail.ru

Анастасия Сергеевна Голдобина

Новосибирский государственный университет экономики и управления, 630099, Россия, г. Новосибирск, ул. Каменская, 52/1, студент 3-го курса, тел. (923)220-80-89, e-mail: nastya-gold09@mail.ru

Юлия Алексеевна Исаева

Новосибирский государственный университет экономики и управления, 630099, Россия, г. Новосибирск, ул. Каменская, 52/1, студент 3-го курса, тел. (913)980-23-09, e-mail: Isaeva.D.W@gmail.com

Рассматривается процесс проведения оценки эффективности на примере аттестации. Оценка эффективности основывается на ГОСТе ИСО\МЭК 15408, однако этот ГОСТ не охватывает всех критически важных моментов. Поэтому следует обратить внимание на создание методологического подхода, основанного на ГОСТе ИСО\МЭК 19791, что позволит применить новые подходы к сертификации средств защиты информации при их интеграции в автоматизированную систему.

Ключевые слова: информация, защита информации, оценка эффективности, аттестация.

ASSESSMENT OF EFFICIENCY INFORMATION PROTECTION SYSTEM PERSONAL DATA TAKING INTO ACCOUNT SECURITY PROFILE

Valentin V. Selifanov

The office of the Federal service for technical and export control in the Siberian Federal district, 630091, Russia, Novosibirsk, 41 Krasny Prospect, Chief of the 6-th Department, tel. (923) 247-25-81, e-mail: sfo1@mail.ru

Polina A. Zviagintcheva

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., Senior lecturer, Department of Nanosystems and Optics Engineering, tel. (383)343-91-11, e-mail: polina11-03@mail.ru

Anastasia S. Goldobina

Novosibirsk State University of Economics and Management, 630099, Russia, Novosibirsk, 52/1 Kamenskaya St., tel. (923)220-80-89, e-mail: nastya-gold09@mail.ru

Julia A. Isaeva

Novosibirsk State University of Economics and Management, 630099, Russia, Novosibirsk, 52/1 Kamenskaya St., tel. (913)980-23-09, e-mail: Isaeva.D.W@gmail.com

The process evaluation of effectiveness on the example certification. Evaluation of effectiveness is based on the national standard ISO/IEC 15408. However, this national standard does not cover all critical points. Therefore, you should pay attention to the creation of a methodological approach based on the national standard ISO/IEC 19791. This will allow to apply new approaches to certification of means of information protection when their integration into automated system.

Key words: information, information protection, performance evaluation, attestation.

Построение защищенной автоматизированной системы (АС) сложный и длительный процесс. Все действия по построению описаны с ГОСТ Р 51583 «Защита информации. Порядок создания автоматизированных систем в защищенном исполнении. Общие положения». С появлением защиты информационных систем персональных данных, защиты автоматизированных систем управления производственными и технологическими процессами, защиты информации (ЗИ), постепенно начал смещаться вектор в построении систем ЗИ.

Раньше основной упор делался на аттестацию объекта информатизации и для ряда объектов эту процедуру упрощали и называли оценкой эффективности. Начиная с 2007 года информационные системы (ИС) стали намного сложнее, начали активно взаимодействовать с внешними системами. В создании систем защиты тоже наметился перелом, который уже предусматривался не только в методических документах и нормативных правовых регуляторах, например, приказы ФСТЭК России № 17, 31. Прежде всего, этот вектор направлен на формирование требований, проектирование и испытание систем защиты, а также повышенное внимание на эффективное управление этими системами в процессе эксплуатации.

В настоящее время в системе документов ФСТЭК России отсутствует методология разработки процедур, правил и политик ЗИ. При этом, значительное усложнение ИС, их постоянное взаимодействие с открытыми системами и постоянное развитие выводят задачу управления системой защиты информации в число наиболее важных.

ГОСТ Р 51583 рекомендует использовать «инструменты», описанные во всем комплексе стандартов 2700X для оценки эффективности системы. При этом, стоит отметить, что поиск «механизмов» интеграции подходов в процесс создания и эксплуатации объектов информатизации является отдельной не тривиальной задачей, которую мы планируем решить в данной работе.

В настоящее время осуществляется переход к системе требований нового поколения, основанных на стандартах ИСО/МЭК 15408. Однако это вызывает ряд проблем при интеграции таких средств и соответственно последующей оценки эффективности.

Это происходит из-за универсальности системы требований на основные руководящие документы Гостехкомиссии России, что позволяло использовать ее

как для разработки средствЗИ и последующей сертификации, так и в процессе аттестации и оценки эффективности. Для современных объектов защиты необходимы новые критерии, которыми стала система требований нового поколения, основанная на системе стандартов ИСО/МЭК 15408.

В эту систему стандартов можно включить пять стандартов. ГОСТ Р ИСО/МЭК 15408 часть 1, 2, 3, ГОСТ Р ИСО/МЭК ТО 15446, ГОСТ Р 18045.

Три стандарта 15408 используются при оценке характеристик безопасности продуктов или систем информационных технологий и устанавливают общую базу критериев.

Первая часть включает общие принципы, концепцию, модель оценки безопасности ИТ. Вторая часть устанавливает совокупность функциональных компонентов как стандартный способ выражения функциональных требований к объекту оценки. Третья – устанавливает совокупность компонентов доверия как стандартный способ выражения требований доверия к объекту оценки. ГОСТ Р ИСО/МЭК ТО 15446 – это руководство по разработке профилей защиты и заданий по безопасности продуктов и систем ИТ в соответствии с комплексом стандартов ИСО/МЭК 15408. ГОСТ Р ИСО/МЭК 18045 включает методологию оценки по ИСО/МЭК 15408, включая критерии и свидетельства оценки.

Основным документом, на соответствие которому, происходит оценка соответствия, стал профиль защиты, в котором помимо функций безопасности и доверия, определены и угрозы, нейтрализуемые оцениваемым средством защиты.

Введение такого подхода решило многие вопросы сертификации, но появились определенные пробелы, связанные с оценкой эффективности и испытаниями интегрированных средств защиты информации. С другой стороны, часть проблем решило введение методического документа ФСТЭК России «Меры защиты информации в государственных информационных системах», но лишь фрагментарно и только в сегменте государственных информационных систем. Таким образом, вторая задача, решаемая в работе – поиск методик, позволяющих применять подходы ГОСТ Р ИСО/МЭК 15408 при создании объекта информатизации.

Анализ ГОСТ Р 51583 показал, что применение международных подходов при создании, аттестации и эксплуатации АС возможно в порядке, указанном в приложении А данного ГОСТа.

