

H&ES RESEARCH

Научно-технический журнал

Scientific and Technical Journal

НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ ЗЕМЛИ

HIGH TECHNOLOGIES IN EARTH SPACE RESEARCH

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

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

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

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

ИНДЕКСИРОВАНИЕ ЖУРНАЛА H&ES RESEARCH

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

Все номера журнала находятся в свободном доступе на сайте журнала www.hes.ru и библиотеке elibrary.ru.

Всем авторам, желающим разместить научную статью в журнале, необходимо оформить ее согласно требованиям и направить материалы на электронную почту: HT-ESResearch@yandex.ru. С требованиями можно ознакомиться на сайте: www.H-ES.ru.

Язык публикаций: русский, английский.
Периодичность выхода – 6 номеров в год.
Свидетельство о регистрации СМИ ПИ № ФС 77-60899 от 02.03.2015
Территория распространения: Российская Федерация, зарубежные страны

Тираж 1000 экз. Цена 1000 руб.
Плата с аспирантов за публикацию рукописи не взимается.

© ООО «ИД Медиа Паблшер», 2020

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

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

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

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

JOURNAL H&ES RESEARCH INDEXING

All issues of the journal are in a free access on a site of the journal www.hes.ru and elibrary.ru.

All authors wishing to post a scientific article in the journal, you must register it according to the requirements and send the materials to your email: HT-ESResearch@yandex.ru. The requirements are available on the website: www.H-ES.ru.

Language of publications: Russian, English.
Periodicity – 6 issues per year.
Media Registration Certificate PI No. FS77-60899. Date of issue: March 2, 2015.
Distribution Territory: Russian Federation, foreign countries

Circulation of 1000 copies. Price of 1000 Rub.
Postgraduate students for publication of the manuscript will not be charged

© "Media Publisher", LLC 2020

Учредитель:

ООО «ИД Медиа Паблшер»

Издатель:

ДЫМКОВА С.С.

Главный редактор:

ЛЕГКОВ К.Е.

Редакционная коллегия:

БОБРОВСКИЙ В.И., д.т.н., доцент;

БОРИСОВ В.В., д.т.н., профессор,

Действительный член академии

военных наук РФ;

БУДКО П.А., д.т.н., профессор;

БУДНИКОВ С.А., д.т.н., доцент,

Действительный член Академии

информатизации образования;

ВЕРХОВА Г.В., д.т.н., профессор;

ГОНЧАРОВСКИЙ В.С., д.т.н., профессор,

заслуженный деятель науки

и техники РФ;

КОМАШИНСКИЙ В.И., д.т.н., профессор;

КИРПАНЕВ А.В., д.т.н., доцент;

КУРНОСОВ В.И., д.т.н., профессор,

академик Международной академии

информатизации, Действительный член

Российской академии естественных наук;

МОРОЗОВ А.В., д.т.н., профессор,

Действительный член Академии

военных наук РФ;

МОШАК Н.Н., д.т.н., доцент;

ПАВЛОВ А.Н., д.т.н., профессор;

ПРОРОК В.Я., д.т.н., профессор;

СЕМЕНОВ С.С., д.т.н., доцент;

СИНИЦЫН Е.А., д.т.н., профессор;

ШАТРАКОВ Ю.Г., д.т.н., профессор,

заслуженный деятель науки РФ.

Адрес издателя:

111024, Россия, Москва,

ул. Авиамоторная, д. 8, офис 512-514.

Адрес редакции:

194044, Россия, Санкт-Петербург,

Лесной Проспект, 34-36, к. 1,

Тел.: +7(911) 194-12-42.

Адрес типографии:

Россия, Москва, ул. Складочная, д. 3, кор. 6.

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

СОДЕРЖАНИЕ

АВИАЦИОННАЯ И РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА

Жиличкин А.Г., Кучумов А.А., Чиров Д.С.

О вероятности дешифрирования трехшпальных мир..... 4

Козинев И.А., Гришин А.В.

Метод оценки надёжности интегрированных радиоэлектронных систем управления космическими аппаратами на стадии эксплуатации..... 13

РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

Гольдштейн А.Б., Кисляков С.В., Нгуен З.К.

Трансформация подходов к управлению современными сетями связи..... 20

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Анисимов О.В., Коробко В. А., Догадов А.С., Зюзина А.Д.

Способ формирования дескриптивной модели процесса оперативного восстановления изделий ВВТ группировки ПВО на основе онтологий..... 30

Беляев С.А.

Применение вероятностных и временных автоматов в программах управления многоагентных систем 47

Гетманская И.В.

нелинейное оценивание парной однопараметрической регрессии в условиях недостатка статистики 54

Мирошниченко Е. Л., Новожилов А.С., Волкова А.А., Булавкин А.А.

Состояние и предложения по перспективе развития средств доставки носителей сведений ограниченного доступа..... 63

Михайлов Р.Л.

Задача распределения ресурса в информационном конфликте: формализация и пути решения..... 77



CONTENTS

AVIATION, SPACE-ROCKET HARDWARE

Zhilichkin A.G., Kuchumov A.A., Chirov D.S. On the probability of decryption of three-spanned test-object.....	4
Kozinov I.A. Grishin A. V. Method of reliability assessment of integrated radio-electronic systems of spacecraft control at the stage of operation	13

RF TECHNOLOGY AND COMMUNICATION

Goldstein A. B., Kislyakov S. V., Nguyen D. C. Transformation of approaches to management of modern communications networks....	20
---	----

INFORMATICS, COMPUTER ENGINEERING AND CONTROL

Anisimov O.V., Korobko V.A., Dogadov A. S., Zyuzina A. D. A descriptive model of the air defense group weapons and military equipment operative restoration process formation method based on ontologies	30
Belyaev S.A. Application of probabilistic and time automata in control programs of multi-agent systems	47
Getmanskaya I.V. Nonlinear estimation steamy one-parameter regression in terms of lack of statistics	54
Miroshnichenko E.L., Novozhilov A.S., Volkova A. A., Bulavkin A.A. Status and proposals for the future development of devices of delivery of carriers of limited access information	63
Mikhailov R.L. The problem of resource allocation in the information conflict: formalization and solutions.....	77

Founder:

"Media Publisher", LLC

Publisher:

DYMKOVA S.S.

Editor in chief:

LEGKOV K.E.

Editorial board:

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

Address of publisher:

111024, Russia, Moscow,
st. Aviamotornaya, 8, office 512-51

Address of edition:

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

Address of printing house:

Russia, Moscow, st. Skladochnaya, 3, h. 6

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



doi: 10.36724/2409-5419-2020-12-3-4-12

О ВЕРОЯТНОСТИ ДЕШИФРИРОВАНИЯ ТРЕХШПАЛЬНЫХ МИР

ЖИЛИЧКИН**Алексей Геннадьевич¹****КУЧУМОВ****Андрей Александрович²****ЧИРОВ****Денис Сергеевич³****АННОТАЦИЯ**

Оценка пространственного разрешения и линейного разрешения на местности является важной задачей контроля качества целевой аппаратуры космических комплексов дистанционного зондирования Земли. Общепринятым, прямым способом оценки линейного разрешения на местности считается визуальное дешифрирование изображений тест-объектов, представляющих собой специальные штриховые миры. Целью данной статьи является разработка методики оценки вероятности дешифрирования стандартной трехшпальной миры с пространственной частотой штрихов равной частоте Найквиста по существующим критериям дешифрирования. На основе формулировок критерия визуального дешифрирования материалов аэрокосмической съемки выводятся выражения пригодные для расчета вероятности дешифрирования трехшпальной штриховой миры с пространственной частотой соответствующей частоте Найквиста. Обосновывается возможность использования полученных выражений для априорной и апостериорной оценки качества материалов наблюдения. Оценка работоспособности методики проводилась математическим моделированием с использованием «строгого» и «мягкого» критерия дешифрирования изображения. «Мягкий» критерий дешифрирования допускает возможность наличия «перемычек» между соседними штрихами миры на изображении. Из результатов моделирования следует, что для достижения одинаковой вероятности дешифрирования по «строгому» критерию отношение сигнал/шум должно быть примерно на 1.3...1,4 дБ (25...27%) выше, чем при оценке вероятности по «мягкому» критерию дешифрирования. Рассмотренная в статье методика пригодна как для априорной оценки ожидаемого качества цифровых оптико-электронных систем, так и для их апостериорной оценки при отсутствии штриховых мир на изображениях. Достаточно информации об уровне шума, уровне полезного сигнала и используемом критерии дешифрирования. При наличии соответствующего программно-методического обеспечения для проведения оценки не требуется привлечение группы квалифицированных экспертов, достаточно одного подготовленного оператора.

Сведения об авторах:

¹к.т.н., старший научный сотрудник научно-исследовательского отдела Московского технического университета связи и информатики, г. Москва, Россия, zhilichkin@srd.mtuci.ru

²к.т.н., заместитель начальника научно-исследовательского отдела Московского технического университета связи и информатики, г. Москва, Россия, kuchumov@srd.mtuci.ru

³д.т.н., профессор Московского технического университета связи и информатики, г. Москва, Россия, chirov@srd.mtuci.ru

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: дистанционное зондирование Земли; оптико-электронная аппаратура; дешифрирование изображений; трехшпальная миры; линейное разрешение на местности.

Для цитирования: Жиличкин А.Г., Кучумов А.А., Чиров Д.С. О вероятности дешифрирования трехшпальных мир // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2020. Т. 12. № 3. С. 4-12. doi: 10.36724/2409-5419-2020-12-3-4-12



Введение

Разработка и совершенствование методического аппарата для контроля качества материалов космической съемки является одной из актуальных задач развития системы контроля качества целевой аппаратуры (ЦА) космических комплексов дистанционного зондирования Земли (КК ДЗЗ) из космоса [1–4].

Одними из наиболее важных характеристик материалов съемки, определяющих их детальность, являются пространственное разрешение и линейное разрешение на местности (ЛРМ) [4–7].

На основе анализа пространственного разрешения проводится сравнение оптических систем между собой, решаются задачи, связанные с оценкой эффективности оптических систем [8]. Пространственное разрешение и линейное разрешение на местности, наряду с точностью координатной привязки, радиометрической точностью и другими показателями указываются в технических заданиях на разработку КК ДЗЗ.

Следует отметить, что требования к линейному разрешению на местности приводятся в технических заданиях в совокупности с вероятностью, с которой данное ЛРМ должно быть оценено.

Общепринятым, прямым способом оценки ЛРМ считается визуальное дешифрирование изображений тест-объектов, представляющих собой специальные штриховые (реже радиальные) миры [9, 10]. Применение данного метода требует решения целого ряда задач: оценка вероятности дешифрирования изображения оператором визуальным способом; определение количества снимков необходимого для обеспечения заданной вероятности дешифрирования; оценка необходимого количества операторов участвующих в дешифрировании одного снимка для достижения требуемой вероятности и др. Решение данных задач, как правило, осуществляется эмпирическим путем, что недопустимо для оценки качества сложных технических систем.

Таким образом, существует явное противоречие между необходимостью подтверждения требований тех-

нических заданий и возможностями существующего методического аппарата, применяемого для подтверждения требований по обеспечению ЛРМ.

Целью данной статьи не является полное разрешение указанного противоречия, а предложено решение по оценке вероятности дешифрирования стандартной трехшпальной миры с пространственной частотой штрихов равной частоте Найквиста по существующим критериям дешифрирования.

1. Формализация задачи оценки вероятности дешифрирования трехшпальных мир

Дешифрирование стандартной трехшпальной миры обычно выполняется с использованием следующего критерия, представленного в табл. 2 [4, 11].

Определим термины «*группа штрихов*» и «*элемент миры*», которые используются в критерии дешифрирования.

Группа штрихов — три параллельных штриха с отношением ширины штриха к длине 1:5 ориентированные определенным образом.

Группы штрихов одинакового размера, ориентированные вертикально, горизонтально и наклонно, образуют *элемент миры*.

Элемент миры — группы штрихов с одинаковой пространственной частотой, ориентированные вертикально, горизонтально и наклонно (рис. 1). Иногда рассматривают только две группы штрихов — вертикальную и горизонтальную, что упрощает возможность изготовления миры и оценку ЛРМ (рис. 2). Используя приведенную терминологию на основании положений критерия дешифрирования (табл. 1) оценим вероятность его выполнения, в случае принятия на первом этапе следующих допущений:

- ширина штрихов миры равна размеру проекции пиксела оптико-электронной системы на земной поверхности (пространственная частота штрихов соответствует частоте Найквиста);

- фазовые смещения отсутствуют — положение штрихов совпадает с положением проекций пикселей оптико-электронной системы, образующей изображение (рис. 3).



Рис.1. Изображение элемента миры из четырех групп



Рис. 2. Изображение элемента миры из двух групп

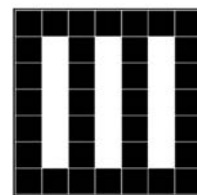


Рис. 3. Группа штрихов при отсутствии фазовых искажений

Таблица 1

Критерий дешифрирования стандартной миры

№	Критерий дешифрирования стандартной миры
1	Элемент считается разрешаемым, если в нем разрешаются все группы штрихов.
2	Разрешаемой группой считается группа, в которой:
	– можно сосчитать число штрихов и определить их ориентацию; – число штрихов группы совпадает с числом штрихов группы в её изображении;
3	– между соседними штрихами одинаковой яркости допускаются перемычки, их оптические плотности визуально не различимы от изображения штрихов в зоне слияния. Размеры перемычки не должны превышать периода группы этих штрихов.
4	Перемычки между несмежными штрихами не допускаются.

Ключевым (необходимым) положением критерия, без выполнения которого дешифрирование невозможно, следует считать пункт 2.

Разрешаемой группой считается группа, в которой:

- можно сосчитать число штрихов;
- число штрихов группы совпадает с числом штрихов группы в её изображении.

Формализуем этот пункт следующим образом.

Сосчитать число штрихов в группе и правильно оценить их количество можно, если в каждой строке изображения группы будет присутствовать модуляция сигнала яркости, показанная на рис. 4.

Яркость светлых штрихов должна быть выше уровня яркости фона для всех соседних пикселей как минимум на одну градацию яркости изображения. Только в этом случае оператор, подбирая удобный для себя контраст, яр-

кость и масштаб изображения, имеет возможность выделить регулярную структуру, которая позволяет правильно оценить число штрихов в группе.

Математически данное событие описывается выражением:

$$(((U_2 - U_1) \geq 1) \& ((U_2 - U_3) \geq 1) \& ((U_4 - U_3) \geq 1) \& ((U_4 - U_5) \geq 1) \& ((U_6 - U_5) \geq 1) \& ((U_6 - U_7) \geq 1)) \quad (1)$$

В случае если событие (1) не выполняется, то правильное дешифрирование миры невозможно независимо от физиологических особенностей оператора, его квалификации, времени дешифрирования и применяемых средств обработки [12, 13].

Если рассматривать модуляцию сигнала яркости как многомерный случайный процесс с плотностью распределения вероятностей $p(x_1, x_2, \dots, x_7)$, где x_i случайные величины с математическими ожиданиями U_i , то вероятность выполнения события (1) в общем случае определяется выражением [14]:

$$P_0 = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{x_1+1}^{\infty} \dots \int_{-\infty}^{x_6-1} p(x_1, x_2, \dots, x_7) dx_7 dx_6 \dots dx_1 \quad (2)$$

Предположим, что случайные величины x_i независимы $p(x_1, x_2, \dots, x_7) = p_1(x_1) \cdot p_2(x_2) \dots p_7(x_7)$ и описываются нормальными законами распределения с СКО σ_i и математическим ожиданием U_i :

$$p_i(x) = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi \cdot \sigma_i}} \exp\left(-\frac{(x - U_i)^2}{2 \cdot \sigma_i^2}\right), \quad (3)$$

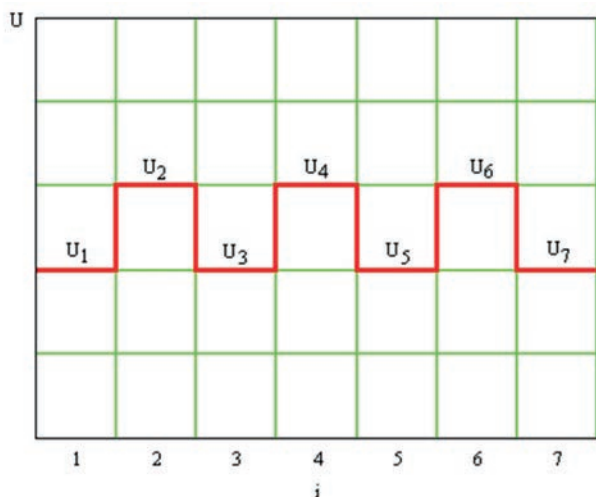


Рис. 4. Модуляция сигнала яркости в строке изображения

Тогда если принять, что ожидаемый уровень яркости светлых штрихов одинаков ($U_2=U_4=U_6=U_c$), одинаков уровень яркости фона ($U_1=U_3=U_5=U_7=U_\phi$) и равны СКО близких уровней яркости ($\sigma_i = \sigma_0$), то вероятность события (1) может быть рассчитана непосредственно по формуле (2) или с использованием приближенных выражений (4) и (5):

$$P_0 \approx \left(\frac{1}{2} \left(1 + \operatorname{erf} \frac{\Delta - 1}{2\sigma} \right) \right)^k \quad (4)$$

или

$$P_0 \approx \left(\frac{1}{2} \left(1 + \operatorname{erf} \frac{\Delta - 1}{2\sigma} \right) - \frac{1}{4} \exp \left(-\frac{a}{a+1} \cdot \frac{(\Delta - 1)^2}{2\sigma^2} \right) \cdot \sqrt{\frac{1}{a+1}} \right)^k \quad (5)$$

где $\Delta = U_c - U_\phi$ — уровень полезного сигнала;
 $\operatorname{erf}(x)$ — интеграл вероятности:

$$\operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x \exp(-t^2) dt \approx \operatorname{sign}(x) \cdot \sqrt{1 - \exp(-a \cdot x^2)}$$

$a = 1,264$ — коэффициент, используемый для приближенного вычисления функции $\operatorname{erf}(x)$;
 $\operatorname{sign}(x)$ — знак числа x ;
 k — коэффициент, учитывающий корреляцию случайных процессов ($U_{i-1} - U_i$) и ($U_i - U_{i+1}$) в событии (1), $k = 4,6$ для формулы (4); $k = 2,68$ для формулы (5).

Вывод формулы (5) не приводим из-за ограничений на размеры статьи. Специалисты могут проделать его самостоятельно.

В ходе моделирования установлено, что разница результатов расчета вероятности события (1) с использованием выражений (4) и (5) не превышает 2% при расчете вероятностей в пределах от 0,2 до 1.

Результаты расчета вероятностей P_0 для различных значений Δ и σ показаны на рис. 5

Для последующих рассуждений точность формул (4) или (5) принципиального значения не имеет и может быть уточнена в ходе дальнейших исследований.

2. Результаты оценки вероятности дешифрирования трехшпальных мир

Выполнение события (1) можно рассматривать как необходимое (но не достаточное) условие визуального дешифрирования трехшпальной штриховой миры на изображении. Формулирование достаточного условия проведем следующим образом.