Изучение документов, приведенных в ГОСТ Р 51583 показало, что в качестве основы для решения поставленных задач необходимо выбрать ГОСТ ИСО/МЭК ТО 19791-2008 Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Оценка безопасности АС. Он дает возможность включать продукты безопасности, оцененные в соответствии с требованиями стандартов серии ИСО/МЭК 15408, в АС и проводить её оценку как единого целого на всех стадиях жизненного цикла. Однако, ограничивается оценкой безопасности АС и не распространяется на другие формы оценки систем, а также не определяет методы и средства идентификации, оценки и принятия эксплуатационного риска.

ГОСТ ИСО/МЭК ТО 19791 включает в себя определение и модель АС, описание расширений концепции оценки безопасности, методологию и процесс выполнения оценки безопасности АС, а также дополнительные критерии оценки безопасности.

Требования стандарта базируются на трехэтапном подходе к обеспечению необходимого уровня безопасности АС:

- оценка рисков безопасности;
- уменьшение рисков для противодействия или устранения рисков безопасности посредством выбора обеспечения безопасности;
- аттестация для подтверждения того, что остаточные риски, остающиеся в системе после применения мер обеспечения безопасности, являются приемлемыми для системы, чтобы ее эксплуатировать.

Также в стандарте рассматривается второй этап процесса. Для выбора методов оценки рисков предлагается использовать стандарт ИСО/МЭК 27005. Аттестация, как административная процедура только предполагается, в данном документе нет ограничений по введению подобных процедур. Это позволяет интегрировать его в систему аттестации объектов информатизации ФСТЭК России.

Далее следует уменьшение рисков посредством выбора, применения и оценки мер обеспечения безопасности. Для этого используется подход, определенный в стандартах серии ИСО/МЭК 15408. Это позволит получить максимальные доказательства корректного интегрирования.

ГОСТ ИСО\МЭК 19791 рассматривает оценку АС посредством некоторых работ:

- определение целей безопасности для АС, которые уменьшат риски;
- выбор и спецификация технических и организационных мер безопасности, удовлетворяющих целям безопасности для АС, с учетом уже реализованных мер защиты информации;
- определение конкретных измеримых требований доверия, как к техническим, так и к организационным мерам, для достижения необходимого уровня защищенности;
- фиксирование всех решений в задании по безопасности;
- оценка соответствия АС заданию по безопасности;
- переоценка рисков безопасности АС и способности АС противостоять этим рискам.

Данный ГОСТ принимается во внимание на стадии жизненного цикла АС, то есть на стадии разработки, установки, эксплуатации, модификации. В нашей стране применение этого документа можно рассматривать с двух сторон:

- оценка соответствия системы ЗИ, совместимой с положениями соответствующих приказов ФСТЭК России, которая позволит получить максимальную уверенность в эффективности внедрения и эксплуатации средств ЗИ, сертифицированный в соответствии с классами защиты;

– оценка соответствия системы ЗИ, в процессе которой оценивается соответствие АС с интегрированными средствами защиты, сертифицированными в соответствии с руководящими документами Гостехкомиссии России.

В первом случае можно снизить финансовые и временные затраты, которые необходимы при проведении оценки соответствия по Общим критериям. При необходимости получения доказательств соответствия классам СЗИ указанным в приказах ФСТЭК можно воспользоваться вторым вариантом. Однако имеется ряд ограничений, таких как наличие у средств ЗИ подтверждения требуемому уровню контроля отсутствия недеklarированных возможностей.

Для решения второй задачи, а именно интеграции международных подходов, таких как ГОСТ Р ИСО/МЭК 27005, позволяющих создать систему ЗИ, как систему нивелирующую возможность реализации существующих угроз информационной безопасности и перестраивающуюся для противодействия вновь возникающих угроз.

ГОСТ Р ТО 19791 позволяет не только применять новые подходы к сертификации средств ЗИ при их интеграции в АС, но построить систему организационно-распорядительных документов с учетом ГОСТ ИСО/МЭК 27005.

После изучения стандарта ГОСТ ИСО/МЭК 19791:2010, стало понятно, что стандарт необходимо принять для реализации адекватной оценки соответствия системы ЗИ, под особым контролем регуляторов. Потому что на данный момент этот стандарт позволяет применять описанные выше подходы для ограниченного количества средств ЗИ, а принятие данного стандарта не только снизит затраты на оценку соответствия, но и уменьшит трудозатраты оператора.

Исходя из проблемы оценки соответствия АС с интегрированными международными подходами оценки системы ЗИ, можно сделать вывод о том, что без принятия стандарта ГОСТ ИСО/МЭК 19791:2010 невозможно получить доказательства соответствия классам средств ЗИ, указанных в приказах ФСТЭК.

Подводя итоги, следует обратить внимание на принятие ГОСТ ИСО/МЭК 19791:2010, создание методического подхода для построения АС и проведение её оценки как единого целого на всех стадиях жизненного цикла. Для этого необходимо провести интеграцию подходов, основанных на модели оценки безопасности серии ИСО/МЭК 15408 и, описанных в ГОСТ ИСО/МЭК 19791, методологию и процесс оценки АС.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Евстратенко Е. С. Построение системы защиты информации государственной информационной системы с учетом политик информационной безопасности, разработанных в соответствии с ГОСТ Р ИСО/МЭК 27001 [Текст] / Е. С. Евстратенко, В. В. Селифанов, У. В. Таратынова // Научные исследования: от теории к практике: материалы VII Междунар. науч. -практ. конф. (Чебоксары, 13 март 2016 г.) / редкол.: О. Н. Широков [и др.]. – Чебоксары: ЦНС «Интерактив плюс», 2016. – № 1 (7).

2. Евстратенко Е. С. Построение системы защиты информации государственной информационной системы с учетом управления рисками информационной безопасности [Текст] / Е.

С. Евстратенко, В. В. Селифанов, А. А. Старикова // Научные исследования: от теории к практике: материалы VII Междунар. науч. -практ. конф. (Чебоксары, 13 март 2016 г.) / редкол.: О. Н. Широков [и др.]. – Чебоксары: ЦНС «Интерактив плюс», 2016. – № 1 (7).

3. Селифанов В.В. Испытания системы защиты информации государственной информационной системы // Вестник Науки и Творчества, 2016. – № 4 (4).

4. Селифанов В.В. Классификация автоматизированных систем // Science Time, 2016. – № 4 (28).

5. Селифанов В.В. Оценка эффективности системы защиты информации государственных информационных систем от несанкционированного доступа [Текст] // Интеграция науки, общества, производства и промышленности: сборник статей Международной научно -практической конференции, 2016. С. 109-113.