Группа штрихов гарантировано дешифрируется (разрешается) по пункту 2 критерия, если событие (1) выполняется для пяти строк раstra. Назовем это условие «строгим» критерием.

Вероятность дешифрирования группы в этом случае будет равна [15]:

$$P_{gr} = P_0^5 \quad (6)$$

В тоже время, критерий дешифрирования допускает возможность наличия «перемычек» между соседними штрихами. Формализовать это допущение математически сложно. Однако можно принять «мягкий» критерий дешифрирования, когда условие (1) выполняется не менее чем для 4 строк раstra. В этом случае дешифровщик способен правильно сосчитать количество штрихов и определить их ориентацию. При выполнении условия (1) только для 3 из 5 строк раstra возможно перепутывание направления ориентации штрихов.

Для «мягкого» критерия, вероятность дешифрирования группы определяется выражением [15]:

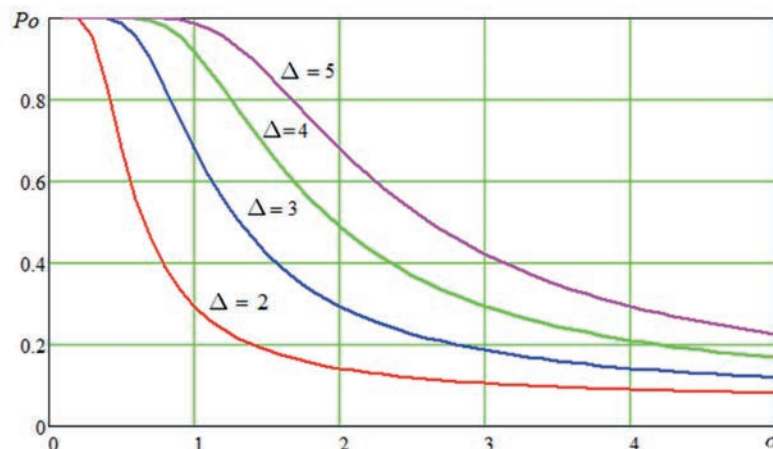


Рис. 5. Зависимости вероятности P_0 от уровня полезного сигнала Δ и уровня шума изображения штриховой миры σ

$$P_{gr} = P_0^5 + 4 \cdot P_0^4 \cdot (1 - P_0) \quad (7)$$

Зависимости вероятностей P_{gr} , рассчитанные по «строгому» (6) и «мягкому» (7) критериям, от уровня полезного сигнала Δ и уровня шума σ , показаны на рис. 6.

Анализ зависимостей показывает, что для достижения одной и той же вероятности дешифрирования по «строгому» критерию требуется обеспечить уровень шума примерно на 20% меньше, чем для получения подобного результата по «мягкому» критерию.

Как отмечено ранее выражение (4) соответствует идеальному случаю, когда на изображении отсутствуют фазовые смещения — положение штрихов совпадает с положением проекций пикселей оптико-электронной системы, образующей изображение. На практике возможно произвольное как поперечное (x), так и продольное (y) смещение раstra относительно штрихов миры. Очевидно, что в результате смещения будет иметь место изменение наблюдаемого уровня полезного сигнала $\Delta(x)$.

Поперечное смещение приводит к линейному изменению наблюдаемого полезного сигнала от максимального значения $\Delta(0) = \Delta$ при полном совпадении раstra ($x=0$) до нуля $\Delta(1/2)=0$, когда середина штриха миры попадает ровно на границу между двумя пикселями раstra $x=(1/2)$. В последнем случае во всех пикселях строки изображения будет наблюдаться постоянный уровень сигнала яркости равный $(U_c + U_{\phi})/2$, модуляция при этом будет отсутствовать $\Delta(1/2)=0$.

Зависимость полезного сигнала $\Delta(x)$ от величины поперечного смещения от 0 до 1 ($x \in [0...1]$) описывается выражением:

$$\Delta(x) = |\Delta \cdot (1 - 2 \cdot x)|,$$

где Δ — значение полезного сигнала при отсутствии смещения;

Продольное смещение (y) приводит к тому, что вместо пяти строк на изображении появляется шестая строка. Изменение уровня сигнала при продольном смещении наблюдается только в первой и последней (шестой) строках изображения, в средних строках (со второй по пятую) никаких изменений не происходит.

Зависимости уровня полезного сигнала по строкам от величины поперечного $x \in [0...1]$ и продольного $y \in [0...1]$ фазового смещения описываются зависимостями:

– для средних строк изображения (со второй по пятую):

$$\Delta_{2..5}(x, y) = |\Delta \cdot (1 - 2 \cdot x)|, \text{ где } x=0...1, \quad (8)$$

– для первой и последней строк:

$$\Delta_1(x, y) = |\Delta \cdot (1 - 2 \cdot x) \cdot y|, \text{ где } y=0...1, \quad (9)$$

$$\Delta_6(x, y) = |\Delta \cdot (1 - 2 \cdot x) \cdot (1 - y)|.$$

Так как все варианты смещения равновероятны, то можно оценить среднюю вероятность дешифрирования группы по выбранным критериям при произвольном фазовом смещении:

По «строгому» критерию, когда в группе дешифрируется не менее пяти строк из шести:

$$\overline{P_{grc}} = \int_0^1 \int_0^1 P_{2..5}(x) \cdot \left((4 \cdot P_1(x, y) \cdot P_6(x, y) + P_{2..5}(x) \times (P_1(x, y) + P_6(x, y) - 5 \cdot P_1(x, y) \cdot P_6(x, y))) \right) dx dy \quad (10)$$

где P_i — вероятности дешифрирования i -й строки с учетом зависимостей (8) и (9).

По «мягкому» критерию, когда в группе дешифрируется не менее четырех строк из шести:

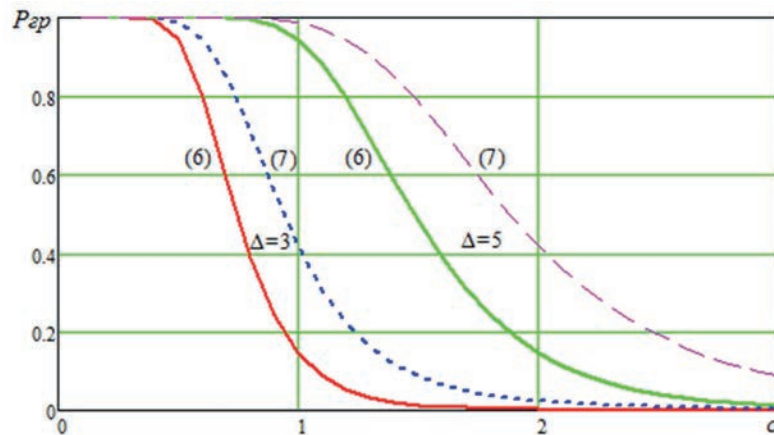


Рис. 6. Зависимости вероятностей $P_{gr}(\Delta, \sigma)$, рассчитанные по «строгому» критерию (сплошные линии) и по «мягкому» критериям (пунктирные линии) без учета фазового смещения

$$\begin{aligned} \overline{Pgr}_M &= \int_0^1 \int_0^1 [P_{2.5}(x)^4 \cdot (1 + 10 \cdot P_1(x, y) \cdot P_6(x, y) - 4 \cdot (P_1(x, y) + P_6(x, y)))] dx dy + \\ &+ \int_0^1 \int_0^1 [4 \cdot P_{2.5}(x)^3 \cdot (P_1(x, y) + P_6(x, y) - 4 \cdot P_1(x, y) \cdot P_6(x, y))] dx dy + \\ &+ \int_0^1 \int_0^1 [6 \cdot P_{2.5}(x)^2 \cdot P_1(x, y) \cdot P_6(x, y)] dx dy \end{aligned} \quad (11)$$

Несмотря на сложный вид выражений (10) и (11), в ходе моделирования их поведения, был выявлен практически линейный характер зависимости требуемого уровня полезного сигнала Δ от уровня шума σ , который позволяет обеспечить фиксированную вероятность дешифрирования группы штрихов с шириной шпалы равной проекции пиксела (на частоте Найквиста, когда ширина шпалы равна проекции пиксела).

Результаты моделирования представлены на рис. 7.

Из анализа результатов моделирования следует, что вероятность дешифрирования удобно рассчитывать как функцию от отношения сигнал/шум.

В таб. 2 приведены результаты расчета значений отношений сигнал/шум (дБ), обеспечивающих заданную вероятность дешифрирования по «строгому» и «мягкому» критериям. Значения приведены для трех типовых вероятностей — 0,7; 0,8 и 0,9.

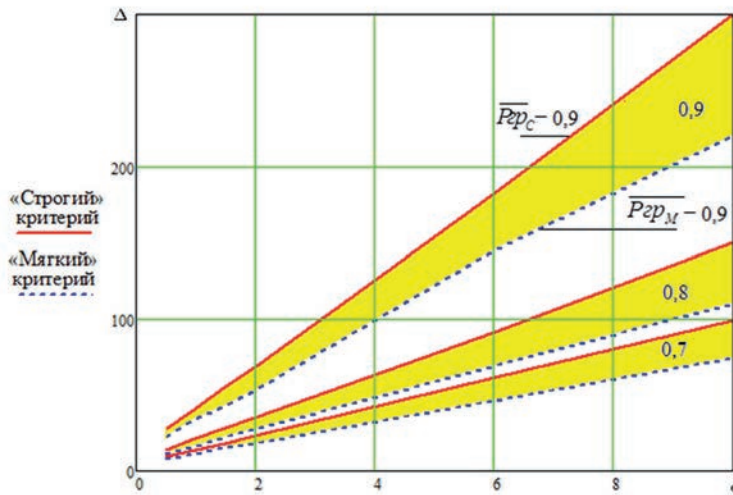


Рис. 7. Зависимости требуемого уровня полезного сигнала от уровня шума для обеспечения фиксированной вероятности дешифрирования

Таблица 2

Результаты расчета отношений сигнал/шум (дБ), требуемые для обеспечения заданной вероятности дешифрирования трехшпальной пары на частоте Найквиста

Критерии дешифрирования	Вероятность дешифрирования		
	$\overline{Pgr} \geq 0,7$	$\overline{Pgr} \geq 0,8$	$\overline{Pgr} \geq 0,9$
«Строгий» критерий	9.8, дБ	11.5, дБ	14.6, дБ
«Мягкий» критерий	8.4, дБ	10.1, дБ	13.3, дБ

Из расчетов следует, что для достижения одинаковой вероятности дешифрирования группы по «строгому» критерию отношение сигнал/шум должно быть примерно на 1.3...1,4 дБ (на 25...27%) выше, чем при оценке вероятности по «мягкому» критерию дешифрирования.

Выводы

В заключении следует отметить, что существующий критерий визуального дешифрирования (см. табл. 1) не полностью формализован, что допускает субъективную трактовку отдельных его положений. В случае детального определения всех положений критерия появится возможность уточнить выражения для расчета соответствующих вероятностей. При этом можно утверждать, что оценка, полученная по «строгому» критерию, является наиболее жесткой предельно достижимой оценкой.

Рассмотренный в статье способ пригоден как для априорной оценки ожидаемого качества цифровых оптико-электронных систем, так и для их апостериорной оценки при отсутствии штриховых мир на изображениях. Достаточно информации об уровне шума, уровне полезного сигнала и используемом критерии дешифрирования. При наличии соответствующего программно-методического обеспечения для проведения оценки не требуется привлечение группы квалифицированных экспертов, достаточно одного подготовленного оператора.

В дальнейшем имеется возможность совершенствования методики и учета влияния не только фазовых смещений, но и других элементов сквозного информационного тракта, участвующих в формировании изображения (расфокусировка, потери в атмосфере и т.д.).

Литература

1. *Srivastava S.K., Le Dantec P., Gray R., Hawkins R.K., Murnaghan K.P.* RADARSAT-1 image quality maintained in extended mission // *Proceedings of the IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Toulouse, July 21–25, 2003.* IEEE, 2003. Vol. 1. Pp. 103–105.
2. *Goncalves H., Goncalves J.A., Corte-Real L.* Measures for an objective evaluation of the geometric correction process quality // *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters.* 2009. Issue 2. Pp. 292–296.
3. *Saunier S., Goryl P., Chander G., Santer R., Bouvet M., Collet B.* Radiometric Geometric and Image Quality Assessment of ALOS AVNIR-2 and PRISM Sensors // *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing.* 2010. Vol. 48. Pp. 3855–3866.
4. *Бочарников А.И., Жиличкин А.Г., Коваленко В.П., Кондратов А.В., Тихонычев В.В., Худяков А.В.* Технологии определения характеристик целевой аппаратуры КК ДЗЗ // *Ракетно-космическое приборостроение и информационные технологии.* 2015. Т. 2. Вып. 2. С. 18–31.
5. *Емельянов А.А., Бочарников, А.И., Тихонычев В.В., Долженко А.П.* Система валидации космических комплексов дистанционного зондирования Земли // *Сборник трудов VII Всероссийской научно-технической конференции «Актуальные проблемы ракетно-космического приборостроения информационных технологий» (Москва, 2–4 июня 2015 г.).* С. 102–118.
6. *Молчанов А.С., Чаусов Е.В.* Методика оценивания линейного разрешения авиационных цифровых оптико-электронных систем в процессе летных испытаний // *Известия ТулГУ. Технические науки.* 2019. № 2. С. 140–150.
7. *Чаусов Е.В., Молчанов А.С., Минько Р.Н., Краснов Р.В.* Основные показатели качества оптико-электронных систем дистанционного мониторинга Земли и способы их оценки при проведении испытаний // *Вектор ГеоНаук.* 2019. Т. 2. № 1. С. 60–67.
8. *Сикорский Д.А.* Метод оценки пороговой частотно-энергетической характеристики оптико-электронного тракта // *Исследовано в России.* 2003. С. 1355–1368. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metod-otsenki-porogovoy-chastotno-energeticheskoy-harakteristiki-optiko-elektronnogo-trakta/viewer> (дата обращения 15.04.2020)
9. *Молчанов А.С.* Метод оценки линейного разрешения на пиксель цифровых аэрофотосистем при различном угловом положении штриховой миры относительно приемника оптического излучения // *Известия ТулГУ. Технические науки.* 2019. Вып. 10. С. 338–349.
10. *Веселов Ю.Г., Данилин А.А., Мельник Ю.С., Сельвесюк Н.И.* Штриховой тест-объект оценки в натуральных экспериментах пространственно-частотного и энергетического разрешений цифровых инфракрасных систем получения видовой информации // *Радиостроение.* 2018. № 1. С. 1–8.
11. *Бикбулатов Т.И., Борисов А.В., Емельянов А.А., Жиличкин А.Г., Марков В.Н.* Формирование обобщенных показателей качества дистанционного зондирования Земли на основе анализа требований потребителей к качеству космической информации // *Космонавтика и ракетостроение.* 2014. № 5 (78). С. 43–48.
12. *Гулина Ю.С., Колючкин В.Я.* Методика расчета вероятности распознавания изображений человеком-оператором // *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. «Приборостроение».* 2012. № 1. С. 100–107.
13. *Прэтт У.* Цифровая обработка изображений: пер. с англ. М.: Мир, 1982. Кн.1. 312 с.
14. *Левин Б.Р.* Теоретические основы статистической радиотехники. 3-е издание. М.: Радио и связь, 1989. 656 с.
15. *Фор А.* Восприятие и распознавание образов / Пер. с фр. А.В. Снрединского; Под ред. Г.П. Катгыса. М.: Машиностроение, 1989. 272 с.



ON THE PROBABILITY OF DECRYPTION OF THREE-SPANNED TEST-OBJECT

ALEXEY G. ZHILICHKIN

Moscow, Russia, zhilichkin@srd.mtuci.ru

ANDREY A. KUCHUMOV

Moscow, Russia, kuchumov@srd.mtuci.ru

DENIS S. CHIROV

Moscow, Russia, chirov@srd.mtuci.ru

KEYWORDS: remote sensing of the Earth; optical-electronic equipment; image decryption; three-spanned test-object; linear resolution on the ground.

ABSTRACT

Assessment of spatial resolution and linear resolution on the ground is an important task of quality control of the target equipment of space complexes of remote sensing of the Earth. A generally accepted, direct way to evaluate linear resolution on the ground is to visually decipher images of test-objects that represent special dashed worlds. The purpose of this article is to develop a method for evaluating the probability of decryption of a standard three-spanned test-object with a spatial stroke frequency equal to the Nyquist frequency according to existing decryption criteria. Based on the formulations of the criterion for visual decoding of aerospace survey materials, expressions are derived that are suitable for calculating the probability of decoding a three-spanned test-object with a spatial frequency corresponding to the Nyquist frequency. The article substantiates the possibility of using the obtained expressions for a priori and a posteriori evaluation of the quality of observation materials. The efficiency of the method was evaluated by mathematical modeling using "hard" and "soft" criteria for image decryption. The "soft" decoding criterion allows for the possibility of "jumpers" between neighboring test-object strokes in the image. From the simulation results, it follows that to achieve the same probability of decryption by the "hard" criterion, the signal-to-noise ratio must be approximately 1.3...1.4 dB (25...27%) higher than when evaluating the probability by the "soft" decryption criterion. The method considered in the article is suitable both for a priori evaluation of the expected quality of digital optical-electronics systems, and for their a posteriori evaluation in the absence of bar codes on images. Enough information about the noise level, the level of the useful signal, and the decryption criteria used. If there is an appropriate software and methodological support for the assessment, it does not require the involvement of a group of qualified experts, just one trained operator.

REFERENCES

1. Srivastava S.K., Le Dantec P., Gray R., Hawkins R.K., Murnaghan K.P. RADARSAT-1 image quality maintained in extended mission. *Proceedings of the IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Toulouse, July 21-25, 2003*. IEEE, 2003. Vol. 1. Pp. 103-105.

2. Goncalves H., Goncalves J.A., Corte-Real L. Measures for an objective evaluation of the geometric correction process quality. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*. 2009. Issue 2. Pp. 292-296.

3. Saunier S., Goryl P., Chander G., Santer R., Bouvet M., Collet B. Radiometric Geometric and Image Quality Assessment of ALOS AVNIR-2 and PRISM Sensors. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 2010. Vol. 48. Pp. 3855-3866.