© В. В. Селифанов, П. А. Звягинцева, А. С. Голдобина, Ю. А. Исаева, 2017

ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕЖДУНАРОДНЫХ СТАНДАРТОВ

Диана Георгиевна Макарова

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, ассистент кафедры наносистем и оптотехники, тел. (383)343-91-11, e-mail: Diana_ssga@mail.ru

Алёна Алексеевна Старикова

Управление Федеральной службы по техническому и экспортному контролю по Сибирскому федеральному округу, 630091, Россия, г. Новосибирск, ул. Красный пр., 41, старший государственный инспектор 6-го отдела, тел. (913)007-78-72, e-mail: starikova.alena.123@gmail.com

Ульяна Вадимовна Таратынова

Межрайонная инспекция Федеральной налоговой службы по крупнейшим налогоплательщикам по Новосибирской области, 630008, Россия, г. Новосибирск, ул. Кирова, 3Б, специалист 1-го разряда отдела информатизации, тел. (913)469-37-31, e-mail: 241119@rambler.ru

Рассматривается процесс построения системы защиты информации государственной информационной системы с применением международных стандартов, а именно стандартов серии 2700х. Для анализа изменения угроз применяется ГОСТ Р ИСО/МЭК 27005 – 2010 «Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Менеджмент риска информационной безопасности». Для построения системы организационно-распорядительной документации применяется ГОСТ Р ИСО/МЭК 27001-2006 «Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Системы менеджмента информационной безопасности. Требования».

Ключевые слова: информация, защита информации, риски, политика безопасности, государственные информационные системы.

CONSTRUCTION OF THE INFORMATION SYSTEM PROTECTION SYSTEM OF THE STATE INFORMATION SYSTEM WITH THE APPLICATION OF INTERNATIONAL STANDARDS

Diana G. Makarova

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., Assistant of Nanosystems and Optical Devices Department, tel. (383)343-91-11, e-mail: Diana_ssga@mail.ru

Alyona A. Starikova

The office of the Federal service for technical and export control in the Siberian Federal district, 630091, Russia, Novosibirsk, 41 Krasny Prospect, high state inspector of the 6-th Department, tel. (913)007-78-72, e-mail: starikova.alena.123@gmail.com

Ulyana V. Taratynova

Federal tax service of Russia, 630008, Russia, Novosibirsk, 3B Kirova St., specialist of the first category of Department of information, tel. (913)469-37-31, e-mail: 241119@rambler.ru

The process of constructing the information security system of the state information system with the application of international standards, namely, the standards of the 2700x series is considered. For the analysis of threat changes, GOST R ISO / IEC 27005 - 2010 "Information technology. Methods and means of ensuring security. Information Security Risk Management ". To build a system of organizational and administrative documentation, GOST R ISO / IEC 27001-2006 "Information technology. Methods and means of ensuring security. Information security management systems. Requirements".

Key words: information, information protection, risks, security policy, state information systems.

Государственные информационные системы создаются в целях реализации полномочий государственных органов и обеспечения обмена информацией между этими органами. В них обрабатывается как общедоступная информация, так и информация ограниченного доступа.

На данный момент в Российской Федерации приняты нормативные правовые акты, регламентирующие необходимость защиты информации, содержащейся в государственной информационной системе. Федеральный закон (далее – ФЗ) № 149-ФЗ от 27 июля 2006 г. «Об информации, информационных технологиях и о защите информации» обязывает владельца информации и оператора информационной системы, обеспечивать защиту информации от неправомерного доступа, уничтожения, модифицирования, блокирования, копирования, предоставления, распространения и иных неправомерных действий (ст.14 п.9) путем принятия правовых, организационных и технических мер, направленных на соблюдение конфиденциальности информации ограниченного доступа и реализацию права на доступ к общедоступной информации (ст.16). В соответствии с ФЗ № 149-ФЗ утверждены требования о защите информации Приказом ФСТЭК России от 11 февраля 2013 г. № 17 «Об утверждении требований о защите информации, не составляющей государственную тайну, содержащейся в государственных информационных системах», которые являются обязательными к исполнению.

Дальнейшее развитие требования к защите информации получили в приказе ФСТЭК России № 31 от 14 марта 2014 г. «Об утверждении требований к обеспечению защиты информации в автоматизированных системах управления производственными и технологическими процессами на критически важных объектах, потенциально опасных объектах, а также объектах, представляющих повышенную опасность для жизни и здоровья людей и для окружающей природной среды». Этот документ создан на основе приказа №17 и развивает его перечень мер защиты восемью группами мер и в каждую из групп добавляет пункт *.0 (нулевая мера) «разработка правил и процедур (политик) ...». Данное требование в каждой из групп мер является обязательным для выполнения информационных систем всех классов защищенности.

Построение системы защиты информации информационной системы (далее – СИ ИС) начинается с определения требований к ней с учетом ГОСТ Р 51583-

2014 «Защита информации. Порядок создания автоматизированных систем в защищенном исполнении. Общие положения».

Требования к СЗИ ИС формализуются и закрепляются в техническом задании на создание информационной системы (или на создание ее системы защиты) в соответствии с п.14.4 Приказа ФСТЭК России № 17. Условия, которые необходимо учитывать при его оформлении, представлены в ГОСТ 34.602-89 «Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Техническое задание на создание автоматизированной системы», ГОСТ 34.601-90 «Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Стадии создания», и ГОСТ Р 51583-2014 «Защита информации. Порядок создания автоматизированных систем в защищенном исполнении. Общие положения».

Указанные требования определяются обладателем информации или заказчиком в зависимости от класса защищенности информационной системы и выявленных угроз безопасности информации, включенных в модель угроз.

Требования в зависимости от выявленных угроз безопасности информации ГОСТ Р 51583-2014 рекомендует формировать, основываясь на оценке рисков информационной безопасности (далее – ИБ), согласно ГОСТ Р ИСО/МЭК 27005 - 2010 «Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Менеджмент риска информационной безопасности».

После того как были сформированы требования к СЗИ ИС необходимо выбрать меры реализации требований к СЗИ ИС. В Приказе ФСТЭК России № 17 в приложении №2 представлены базовые наборы мер защиты информации для соответствующих классов защищенности информационных систем. При оценке рисков могут быть выявлены угрозы безопасности информации, блокирование которых мерами защиты, приведенными в Приказе ФСТЭК России № 17, невозможно, в таком случае могут применяться иные меры нейтрализации угроз.

В ходе эксплуатации информационной системы перед оператором встает задача анализа изменения угроз и принятия мер их нейтрализации. Приказ ФСТЭК России № 17 содержит требования по анализу инцидентов, в том числе определение источников и причин возникновения инцидентов, а также оценка их последствий в ходе эксплуатации информационной системы, и принятию мер по устранению инцидентов (п. 18.2), однако ни указанный документ, ни методический документ «Меры защиты информации в государственных информационных системах» не содержат рекомендаций по решению данной задачи.