4. Bocharnikov A.I., Zhilichkin A.G., Kovalenko V.P., Kondratov A.V., Tikhonychev V.V., Khudiakov A.V. Techniques for Characterization of Remote Sensing Spacecraft Targeted Equipment. *Sbornik trudov VII Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii "Aktual'nye problemy raketno-kosmicheskogo priborostroeniya informatsionnykh tekhnologiy"* [Proceedings of the VII all-Russian scientific and technical conference "Actual problems of rocket and space instrumentation of information technologies", Moscow, 2-4 June 2015. Pp. 102-118.]. 2015. Vol. 2. No. 2. Pp. 18-31. (In Rus)

5. Yemelyanov A.A., Bocharnikov, A. I., Tikhonychev V.V., Dolzhenko A.P. System of validation of space complexes of remote sensing of the Earth // *Rocket and space instrumentation and information technologies*. Vol. 2, 2015. Pp. 32-41. (In Rus)

6. Molchanov S.A., Chausov Y.V. Method of estimating a linear solution aviation digital optico-electronic systems during flight testing process. *Izvestiya TulGU. Technical science*. 2019. No. 2. Pp. 140-150. (In Rus)

7. Chausov Y.V., Molchanov A.S., Min'ko R.N., Krasnov R.V. The Main indicators of the quality of optical-electronic system for remote monitoring of the Earth and methods for their evaluation during testing. *Vector of Geosciences*. 2019. Vol. 2. No.1 Pp. 60-67. (In Rus)

8. Sikorskiy D.A. Metod otsenki porogovoy chastotno-energeticheskoy kharakteristiki optiko-elektronnoy trakta [Metod otsenki porogovoy chastotno-energeticheskoy kharakteristiki optiko-elektronnoy trakta]. *Issledovano v Rossii* [Researched in Russia]. 2003. Pp. 1355-1368. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metod-otsenki-porogovoy-chastotno-energeticheskoy-harakteristiki-optiko-elektronnoy-trakta/viewer> (date of access 15.04.2020) (In Rus)

9. Molchanov A.S. Method of estimation of a linear permission to a pixel of digital aerophotosystems at different angular positions of

the dashboard world with respect to the receiver of optical radiation. *Izvestiya TulGU. Technical science*. 2019. No. 10. Pp. 338-349. (In Rus)

10. Veselov Yu. G., Danilin A.A., Melnik Yu. S., Selvesuk N.I. Calibration Target for Evaluating of the Spatial Frequency and Energy Resolutions of Digital Infrared Systems to Obtain the Imagery Information in Full-Scale Experiments. *Radio Engineering*. 2018. No. 1. Pp. 1-8. (In Rus)

11. Bikbulatov T.I., Borisov A.V., Emel'yanov A.A., Zhilichkin A.G., Markov V.N. Creating a Generalized Indicators Quality of Remote Earth Sensing Data Based on the Analysis of Requirements of Space Information Quality Customers. *Cosmonautics and rocket engineering*. 2014. No. 5 (78). Pp. 43-48. (In Rus)

12. Gulina Yu.S., Kolyuchkin V.Ya. Technique for Calculation of Probability of Image Recognition by Human Operator. *Herald of the Bauman Moscow State Technical University. Series Instrument Engineering*. 2012. No. 1. Pp. 100-107. (In Rus)

13. Pratt W. *Digital image processing*. New York: John Wiley & Sons,

1991. 750 p.

14. Levin B.R. *Teoreticheskie osnovy statisticheskoy radiotekhniki* [Theoretical foundations of statistical radio engineering]. Moscow: Radio i svyaz', 1975. 393 p. (In Rus)

15. Faure A. *Perception et reconnaissance des formes*. Paris: Editests, 1985. 286 p.

INFORMATION ABOUT AUTHORS:

Zhilichkin A.G., PhD, Senior research associate of the research Department of the Moscow technical university of communications and Informatic;

Kuchumov A.A., PhD, Deputy head of the research Department of the Moscow technical university of communications and Informatics;

Chirov D.S., PhD, Professor of the Department of Radio Engineering systems of the Moscow technical university of communications and Informatics.

For citation: Zhilichkin A.G., Kuchumov A.A., Chirov D.S. On the probability of decryption of three-spanned test-object. *H&ES Research*. 2020. Vol. 12. No. 3. Pp. 4-12. doi: 10.36724/2409-5419-2020-12-3-4-12 (In Rus)





doi: 10.36724/2409-5419-2020-12-3-13-19

МЕТОД ОЦЕНКИ НАДЁЖНОСТИ ИНТЕГРИРОВАННЫХ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ КОСМИЧЕСКИМИ АППАРАТАМИ НА СТАДИИ ЭКСПЛУАТАЦИИ

КОЗИНОВ
Игорь Александрович¹

ГРИШИН
Анатолий Вячеславович²

АННОТАЦИЯ

Рассмотрены современные и перспективные радиоэлектронные системы управления космическими аппаратами, имеющие такие особенности, как многофункциональность, высокая интегрированность аппаратных и программных средств, высокие требования по надёжности и готовности, структурная избыточность, малосерийность и др. Проведён обзор существующих моделей и методов оценки надёжности аппаратных средств и программного обеспечения радиоэлектронных систем на различных стадиях их жизненного цикла, в том числе на стадии эксплуатации. Показана сложность достоверной оценки надёжности таких систем с применением существующих моделей и методов в условиях независимого подхода к оцениванию надёжности аппаратных средств и программного обеспечения. Поставлена задача комплексирования моделей надёжности аппаратных средств и программного обеспечения интегрированных радиоэлектронных систем с целью более полного учёта их взаимовлияния в контексте обеспечения надёжности структурно-сложных систем в целом. Дана характеристика логико-вероятностных методов системного моделирования и анализа, и, в частности, возможностей общего логико-вероятностного метода, как имеющего расширенные возможности по сравнению с классическими логико-вероятностными методами. Предложено использовать аппарат общего логико-вероятностного метода для моделирования, анализа и комплексной оценки надёжности интегрированных радиоэлектронных систем. Предложенный метод заключается в использовании полного набора функций алгебры логики, как для графического описания структуры систем, так и для аналитической записи условий их работоспособности, а также в разработке способов перехода от логических функций, являющихся критерием функционирования систем, к вероятностным функциям, характеризующим исследуемые свойства систем. Показано, что для достоверного оценивания надёжности интегрированных радиоэлектронных систем управления космическими аппаратами необходим методический аппарат, учитывающий, как особенности их применения, так и факт совместного, взаимообусловленного функционирования аппаратных и программных средств.

Сведения об авторах:

¹д.т.н., доцент, профессор кафедры Военно-космической академии имени А. Ф. Можайского, г. Санкт-Петербург, Россия, kozinov.ia@mail.ru

²адъюнкт Военно-космической академии имени А. Ф. Можайского, г. Санкт-Петербург, Россия, grishfam@yandex.ru

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: интегрированные радиоэлектронные системы управления космическими аппаратами; надёжность аппаратно-программных средств; общий логико-вероятностный метод оценки надёжности структурно-сложных систем.

Для цитирования: Козинов И.А., Гришин А.В. Метод оценки надёжности интегрированных радиоэлектронных систем управления космическими аппаратами на стадии эксплуатации // Научно-технические исследования в космических исследованиях Земли. 2020. Т. 12. № 3. С. 13-19. doi: 10.36724/2409-5419-2020-12-3-13-19

Введение

Сегодня, спустя более полувека с начала космической эры, космические средства прочно занимают своё место в различных сферах человеческой деятельности: научных исследованиях, социально-экономической сфере, обороне и безопасности государства. Всё расширяющиеся потребности в этих средствах обуславливают постоянное увеличение численности, состава и типов орбитальных группировок (ОГ) космических аппаратов (КА). Для обеспечения управления этими ОГ в нашей стране созданы и развиваются наземные комплексы управления (НКУ) КА различного назначения. Объёмы и сложность выполняемых задач по управлению КА обуславливают структурную сложность самих средств управления КА, входящих в их НКУ и представленных, в основном, радиоэлектронными системами (РЭС), как обеспечивающими круглосуточное и всепогодное взаимодействие с КА. Структурно-сложные РЭС управления КА, включающие в себя аппаратно-программные средства, требуют обеспечения высокой надёжности на этапе их применения по назначению.

Надёжность РЭС закладывается на стадиях разработки и производства, а реализуется на стадии эксплуатации. Обеспечить 100% надёжность РЭС в процессе их применения невозможно, однако, грамотная техническая эксплуатация, учитывающая структурную сложность и аппаратно-программное комплексирование РЭС, внедрение аппарата прогнозирования могут обеспечить надёжное функционирование и требуемый уровень готовности РЭС к применению по назначению.

Надёжность интегрированных радиоэлектронных систем управления космическими аппаратами

Непосредственное обеспечение применения КА по целевому назначению осуществляется с помощью различных РЭС, входящих в состав НКУ каждого типа КА и осуществляющих: передачу на борт командно-программной информации (КПИ), измерение текущих навигационных параметров (ИТНП), контроль состояния бортовой аппаратуры с помощью телеметрической информации (ТМИ), сверку, фазирование и коррекцию бортовой шкалы времени (БШВ) и др. Основным, на сегодняшний день, классом РЭС НКУ являются командно-измерительные системы (КИС) — это совмещённые РЭС, непосредственно выполняющие все основные функции управления КА, и представляющие собой структурно-сложные аппаратно-программные комплексы [1, 2].

Ключевыми особенностями современных КИС являются [1, 2]: небольшая серийность, иногда единичность производства; основу элементной базы составляют изделия микроэлектроники; комплексирование аппаратных и программных элементов; иерархичность построения;

наличие структурной избыточности; многофункциональность и способность функционировать в условиях частичной потери работоспособности; зависимость показателей готовности к применению от условий и режимов применения. Под интегрированными РЭС (ИРЭС) и понимаются радиоэлектронные системы, обладающие вышеперечисленными особенностями.

Для перспективных ИРЭС можно дополнительно выделить следующие требования: увеличение степени модульности построения и унификации аппаратных решений; расширение унификации по используемым в радиоуправлении КА сигналам; расширение возможностей по управлению КА с ретрансляцией; увеличение доли обрабатываемой непосредственно в РЭС информации; уменьшение габаритов и энергопотребления.

Известно, что под надёжностью объекта понимается его свойство сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения и технической эксплуатации¹. Надёжность — сложное свойство, включающее в себя такие свойства, как безотказность, ремонтпригодность, восстанавливаемость, долговечность, сохраняемость и др., каждое из которых имеет свои показатели.