Данную проблему позволяют решить другие стандарты в области ИБ, а именно стандарты серии 2700х.

Так, для построения системы организационно-распорядительной документации (в т.ч. политик безопасности различных уровней), создаваемой на этапе разработки СЗИ ИС, в соответствии с Приказом ФСТЭК России № 17, имеет смысл воспользоваться стандартом ГОСТ Р ИСО/МЭК 27001-2006 «Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Системы менеджмента информационной безопасности. Требования».

Для анализа изменения угроз, который заключается в периодическом пересмотре модели угроз и выявления вновь актуальных угроз, другими словами в оценке рисков ИБ, стоит применить ГОСТ Р ИСО/МЭК 27005 – 2010 «Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Менеджмент риска информационной безопасности», рекомендованный ГОСТ Р 51583 при формировании требований к СЗИ ИС.

ГОСТ Р ИСО/МЭК 27005 определяет процесс управления рисками, как циклический процесс, требующий периодической переоценки факторов риска и периодического мониторинга новых активов, угроз, уязвимостей, модификации ценности активов, вероятности реализации угроз и инцидентов.

В международной практике помимо стандарта ГОСТ Р ИСО/МЭК 27005 для управления рисками ИБ используется ГОСТ Р ИСО 31000-2010 «Менеджмент риска. Принципы и руководство» и к нему дополнение ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010—2011 «Менеджмент риска. Методы оценки риска», который содержит рекомендации по выбору и применению методов оценки риска.

После оценки рисков оператором информационной системы должно быть принято решение о принятии мер и средств для снижения, сохранения, предотвращения или переоценки риска на основании определенных критериев оценки риска, его влияния и принятия риска.

Выбор мер и средств защиты информации может осуществляться как из состава мер, представленных в Приказе ФСТЭК России № 17, так и из иных источников. В качестве иного источника ГОСТ Р 51583 -2014 рекомендует обратиться к ГОСТ Р ИСО/МЭК 27002 – 2012 «Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Свод норм и правил менеджмента информационной безопасности», содержащий требования, меры и средства защиты информации и рекомендации по их реализации.

Таким образом, в ходе построения системы защиты информации государственной информационной системы могут применяться не только нормативно-правовые акты Российской Федерации, но и международные стандарты. Так для формирования требований к СЗИ ИС, анализа изменения угроз и принятия мер их нейтрализации применяются ГОСТ Р ИСО/МЭК 27005 – 2010 «Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Менеджмент риска информационной безопасности» и ГОСТ Р ИСО/МЭК 27002 – 2012 «Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Свод норм и правил менеджмента информационной безопасности», а для разработки организационно-распорядительной документации (в частности политик безопасности различного уровня) применяется ГОСТ Р ИСО/МЭК 27001 – 2006 «Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Системы менеджмента информационной безопасности. Требования».

Применение семейства стандартов 2700х дает возможность организации, использующей данную информационную систему, определить собственный подход к управлению рисками в зависимости от области применения информационной системы, выбрать компенсирующие меры нейтрализации появившихся

угроз, а также получить сертификат соответствия системы управления ИБ требованиям стандарта ГОСТ Р ИСО/МЭК 27001 – 2006 «Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности.

Внедрение системы управления ИБ в соответствии с требованиями стандартов серии ИСО/МЭК 2700х, позволит построить управляемый процесс обеспечения ИБ, оптимизировать затраты на ее обеспечение, понизить уровень рисков, связанных с ИБ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Евстратенко Е. С. Построение системы защиты информации государственной информационной системы с учетом политик информационной безопасности, разработанных в соответствии с ГОСТ Р ИСО/МЭК 27001 [Текст] / Е. С. Евстратенко, В. В. Селифанов, У. В. Таратынова // Научные исследования: от теории к практике: материалы VII Междунар. науч.-практ. конф. (Чебоксары, 13 март 2016 г.) / редкол.: О. Н. Широков [и др.]. – Чебоксары: ЦНС «Интерактив плюс», 2016. – № 1 (7).

2. Евстратенко Е. С. Построение системы защиты информации государственной информационной системы с учетом управления рисками информационной безопасности [Текст] / Е. С. Евстратенко, В. В. Селифанов, А. А. Старикова // Научные исследования: от теории к практике: материалы VII Междунар. науч.-практ. конф. (Чебоксары, 13 март 2016 г.) / редкол.: О. Н. Широков [и др.]. – Чебоксары: ЦНС «Интерактив плюс», 2016. – № 1 (7).

3. Селифанов В.В. Испытания системы защиты информации государственной информационной системы // Вестник Науки и Творчества, 2016. – № 4 (4).

4. Селифанов В.В. Классификация автоматизированных систем // Science Time, 2016. – № 4 (28).

5. Селифанов В.В. Оценка эффективности системы защиты информации государственных информационных систем от несанкционированного доступа [Текст] // Интеграция науки, общества, производства и промышленности: сборник статей Международной научно-практической конференции, 2016. С. 109-113.

© Д. Г. Макарова, А. А. Старикова, У. В. Таратынова, 2017

АРТИЛЛЕРИЙСКИЙ СНАРЯД ДЛЯ НАРЕЗНОГО ОРУЖИЯ С ВЕДУЩИМ ПОЯСКОМ НОВОГО ТИПА

Анатолий Васильевич Гуськов

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, доктор технических наук, доцент кафедры газодинамических импульсных устройств, тел. (383)346-25-65, e-mail: a.guskov@corp.nstu.ru

Константин Евгеньевич Милевский

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, кандидат технических наук, доцент кафедры газодинамических импульсных устройств, тел. (383)346-25-65, e-mail: gdd@craft.nstu.ru

Надежда Федоровна Чайка

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры наносистем и оптоэлектроники, тел. (383)343-91-11, e-mail: kaf.nio@ssga.ru

Ярослав Сергеевич Зезюлинский

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, студент, тел. (383)225-24-64, e-mail: stroncyi@yandex.ru

Предложен новый тип ведущего пояска, изготовленного из материала корпуса снаряда для снижения износа канала ствола, возникающего при использовании традиционного медного ведущего пояска или стального ведущего пояска той же формы.

Ключевые слова: ведущий поясок, сталь, давление, новый тип.