Говоря о надёжности ИРЭС управления КА, следует понимать, что данные системы в силу специфики выполняемых задач имеют сложную и разнородную иерархическую структуру (подсистемы, сборки, блоки, узлы, элементы, программные средства и т. д.), различные виды избыточности (резервирования), сложную технологию эксплуатации, а отсюда — большое количество возможных состояний РЭС, поэтому определение показателей надёжности с использованием точных методов не представляется возможным. В случае расчёта надёжности структурно-сложных РЭС обосновано применение приближённых математических методов и допущений, не противоречащих физической сущности объекта и решаемой задачи. Такими допущениями являются [3]:

- относительная простота структурных схем расчёта надёжности;
- независимость элементов по отказам и по восстановлению;
- экспоненциальные законы распределения времени безотказной работы и времени восстановления элементов РЭС;
- стационарность показателей надёжности РЭС;
- регламентированный порядок действий по восстановлению отказавших элементов РЭС.

При оценке надёжности ИРЭС необходимо комплексно учитывать и надёжность аппаратных средств, и на-

¹ГОСТ 27.002–2015 Надёжность в технике. Термины и определения. М.: Стандартинформ, 2016. 23 с.



дежность входящих в их состав программных средств (математического, программного и информационного обеспечения). Очевидно, что надёжность программных средств в какой-то степени зависит от надёжности аппаратных средств, т.к. может проявиться лишь в процессе работы этих программных средств на определённой аппаратной платформе.

Программные средства, входящие в ИРЭС, имеют принципиально иную природу отказов по сравнению с аппаратными [4], т.к. они:

- не подвержены износу, старению, воздействию физико-химических факторов;

- имеют абсолютную стабильность технологического процесса изготовления (заключающегося в тиражировании);

- имеют тенденцию к уменьшению интенсивности отказов (при их обнаружении и правильном устранении в процессе отладки, технологической приработки, опытной эксплуатации);

- зависят от корректности входных данных, используемых программой.

Отказы программных средств и аппаратной части ИРЭС являются во многих случаях событиями взаимозависимыми. В то же время, на сегодняшний день производится отдельный расчёт показателей надёжности, как аппаратной части, так и программных средств, что затем учитывается при расчёте комплексной надёжности всей ИРЭС.

Анализ методов оценки надёжности радио-электронных систем управления космическими аппаратами

В настоящее время для ИРЭС оценка надёжности осуществляется различными методами с использованием аппаратов теории вероятностей, математической статистики, булевой алгебры, теории графов, теории марковских процессов и др. [5, 6]. Наиболее применяемыми² являются такие методы как: построение и анализ дерева событий (неисправностей); построение и анализ структурной схемы надёжности; марковский анализ; построение и анализ сети Петри; анализ режимов и последствий отказов с составлением таблиц истинности; анализ систем методом статистических испытаний (метод Монте-Карло) и др. [5, 10].

Расчёт надёжности аппаратных средств ИРЭС на различных стадиях их жизненного цикла предполагает использование целого комплекса известных методов, что объясняется спецификой и ограничениями каждого из них, при этом и для стадии разработки, и для стадии эксплуатации преобладающее значение на сегодняшний день имеют статистические методы [6]. Они обеспечивают наиболее точный расчёт показателей надёжности отдельных

элементов, что необходимо для теоретического расчёта надёжности всей ИРЭС. Одним из основных ограничений этих методов является требование к объёму статистических данных и их качеству. На практике эти требования не всегда могут быть выполнены в полном объёме, ввиду особенностей производства и эксплуатации ИРЭС. Поэтому точные экспериментальные данные о надёжности составных частей (элементов, узлов, блоков) ИРЭС, получить которые ещё возможно, нуждаются в математической модели оценки надёжности всей системы.

Оценка надёжности программных средств ИРЭС на стадии проектирования и отладки, в отсутствие статистической информации о функционировании, базируется на анализе структуры алгоритмов, функциональных модулей и текстов программ (словарь и уровень языка программирования, количество, операций, операндов, подпрограмм и прерываний, объём программы). Также могут привлекаться данные о функционировании уже выпущенных программных средств — аналогов.

Обобщённая схема проектной оценки надёжности программных средств состоит из следующих этапов [3–5]:

- построение структурной схемы функционального программного обеспечения с разбивкой на функционально самостоятельные операции (ФСО), описанием входов и выходов каждого структурного элемента, межмодульных и внешних связей алгоритмов и программ;

- расчёт исходного числа дефектов;

- расчёт остаточного числа дефектов после автономной отладки;

- расчёт остаточного числа дефектов после комплексной отладки;

- оценка вероятности проявления дефекта при однократном выполнении ФСО;

- оценка вероятности проявления дефектов при многократном выполнении ФСО;

- оценка характеристик потоков инициирующих событий;

- оценка показателей надёжности с учётом случайного потока инициирующих событий и процедур парирования ошибок.

В качестве вспомогательных на данном этапе также используются так называемые факторные модели: модели распределения дефектов в алгоритмах и базах данных, модели эффективности отладки, модели потоков инициирующих событий.

На стадии эксплуатации расчёт надёжности программных средств в общем случае является следующим: сбор статистической информации; построение модели потока событий (отказов); вывод математических выражений для показателей надёжности программных средств; расчёт показателей надёжности с использованием статистических данных по результатам штатного функциони-

²ГОСТ Р 51901.5–2005 Менеджмент риска. Руководство по применению методов анализа надёжности. М.: Стандартинформ, 2005. 71 с.

рования или технологической приработки; проверка соответствия модели реальным процессам функционирования программных средств в составе РЭС.

Существуют следующие модели для оценки надёжности программных средств на стадии эксплуатации [3–5]:

– экспоненциальная модель Шумана, в которой вероятность безотказной работы программы определяется по формулам:

$$P(t, \tau) = \exp(-C\varepsilon_r(\tau)t) = e^{-\frac{t}{T}};$$

$$\varepsilon_r(\tau) = \frac{E_0}{I} - \varepsilon_i(\tau);$$

$$T = \frac{1}{C\left(\frac{E_0}{I} - \varepsilon_i(\tau)\right)};$$

где E_0 — число ошибок в начале отладки; I — число машинных команд в модуле;

$\varepsilon_i(\tau)$ и $\varepsilon_r(\tau)$ — число исправленных и оставшихся ошибок в расчёте на одну команду;

T — средняя наработка на отказ; τ — время отладки; C — коэффициент пропорциональности.

При этом E_0 и C определяются по результатам отладки. Для данной модели характерна экспоненциальная зависимость изменения количества ошибок при изменении длительности отладки, т.е. средняя наработка до отказа возрастает экспоненциально с увеличением длительности отладки;

– экспоненциальная модель Джелилинского-Моранды, являющаяся частным случаем модели Шумана, в которой интенсивность появления ошибок пропорциональна числу остаточных ошибок;

– геометрическая модель Моранды, в которой интенсивность появления ошибок принята в форме геометрической прогрессии, что может быть актуально при небольшой длительности отладки;

– рэлеевская модель Шика-Волвертона, являющаяся модификацией экспоненциальной модели Шумана, основана на допущении того, что интенсивность ошибок пропорциональна числу остаточных ошибок и длительности i -го интервала отладки, т.е. с течением времени возрастает линейно, что соответствует рэлеевскому распределению времени между обнаруженными ошибками. Данная модель наиболее применима для больших программных комплексов с длительным периодом отладки;

– экспоненциально-рэлеевская модель Липова — обобщение моделей Джелилинского-Моранды и Шика-Волвертона;

– вейбулловская модель Сукурта, которая задаётся совокупностью соотношений:

$$\lambda(t) = m\lambda^m t^{m-1}; P(t) = e^{-(\lambda t)^m}; T = \frac{1}{\lambda} \left(1 + \frac{1}{m}\right);$$

– структурная модель Нельсона, в которой в качестве показателя надёжности принимается вероятность $P(n)$ безотказного выполнения n прогонов программы:

$$P(n) = \prod_{i=1}^n (1 - Q_j) = \exp\left(\sum_{j=1}^n \ln(1 - Q_j)\right);$$

$$Q_j = \sum_{i=1}^N p_{ji} y_i,$$

где y_i — индикатор отказа на i -м наборе данных; p_{ji} — вероятность появления i -го набора в j -м прогоне;

– и другие модели.

Важно отметить, что существующие методы предполагают отдельную оценку надёжности аппаратных и программных средств, входящих в состав ИРЭС. Это обусловлено различными подходами и применяемыми моделями оценки надёжности первых и вторых.

Таким образом, методы совместной оценки надёжности аппаратных и программных средств ИРЭС в настоящее время развиты недостаточно. Решение такой задачи представляет научный и практический интерес.

Общий логико-вероятностный метод оценки надёжности интегрированных радиоэлектронных систем на стадии эксплуатации

Для оценки надёжности структурно-сложных систем широкое применение нашли логико-вероятностные методы (ЛВМ) моделирования систем и расчёта показателей их надёжности [7].

Их математическая сущность, применительно к теории надёжности, заключается в использовании функций алгебры логики для аналитической записи условий работоспособности систем и разработке способов перехода от указанных логических функций к вероятностным функциям, объективно выражающим надёжность исследуемых системных объектов в целом.

Классические ЛВМ имеют следующие особенности:

– для графического описания структур систем используются деревья событий и графы связности;

– на структурном и аналитическом уровнях моделирования используется функционально не полный набор логических операций «И» и «ИЛИ»;

– на вероятностном уровне описания систем используется только гипотезу о независимости в совокупности всех бинарных случайных событий.

Однако, для описания надёжности ИРЭС управления КА возможностей классических ЛВМ недостаточно. Это объясняется трудностью их применения в случаях исполь-



зования в системе резервирования с замещением, наличия последствий отказов и в ряде других случаев. Поэтому для оценки надежности ИРЭС предлагается использовать общий логико-вероятностный метод (ОЛВМ) [8, 9].

Общий логико-вероятностный метод оценки надежности структурно-сложных систем основан на построении расчётных математических моделей систем, структура которых задается графическими и аналитическими средствами математической логики.