ARTILLERY PROJECTILE FOR RIFLED WEAPON WITH NEW TYPE MASTER BELT

Anatoly V. Guskov

Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia, Novosibirsk, 20 K. Marksa Prospekt, Ph. D., Associate Professor of Department of Gas-dynamic Impulse Devices, tel. (383)346-25-65, e-mail: gdd@craft.nstu.ru

Konstantin E. Milevskyi

Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia, Novosibirsk, 20 K. Marksa Prospekt, Ph. D. Associate Professor of Department of Gas-dynamic Impulse Devices, tel. (383)346-25-65, e-mail: gdd@craft.nstu.ru

Nadegda F. Chayka

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., Ph. D., Associate Professor of Nanosystems and Optical Engineering, tel. (383)343-91-11, e-mail: kaf.nio@ssga.ru

Yaroslav S. Zezyulinsky

Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia, Novosibirsk, 20 K. Marksa Prospekt, student, tel. (383)225-24-64, e-mail: stroncyi@yandex.ru

The proposed new type of the masterbelt made of a material of the projectile body to reduce wear of the bore arising from the use of traditional copper belt or steel belt of same shape.

Key words: master belt, copper, pressure, new type.

Взаимодействие корпуса снаряда с каналом ствола при выстреле обеспечивается ведущим пояском (ВП) и сопровождается интенсивной пластической деформацией материала ВП при формировании боевого выступа для обеспечения вращения снаряда на начальном участке движения и обтюрации пороховых газов. При движении снаряда по каналу ствола температуры на поверхности ВП, который представляет собой кольцо из меди М1, закрепленное механическим способом на снаряде, достигает значительных величин, что приводит к плавлению приповерхностных слоев материала М1. Исследования показали, что в результате интенсивного теплового воздействия приповерхностный слой материала ВП рекристаллизуется и частично переходит в расплавленное состояние, что служит причиной переноса материала его тонких приповерхностных слоев на поверхность канала ствола, т.е. омеднения. Кроме того материал М1 обладает невысокими механическими свойствами (предел текучести $\sigma_{\text{в}}$ около 240 МПа), что ограничивает прочность боевого выступа при ведении по каналу ствола [1, 2, 3].

Предлагается изготавливать ВП из материала корпуса снаряда, т.е. стали, температура плавления которой составляет 1500°C. По результатам численного моделирования и металлографических исследований было установлено, что температура материала ведущего пояса, выполненного из материала корпуса снаряда, не достигала температуры плавления в процессе высокоскоростного скольжения снаряда по профильной поверхности канала ствола [4, 5]. Однако замена материала М1 при использовании формы традиционного кольцеобразного ВП на сталь увеличивает удельное давление в процессе пластического деформирования при формировании боевых выступов на ВП вследствие его ширины, что приводит к ограниченности свободных пространств (только вдоль оси снаряда) для деформированного материала [6].

Поставленная задача достигается тем, что ведущий поясок составляет с корпусом единое целое и выполнен из одного с ним материала [7]. ВП представляет собой кольцевые выступы, одинаковые по высоте, и гофрированные в поперечном сечении трапецеидальными канавками (рис. 1, 2).

Выступы являются удлиненными на величину форсирования по сравнению с выступами, длина которых соответствует длине типовых выступов. Ширина выступов соответствует ширине выступов аналогичного ведущего пояса типового снаряда. Ширина канавок подбирается таким образом, чтобы ширина предлагаемой модели ведущего пояса не превышала ширины ведущего пояса типового снаряда.

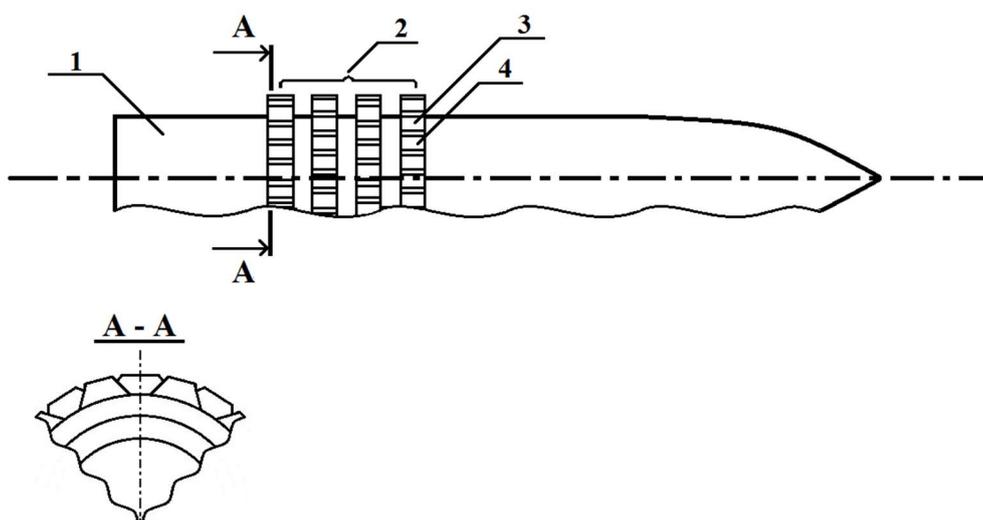


Рис. 1 Общий вид предлагаемого ведущего пояска, закрепленного на снаряде, для нарезного орудия :

1 – корпус снаряда; 2 – ведущий поясок нового типа, 3 – последовательно выполненные кольцевые гребни, 4 – трапецеидальная канавка

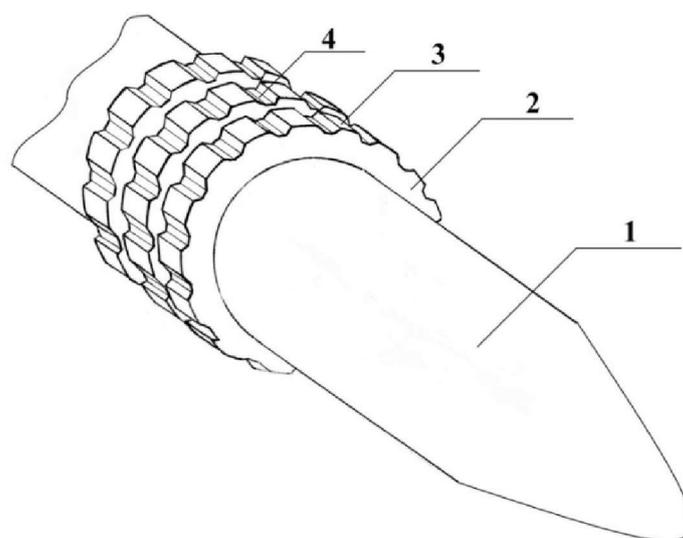


Рис. 2. Аксонометрический вид ведущего пояска с корпусом снаряда для нарезного орудия

1 – корпус снаряда; 2 – ведущий поясок нового типа; 3 – последовательно выполненные кольцевые гребни; 4 – трапецеидальная канавка

В момент захода снаряда в канал ствола выступы ведущего пояска деформируются в соответствии с профилем канала ствола в тангенциальном и радиальном направлениях, заполняя при этом близлежащие канавки, что способствует снижению давления в контакте ведущего пояска с каналом ствола, уменьшению затрат энергии на продавливание боеприпаса и, как следствие,

увеличению дальности стрельбы. Вытесняемый материал гребней свободно размещается в близлежащих канавках между выступами.