При этом ОЛВМ, в отличие от классических ЛВМ, характеризуется [8]:

- использованием для структурного описания систем универсального аппарата схем функциональной целостности;

- применением на структурном и аналитическом уровнях моделирования функционально полного набора логических операций «И», «ИЛИ», «НЕ», т.е. полной реализацией возможностей алгебры логики по построению как всех видов монотонных, так и нового класса немонотонных моделей функционирования сложных системных объектов и процессов;

- использованием на вероятностном уровне не только гипотезы о независимости бинарных событий, но и корректным учётом группы несовместных событий, множественных состояний элементов и различных последовательностей свершения случайных событий во времени.

При использовании ОЛВМ для оценки надежности интегрированных РЭС управления КА можно выделить следующие основные этапы [8, 9]:

- 1) формализованная постановка задачи, первичное структурно-логическое моделирование:

- построение структурной модели исследуемой системы, т.е. её формализованной схемы;

- задание одного или нескольких логических критериев функционирования (ЛКФ) Y_{ci} системы;

- учёт исходных данных — заведомо известных числовых значений собственных вероятностных параметров P_i и Q_i элементов системы;

- 2) построение логической функции работоспособности системы (ФРС) Y_c , точно и однозначно представляющей сложные события, вероятности реализации которых характеризуют исследуемые свойства надежности системы;

- 3) построение многочлена вероятностной функции:

$$P_A = P\{Y_c\} = P(\{P_i, Q_i\}, i = \overline{1, H})$$

где вероятность P_c определяет возможности реализации исследуемой системой её функции работоспособности Y_c , определяемой заданными логическими критериями Y_{ci} её функционирования, и зависящей от произведений (конъюнкций), сумм (дизъюнкций) и дополнений (инверсий) простых элементарных случайных событий (элементов

модели) $\tilde{x}_i = \{x_i, \bar{x}_i\}$, собственные вероятностные параметры P_i и Q_i , которых считаются известными;

- 4) расчёт требуемых показателей надёжности системы на основе известных соотношений вероятности безотказной работы, интенсивностей отказов (восстановлений), среднего времени наработки на отказ (восстановления), коэффициентов готовности, оперативной готовности и др. [5].

Таким образом, на основе применения ОЛВМ возможно построение комплексных моделей надёжности ИРЭС управления КА. Эти модели позволят применить комплексные показатели надёжности для прогнозирования готовности ИРЭС как аппаратно-программных комплексов и, как следствие, для планирования мероприятий их технической эксплуатации с возможностью включения результатов в базу данных систем информационной поддержки жизненного цикла ИРЭС.

Заключение

Современные интегрированные РЭС управления КА, относящиеся к классу структурно-сложных технических систем и имеющие в своём составе различные аппаратные и программные средства, должны обладать высоким уровнем готовности к применению по назначению, что в первую очередь обеспечивается их высокой надёжностью. Для достоверного оценивания надёжности ИРЭС управления КА необходим методический аппарат, учитывающий, как особенности их применения, так и факт совместного, взаимообусловленного функционирования аппаратных и программных средств. Однако известные модели надёжности РЭС разработаны применительно либо к аппаратным, либо к программным средствам и не учитывают вышеуказанные особенности применения и функционирования современных ИРЭС. Это приводит к снижению достоверности оценки надёжности и прогнозирования готовности ИРЭС управления КА с использованием известных моделей. В связи с этим, предлагается метод оценки надёжности ИРЭС, предполагающий комплексирование моделей надёжности их аппаратных и программных средств на основе аппарата общего логико-вероятностного метода.

Литература

1. Галантерник Ю.М., Горюхи А.В., Калинин А.Ф. Командно-измерительные системы и наземные комплексы управления космическими аппаратами. М.: Изд-во МГУЛ, 2003. 200 с.
2. Евтеев А.В., Гарагуля А.С., Мальцев Г.Н., Харченко А.В. Основные направления унификации радиоэлектронных систем управления космическими аппаратами // Информация и космос. 2016. № 1. С. 162–171.
3. Рябинин И.А. Надёжность и безопасность структурно-сложных систем: монография. СПб.: Изд-во Санкт-Петербургского ун-та, 2007. 278 с.
4. Maevsky D.A., Maevskaya E.J., Jekov O.P., Shapa L.N. Verification of the software reliability models // Reliability: Theory

and Applications. 2014. Vol. 9. No. 03 (34). Pp.14–22.

5. *Викторова В.С., Степаняц А.С.* Модели и методы расчёта надёжности технических систем. Изд. 2. М.: ЛЕНАРД, 2016. 25

6. *Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьёв А.Д.* Математические методы в теории надёжности: Основные характеристики надёжности и их статистический анализ. Изд. 2. М.: ЛИБРОКОМ, 2012. 582 с.

7. *Рябинин И.А., Черкесов Г.Н.* Логико-вероятностные методы исследования надёжности структурно-сложных систем. М.: Радио и связь, 1981. 264 с.

8. *Можаяев А.С.* Технология автоматизированного структурно-логического моделирования надёжности, живучести, безопасности, эффективности и риска функционирования систем // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2008. № 9. С.1-14.

9. *Мусаев А.А., Гладкова И.А.* Современное состояние и направления развития общего логико-вероятностного метода анализа систем // Труды СПИИРАН. 2010. № 1(12). С. 75–96.

10. *Хенли Э. Дж., Кумамото Х.* Надёжность технических систем и оценка риска / пер. с англ.; под общ. ред. В.С. Сыромятникова. М.: Машиностроение, 1984. 528 с.

METHOD OF RELIABILITY ASSESSMENT OF INTEGRATED RADIO-ELECTRONIC SYSTEMS OF SPACECRAFT CONTROL AT THE STAGE OF OPERATION

IGOR A. KOZINOV

St. Petersburg, Russia, kozinov.ia@mail.ru

ANATOLY V. GRISHIN

St. Petersburg, Russia, grishfam@yandex.ru

KEYWORDS: integrated radio-electronic spacecraft control systems; reliability of hardware and software; general logical-probabilistic method for assessing the reliability of structurally complex systems.

ABSTRACT

Modern and perspective radio-electronic control systems for spacecraft are considered, which have such features as multifunctionality, high integration of hardware and software, high requirements for reliability and availability, structural redundancy, low-series, etc. A review of existing models and methods for assessing the reliability of hardware and software providing electronic systems at various stages of their life cycle, including at the operational stage. The complexity of a reliable assessment of the reliability of such systems using existing models and methods in an independent approach to assessing the reliability of hardware and software is shown. The task of combining the reliability models of hardware and software for integrated electronic systems in order to more fully take into account their mutual influence in the context of ensuring the reliability of structurally complex systems as a whole has been set. The characteristic of logical and probabilistic methods of system modeling and analysis is given, and, in particular, the capabilities of the general logical and probabilistic method, as having advanced capabilities compared to classical logical and probabilistic methods. It is proposed to use the apparatus of the general logical and probabilistic method for modeling, analysis

and a comprehensive assessment of the reliability of integrated electronic systems. The proposed method consists in using a complete set of functions of the algebra of logic, both for a graphical description of the structure of systems and for the analytical recording of the conditions for their operability, as well as the development of methods for moving from logical functions that are a criterion for the functioning of systems to probabilistic functions characterizing the properties of the systems under study. It is shown that for reliable assessment of the reliability of integrated radio-electronic spacecraft control systems, a methodological apparatus is necessary that takes into account both the features of their use and the fact of the joint, interdependent functioning of hardware and software.

REFERENCES

1. Galanternik Yu. M., Gorish A. V., Kalinin A. F. *Komandno-izmeritel'nye sistemy i nazemnye komplekсы upravleniya kosmicheskimi apparatami* [Command and measurement systems and ground-based spacecraft control systems]. Moscow: Mytischki Branch of Bauman Moscow State Technical University Publ., 2003. 200 p. (In Rus)



2. Evteev A.V., Garagulya A.S., Mal'tsev G. N., Kharchenko A.V. Basic directions of spacecraft radioelectronic control systems unification. *Information and Space*. 2016. No. 1. Pp. 162-171. (In Rus)
3. Ryabinin I.A. Nadezhnost' i bezopasnost' strukturno-slozhnykh sistem: monografiya [Reliability and safety of structurally complex systems: monograph.]. St. Petersburg: Saint Petersburg State University Publ., 2007. 278 p. (In Rus)
4. Maevsky D.A., Maevskaya E.J., Jekov O.P., Shapa L.N. Verification of the software reliability models. *Reliability: Theory and Applications*. 2014. Vol. 9. No. 03 (34). Pp.14-22.
5. Viktorova V.S., Stepanyants A.S. *Modeli i metody raschyota nadyozhnosti tehnikeskikh sistem* [Models and methods for calculating the reliability of technical systems.]. 2nd ed. Moscow: LENARD, 2016. 256 p. (In Rus)
6. Gnedenko B.V., Belyaev U.K., Soloviov A.D. *Matematicheskie metody v teorii nadyozhnosti: Osnovnye karakteristiki nadyozhnosti i ih statistichesky analiz*. [Mathematical methods in the reliability theory: Main characteristics of reliability and their statistical analysis]. 2nd ed. Moscow: LIBROKOM, 2013. 582 p. (In Rus)
7. Ryabinin I.A., Cherkesov G.N. *Logiko-veroyatnostniye metody issledovaniya nadyozhnosti strukturno-slozhnykh sistem* [Logic-probabilistic method of research of structurally complex systems]. Moscow: Radio i svyaz', 1981. 264 p. (In Rus)
8. Mozhaev A.S. Computer-aided structural-logic simulation technology of system operation considering reliability, serviceability, efficiency and risks. *Instruments and Systems: Monitoring, Control, and Diagnostics*. 2008. No. 9. Pp.1-14.
9. Musaeu A.A., Gladkova I.A. Current status and directions of a general logic-probabilistic method of systems analysis. *SPIIRAS Proceedings*. 2010. No. 1(12). Pp. 75-96. (In Rus)
10. Henley E.J., Kumamoto H. *Reliability engineering and risk assessment*. N.J.: Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, 1981. 527 p.