Таким образом, предлагаемый ведущий поясок, который выполнен в виде кольцевых выступов в продольном сечении прямоугольной формы, гофрированные в поперечном сечении трапецеидальными канавками, обладает повышенной износостойкостью канала ствола и дальностью стрельбы за счет снижения давления в контакте «ведущий поясок - снаряд - канал ствола орудия» при вхождении ведущего пояска в канал ствола орудия и при движении снаряда по каналу орудия.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Zezulinsky J. Mathematical modeling of heat friction contact master belt with the gun mount barrel during the process of high-speed motion / J. Zezulinsky, A. Guskov, K. Milevsky // MATEC Web of Conferences. - 2016. - Vol. 72 : Heat and mass transfer in the system of thermal modes of energy – technical and technological equipment (HMTTSC-2016). - Art. 01132 (3 p.).

2. Теплоперенос в процессе высокоскоростного разгона типового ведущего пояска по каналу артиллерийской установки / А. В. Гуськов, К. Е. Милевский, Н. Ф. Чайка, Я. С. Зезюлинский // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015. XI Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «СибОптика-2015» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 13–25 апреля 2015 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2015. Т. 3. – С. 107–111.

3. Теплоперенос на поверхности фрикционного контакта пары "ведущий поясок - канал ствола" в процессе высокоскоростного разгона / А. В. Гуськов, Я. С. Зезюлинский, К. Е. Милевский, Е. О. Неживых // Наука. Промышленность. Оборона : тр. 16 Всерос. науч.-техн. конф., посвящ. 70-летию Победы Великой Отечественной войне (Новосибирск, 22–24 апр. 2015 г.). – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2015. – С. 259-261. – 100 экз. – ISBN 978-5-7782-2646-3.

4. Численное моделирование процесса теплопроводности при высокоскоростном разгоне стального ведущего пояска по каналу артиллерийской установки / А. В. Гуськов, Я. С. Зезюлинский, К. Е. Милевский // Актуальные проблемы современной механики сплошных сред и небесной механики : Международная молодежная научная конференция. – Томск : ТГУ, 2015. ISBN 978-5-7511-2411-3

5. Зезюлинский Я.С. Металлографическое исследование процесса высокоскоростного разгона стального ведущего пояска по каналу ствола артиллерийской установки / Я.С.Зезюлинский ; науч. рук. А. В. Гуськов // Вооружение, военная техника и боеприпасы : форум лучших студентов техн. вузов России, 10 междунар. выставка «Вооружение, военная техника и боеприпасы» (RussiaArmsExpo 2015), Нижний Тагил, 10 сент. 2015 г. : сб. науч. ст. В 2 ч. – Москва : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2015. – Ч. 1. – С. 172–176.

6. Пат. 149768 Российская Федерация, F42B 14/02. Артиллерийский снаряд к нарезному оружию / Гуськов А.В., Милевский К.Е., Хребтова М.С.; заявитель и патентообладатель Новосиб. гос. тех. ун-т. - № 2014128916/11; заявл. 14.07.14; опубл. 20.01.15, Бюл. №2.

7. Пат. 165297 Российская Федерация, F42B 12/00 / F42B 14/02. Артиллерийский снаряд для нарезного оружия / Гуськов А.В., Милевский К.Е., Вольф Н.А., Зезюлинский Я.С.; заявитель и патентообладатель Новосиб. гос. тех. ун-т. - № 2015153599/03; заявл. 14.12.15; опубл. 10.10.16, Бюл. №28.

© А. В. Гуськов, К. Е. Милевский, Н. Ф. Чайка, Я. С. Зезюлинский, 2017

СОДЕРЖАНИЕ

1. <i>П. А. Фомин, В. С. Айрапетян.</i> Анализ эффективности подавления волны газовой детонации химически инертными микрочастицами при различных начальных давлениях	3
2. <i>Д. Е. Демидов, В. Н. Легкий, И. Д. Фисун, А. Р. Читава.</i> Интегрированный комплекс инженерно-технических средств охраны и системы контроля и управления доступом	7
3. <i>М. А. Адушинова, Л. В. Шебалкова, В. Г. Эдвабник, В. Н. Легкий.</i> Антенная решетка для интегрированных локационных систем с цифровым пространственным диаграммообразованием	13
4. <i>Е. А. Хмельников, К. В. Смагин, Т. Е. Заводова.</i> Математическое моделирование процессов, протекающих при высокоскоростном взаимодействии ударников на основе фторполимеров с преградами на основе алюминия	19
5. <i>М. В. Орлова, В. Г. Эдвабник, О. В. Санков, В. Н. Легкий.</i> Комплексование каналов помехоустойчивой бортовой локационной системы с цифровой обработкой сигналов	24
6. <i>И. В. Борисова, В. Н. Легкий, С. А. Кравец.</i> Применение ориентации градиента яркости для автосопровождения целей	30
7. <i>Ю. А. Печенкин, В. А. Колесников, С. А. Буднов, В. Г. Эдвабник.</i> Оптический датчик с секторной зоной обнаружения объекта	36
8. <i>В. С. Айрапетян, М. А. Кислин.</i> Модернизация патронов для стрелкового оружия	41
9. <i>В. С. Корнеев.</i> Модуляционный метод измерения сверхмалых перемещений подвижных элементов МЭМС	54
10. <i>М. Н. Бондарь, А. Д. Лаптева, С. А. Буднов.</i> Триангуляционный лазерный дальномер	58
11. <i>В. С. Айрапетян, Т. В. Маганакова.</i> Спектрохимические особенности тринитротолуола в широкой области частот	63
12. <i>Н. Н. Бардачевский, В. А. Литовченко, Д. В. Гришаев.</i> Применение и развитие приборов ночного видения в современной армии	68
13. <i>А. Э. Алямов, Ю. М. Фартышев, М. М. Кузнецов, Г. С. Чудакова.</i> Использование стандартизации для повышения качества специальной продукции на примере работы АО «НИИЭП» с техническими комитетами по стандартизации Российской Федерации	76
14. <i>Л. В. Шебалкова.</i> Моделирование сигнала, отраженного от морской поверхности	81
15. <i>В. Г. Эдвабник, С. Г. Механошин, М. М. Кузнецов.</i> Об упругости сред с порами и жесткими включениями	85

16. <i>А. А. Борсук, Е. В. Проскуряков, В. В. Молодоженев.</i> Расчет поражающего действия «шахид-мобилей».....	91
17. <i>Д. Ю. Сидоров, М. М. Кузнецов.</i> Установка для напыления в вакууме топологического тонкопленочного рисунка гибридной микросхемы на подложку.....	97
18. <i>М. С. Комбаров, М. М. Кузнецов.</i> Современные оптико-электронные средства наблюдения, разведки и прицеливания для стрелкового оружия нормального калибра.....	104
19. <i>В. С. Кулик, В. Б. Ромодин.</i> Антенная система малогабаритного радара с синтезированной апертурой	108
20. <i>Д. Ю. Сидоров, Л. В. Григорьева, С. В. Юркова.</i> Технология изготовления микросхемы методом вакуумного напыления	113
21. <i>В. Б. Ромодин, В. С. Кулик.</i> Микрополосковый делитель для антенной решетки малогабаритного радара с синтезированной апертурой.....	119
22. <i>В. Г. Эдвабник, С. Г. Механошин, М. М. Кузнецов.</i> К расчету параметров упругого контактного слоя	123
23. <i>В. В. Перевозчиков, А. А. Круглова, М. Н. Бондарь.</i> Повышение точности бортового вариометра с помощью алгоритма фильтрации данных с барометрического датчика	128
24. <i>В. С. Айрапетян, Г. А. Куриленко.</i> Анализ точности определения индивидуальных пределов выносливости термографическим способом.....	134
25. <i>С. А. Писарев, Ю. Б. Брызгалов, Д. В. Чирков, Ю. С. Фархетдинова.</i> О повышении значимости системной методологии в развитии образования, науки, боевого стрелкового оружия и укреплении безопасности страны.....	141
26. <i>В. Н. Легкий, В. Г. Эдвабник, В. А. Шумейко, С. А. Буднов.</i> Алгоритм лазерной локации и распознавания объектов по трехмерному изображению	146
27. <i>Е. В. Манжос, Н. А. Какуткина, А. А. Коржавин, А. В. Вьюн.</i> Факторы обеспечения безопасности движения горючих газовых смесей через инертную пористую среду.....	153
28. <i>В. И. Оздобихин, В. Б. Ромодин, В. С. Кулик.</i> Использование векторного синтеза при проектировании волноводно-щелевых антенн.....	157
29. <i>А. С. Коваленко, А. А. Слободяненко, Л. В. Шебалкова.</i> Электродинамическое моделирование характеристик антенн бегущей волны СВЧ-диапазона с расширяющимся раскрывом	161
30. <i>М. И. Гулькова, Н. Д. Калюжный, С. Ю. Калюжный, Н. Н. Кашун.</i> Инженерный метод расчета зависимости изменения параметров полупроводниковой техники при ускоренных испытаниях	167
31. <i>М. В. Орлова.</i> Исследование преимуществ комплексирования каналов локационной системы.....	172
32. <i>С. А. Кравец, В. Н. Легкий, В. А. Шумейко.</i> Оптоэлектронные системы: вычислительные методы распознавания изображений	177

33. <i>П. А. Фомин.</i> Исследование механизма распространения взрывной волны в химически активной пузырьковой смеси	184
34. <i>А. А. Старикова, Д. Г. Макарова.</i> Оценка эффективности управления системой защиты информации в государственных информационных системах	188
35. <i>В. В. Селифанов, Д. Г. Макарова, Д. Д. Клипов, А. А. Рябцева.</i> Способ моделирования процессов управления системы защиты информации ИВ устройств.....	193
36. <i>П. А. Звягинцева, О. А. Крыжановская.</i> Оценка эффективности средств защиты информации	199
37. <i>В. В. Селифанов, П. А. Звягинцева, Я. В. Юракова, И. С. Слонкина.</i> Применение методов автоматизации при определении актуальных угроз безопасности информации в информационных системах с применением банка данных угроз ФСТЭК России	202
38. <i>А. Г. Черевко, В. В. Кубарев.</i> Измерение эффективной площади рассеивания объектов сложной конфигурации с использованием Новосибирского лазера на свободных электронах	210
39. <i>А. Г. Черевко, Ю. В. Моргачев.</i> Особенности моделирования графеновых антенн терагерцового диапазона	215
40. <i>В. В. Селифанов, П. А. Звягинцева, А. С. Голдобина, Ю. А. Исаева.</i> Оценка эффективности системы защиты информации ИСПДН с учетом профиля защиты	220
41. <i>Д. Г. Макарова, А. А. Старикова, У. В. Таратынова.</i> Построение системы защиты информации государственной информационной системы с применением международных стандартов.....	226
42. <i>А. В. Гуськов, К. Е. Милевский, Н. Ф. Чайка, Я. С. Зезюлинский.</i> Артиллерийский снаряд для нарезного оружия с ведущим пояском нового типа	231

CONTENTS

1. <i>P. A. Fomin, V. S. Ayrapetyan.</i> Analysis of the Efficiency of Gas Detonation Wave Suppression by Chemically Inert Microparticles at Different Initial Pressures.....	3
2. <i>D. E. Demidov, V. N. Legkiy, I. D. Fisun, A. R. Chitava.</i> Integrated Complex of Engineering and Technical Means of Arming and Control and Access Control System.....	7
3. <i>M. A. Adushinova, L. V. Shebalkova, V. G. Edvabnik, V. N. Legkiy.</i> Integrated Location Systems Antenna Array with Digital Beamforming.....	13
4. <i>E. A. Khmel'nikov, K. V. Smagin, T. E. Zavodova.</i> Numerical Modeling of High-Speed Interaction Processes Between Fluoropolymer Projectiles and Aluminum-Based Targets	19
5. <i>M. V. Orlova, V. G. Edvabnik, O. V. Sankov, V. N. Legkiy.</i> On-Board Antijamming Location System Channels Complexing with Digital Processing	24
6. <i>I. V. Borisova, V. N. Legkiy, S. A. Kravets.</i> Application of the Gradient Orientation for Automatic Target Detection	30
7. <i>Yu. A. Pechenkin, V. A. Kolesnikov, S. A. Budnov, V. G. Edvabnik.</i> Optical Sensor with Sectorial Detection Area	36
8. <i>V. S. Ayrapetyan, M. A. Kislin.</i> Modernization of Cartridges for Small Arms.....	41
9. <i>V. S. Korneyev.</i> Modulation Method of Measuring of Ultra-Small Mobile Elements Mems Movements.....	54
10. <i>M. N. Bondar, A. D. Lapteva, S. A. Budnov.</i> Triangular Laser Rangefinder	58
11. <i>V. S. Ayrapetyan, T. V. Maganacova.</i> Spectrochemical Features of TNT in a Wide Frequency Area.....	63
12. <i>N. N. Bardachevsky, V. A. Litovchenko, D. V. Grishaev.</i> Application and Development of Night Vision Instruments in the Modern Army	68
13. <i>A. E. Alamov, Yu. M. Fartyshev, M. M. Kuznetsov, G. S. Chudakova.</i> The Use of Standardization to Improve the Quality of Special Products on the Example of Js NiiEP with Technical Committees on Standardization of the Russian Federation.....	76
14. <i>L. V. Shebalkova.</i> Radar Sea Clutter Simulation	81
15. <i>V. G. Edvabnik, S. G. Mekhanoshin, M. M. Kuznetsov.</i> About Elastic Media with Pores and Rigid Inclusions.....	85
16. <i>A. A. Borsuk, E. V. Proskuryakov, V. V. Molodozhenov.</i> The Calculation of the Damaging Effect of «Shaheed-Mobile».....	91
17. <i>D. Yu. Sidorov, M. M. Kuznetsov.</i> Installation for Spraying in Vacuum Topological Pattern of Thin-Film Hybrid Circuits on a Substrate	97

18. <i>M. S. Kombarov, M. M. Kuznetsov.</i> Modern Optical Elektronne Surveillance, Reconnaissance and Targeting for Small Arms Normal Caliber	104
19. <i>V. S. Kulik, V. B. Romodin.</i> Compact Sizedsynthetic Aperture Radar Antenna System	108
20. <i>D. Yu. Sidorov, L. V. Grigorieva, S. V. Yurkova.</i> The Technology of Chip Fabrication by the Vacuum Deposition	113
21. <i>V. B. Romodin, V. S. Kulik.</i> Microstrip Divider for Compactsynthetic Aperture Radar Antenna Array	119
22. <i>V. G. Edvabnik, S. G. Mekhanoshin, M. M. Kuznetsov.</i> Calculation of Parameters of the Elastic Contact Layer	123
23. <i>V. V. Perevozchikov, A. A. Kruglova, M. N. Bondar.</i> Improving Accuracy of Onboard Vario by Filtering Data From Barometric Sensor	128
24. <i>V. S. Ayrapetyan, G. A. Kurilenko.</i> Analysis of Individual Endurance Limits Determination Precision by Thermographic Method	134
25. <i>S. A. Pisarev, Yu. B. Brizgalov, D. V. Chirckov, Yu. S. Farkhetdinova.</i> About the Increasing of the Importans of the Systems Methodology in the Development of Education, Science, Military Small Arms and The Strengthening of the Security of the Country	141
26. <i>V. N. Legkiy, V. G. Edvabnik, V. A. Shumeyko, S. A. Budnov.</i> Algorithm of Laser Location and Object Recognition for 3d Image	146
27. <i>E. V. Manzhos, N. A. Kakutkina, A. A. Korzhavin, A. V. V'yun.</i> The Factors Providing Safety of Motion of Combustible Gas Mixture Through an Inert Porous Medium	153
28. <i>V. B. Oznobihin, V. B. Romodin, V. S. Kulik.</i> Using of Vector Synthesis in the Design of Waveguide Slot Antennas	157
29. <i>A. S. Kovalenko, A. A. Slobodyanenko, L. V. Shebalkova.</i> Electromagnetic Modeling the Characteristics of the X-Band Traveling Wave Antenna with a Aperture Enlargement	161
30. <i>M. I. Gulkova, N. D. Kalyuzhnyy, S. Yu. Kalyuzhnyy, N. N. Kashun.</i> Engineering Method of the Semiconductor Devices Parameter Changes Under Acceleration Tests	167
31. <i>M. V. Orlova.</i> Investigation of the Complex Multichannel Location System Advantages	172
32. <i>S. A. Kravets, V. N. Legkiy, V. A. Shumeyko.</i> Optoelectronic Systems: Methods of Object Recognition	177
33. <i>P. A. Fomin.</i> Investigation of Explosion Wave Propagation Mechanism in Chemically Active Bubble Systems	184
34. <i>A. A. Starikova, D. G. Makarova.</i> Evaluation of the Efficiency of Managing the Information Protection System in State Information Systems	188
35. <i>V. V. Selifanov, D. G. Makarova, D. D. Klipov, A. A. Ryabceva.</i> Method of Modelling Management Processes of Information Security System Internet of Things	193
36. <i>P. A. Zviagintcheva, O. A. Kryzhanovskaya.</i> Assessment of Effectiveness of Information Protection Facilities	199

37. V. V. Selifanov, P. A. Zviagintcheva, Ya. V. Yurakova, I. S. Slonkina. Application of Methods of Automation in Determining the Relevant Threats to the Security of Information in Information Systems Using the Data Bank of the Threats of the FSTEC of Russia.....	202
38. A. G. Cherevko, V. V. Kubarev. Radar Cross-Section Measurement by Objects of Complex Geometrical Shape Using Novosibirsk Free Electron Laser.....	210
39. A. G. Cherevko, Yu. V. Morgachev. Features Simulation of Graphene Antennas for Terahertz.....	215
40. V. V. Selifanov, P. A. Zviagintcheva, A. S. Goldobina, Ju. A. Isaeva. Assessment of Efficiency Information Protection System Personal Data Taking Into Account Security Profile.....	220
41. D. G. Makarova, A. A. Starikova, U. V. Taratynova. Construction of the Information System Protection System of the State Information System with the Application of International Standards.....	226
42. A. V. Guskov, K. E. Milevskiy, N. F. Chayka, Ya. S. Zezyulinsky. Artillery Projectile for Rifled Weapon with New Type Master Belt.....	231

Научное издание

ХIII Международные научный конгресс и выставка

ИНТЕРЭКСПО ГЕО-СИБИРЬ-2017

Национальная научная конференция

«Наука. Оборона. Безопасность-2017»

Сборник материалов

Материалы публикуются в авторской редакции

Компьютерная верстка *К. В. Ионко*

Изд. лиц. ЛР № 020461 от 04.03.1997.

Подписано в печать 24.05.2017. Формат 60 × 84 1/16

Печать цифровая.

Усл. печ. л. 14,00. Тираж 100 экз. Заказ

Редакционно-издательский отдел СГУГиТ
630108, Новосибирск, 108, ул. Плахотного, 10.

Отпечатано в картопечатной лаборатории СГУГиТ
630108, Новосибирск, 108, ул. Плахотного, 8.