INFORMATION ABOUT AUTHOR:

Kozinov I.A., PhD, Docent, Professor at the Department of Military Space Academy named after A. F. Mozhaisky;
Grishin A.V., Postgraduate at the Department of Military Space Academy named after A. F. Mozhaisky.

For citation: Kozinov I.A. Grishin A. V. Method of reliability assessment of integrated radio-electronic systems of spacecraft control at the stage of operation. *H&ES Research*. 2020. Vol. 12. No. 3. Pp. 13-19. doi: 10.36724/2409-5419-2020-12-3-13-19 (In Rus)





doi: 10.36724/2409-5419-2020-12-3-20-28

ТРАНСФОРМАЦИЯ ПОДХОДОВ К УПРАВЛЕНИЮ СОВРЕМЕННЫМИ СЕТЯМИ СВЯЗИ

ГОЛЬДШТЕЙН
Александр Борисович¹

КИСЛЯКОВ
Сергей Викторович²

НГУЕН
Зань Конг³

АННОТАЦИЯ

Современные сети связи специального назначения - сети связи, предназначенные для нужд органов государственной власти, нужд обороны страны, безопасности государства и обеспечения правопорядка - это сложные децентрализованные сетевые структуры, использующие в своей основе ресурсы сетей связи общего пользования и коммерческие протоколы связи. Управление такими структурами требует перехода к новым моделям управления, так как иерархические и распределённые статические системы управления сетями, такие как TMN и OSS/BSS, уже не в полной мере соответствуют требованиям к управлению сетями связи общего пользования, сетями государственного и военного назначения. Указанные системы обеспечивают лишь частичную автоматизацию принятия решений в управлении сетью, они по-прежнему не готовы к постоянным изменениям и не способны адаптироваться к ним из-за своего жестко статического характера. Так же с течением времени системы управления столкнутся с такой проблемой, как неоднородность и мобильность огромного количества сетевых устройств, составляющих четыре эшелона сетей связи специального назначения. Это устройства наземного, воздушного, морского и космического эшелонов - мобильные управляющие и управляемые устройства, дроны, нательные сети и т.п. Вследствие всего вышеперечисленного появляется необходимость в поиске новых моделей и методов для построения систем управления телекоммуникациями. С точки зрения управления такими инфраструктурами важность приобретает переход к распределённым когнитивным моделям управления, а также моделям, учитывающим объем и контекст данных, порождаемых системами управления в процессе их функционирования. В данной работе рассмотрена ре(э)волюция моделей управления сетями связи специального назначения и сетями связи общего пользования: начиная с традиционных подходов и переходя к современным моделям и методам управления военными сетями будущего. В ходе исследования помимо изучения традиционных подходов к управлению телекоммуникациями была выделена когнитивная модель на базе многоагентной самоорганизации и рассмотрена актуальность данного подхода для управления военными и ведомственными сетями будущего. Данная модель на сегодняшний день еще находится на этапе исследований и далека до завершения, но несмотря на это уже имеются ее частичные реализации на практике.

Сведения об авторах:

¹к.т.н., доцент, доцент Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича; генеральный директор НТЦ АРГУС, Санкт-Петербург, Россия, agold@argustelecom.ru

²к.т.н., доцент, Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича; бизнес-аналитик НТЦ АРГУС, Санкт-Петербург, Россия, s.v.kislyakov@gmail.com;

³аспирант Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, Вьетнам, nguuencongdanh0109@gmail.com

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: сети связи специального назначения; система военной связи; SNMP; TMN; SON; OSS/BSS; пост-NGN; мультиагентные системы; теория массового обслуживания; управление сетью.

Для цитирования: Гольдштейн А.Б., Кисляков С.В., Нгуен З.К. Трансформация подходов к управлению современными сетями связи // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2020. Т. 12. № 3. С. 20-28. doi: 10.36724/2409-5419-2020-12-3-20-28

Введение

В последние десятилетия инфокоммуникационная сфера развивается все быстрее: от различных парадигм сетей связи до информационно-телекоммуникационных технологий. Начиная с момента появления телефонной сети общего пользования (ТфОП), у систем управления телекоммуникациями возникла сложная задача, а с учетом перспективы появления сетей пост-NGN 2020-х годов она станет еще сложнее [1, 3]. Для сетей связи специального назначения (СС СН) в связи с появлением сетей пост-NGN так же обернется рядом новых сложных проблем, таких как неоднородность и мобильность огромного количества сетевых устройств. Это устройства мобильного (полевого) сегмента наземного эшелона, мобильные устройства воздушного эшелона, морского и космического эшелона СС СН — военные самолеты и корабли, военные и специальные дроны, мобильные боевые платформы и другие военные объекты. Вследствие всего вышеперечисленного появляется необходимость в поиске новых моделей и методов для построения систем управления телекоммуникациями. В данной статье авторы рассматривают ре(э)волюцию моделей управления: начиная с традиционных подходов и переходя к современным моделям и методам управления телекоммуникациями.

Процесс развития систем управления телекоммуникациями

Согласно Джорджу Павлоу в [2] все объектно-ориентированные подходы к управлению сетями подразделяются на две основные категории:

- те, которые используют модель «менеджер/агент»;
- те, которые базируются на модели распределенных объектов и услуг.

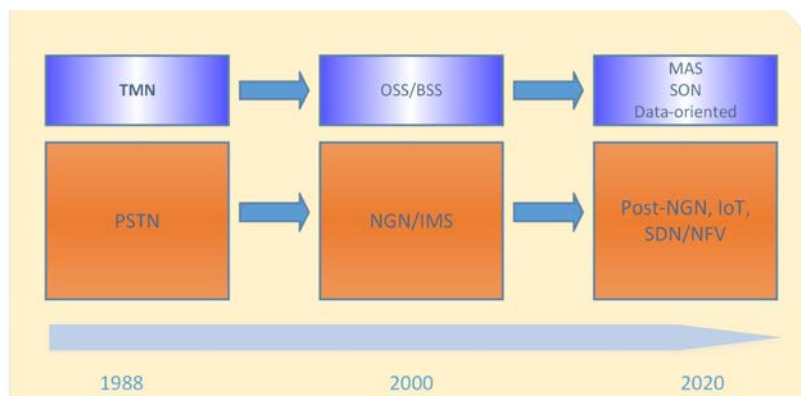
Эти две категории в основном и составляют популярные современные системы управления сетями, такие как TMN, OSS/BSS. На рисунке отражена идея трехфазной ре(э)волюции управления телекоммуникациями: от традиционных — иерархических к мультиагентным системам.

Первую фазу иллюстрирует типовая модель на основе архитектуры «менеджер/агент». В данной архитектуре распределение ответственности сформулировано таким образом, что агент «уведомляет», а менеджер «управляет».

Из основных представителей данной фазы наиболее известны протокол SNMP (Simple Network Management Protocol — простой протокол сетевого управления) и концепция TMN (Telecommunication Management Network). Основанные на этих подходах системы управления зависят от интерфейсов командной строки CLI, которые позволяют сетевым администраторам взаимодействовать с элементами своих систем, например, запрашивать и вручную перенастраивать сетевые элементы. Хотя эти технологии и обеспечивают частичную автоматизацию принятия решений в управлении сетью, они по-прежнему не готовы к постоянным изменениям и не способны адаптироваться к ним из-за своего жестко статического характера.

Введенная в 1988 г. комитетом МСЭ-Т модель TMN является важным представителем концепции с поддержкой архитектуры «менеджер/агент». Основными функциями TMN являются: управление неисправностями, управление конфигурацией, управление учетом, управление производительностью и управление безопасностью. Рекомендации МСЭ-Т серии M, касающиеся TMN, были приняты в конце прошлого века, так же как и Рекомендация X.700, принятая в 1992 г. С тех пор к функциональности FCAPS (Fault Management, Configuration Management, Accounting Management, Performance Management, Security Management) следовало бы добавить такие вещи, как SLA (Service Level Agreement), управление мобильностью и точность позиционирования (самолеты, вертолеты, дирижабли, аэростаты, беспилотные дистанционно-управляемые летательные аппараты, летающие платформы), управление энергетикой (для IoT, сенсорных сетей) и др.

Из-за ускоряющегося усложнения сетей связи общего пользования (СС ОП), и как следствие, СС СН, и огра-



Трёхфазный процесс развития систем управления телекоммуникациями

ничений в модели TMN она оказалась неэффективной для управления. Одна из проблем — это использование в ее основе объектно-ориентированного подхода. Хотя ее стек протоколов и всеобъемлющий, он все же одновременно и громоздкий, и с каждым днем все более сложный. Кроме того, агенты в модели TMN обладали низким уровнем интеллекта, что не позволяло реализовать «умное» принятие решений. После появления и успешного внедрения новых протоколов и средств доступа к распределенным объектам — SNMP (1990 г.), COM (1993 г.), CORBA (1993 г.), DCOM (1996 г.), эти недостатки модели TMN становились все более критичными. Новый стандарт SMART TMN, появившийся в 1997 г. после усиленного модернизирования модели, и разработанная карта бизнес-процессов телекоммуникационной компании на базе процессного подхода дали первый толчок созданию будущих глобальных систем управления. Таким образом в модели SMART TMN появляются два важных аспекта, из которых формируется дальнейшее понимание пути развития систем управления:

- использование независимого от платформы реализации подхода для работы с распределенными объектами;
- компонентный подход к управлению.

Вторая фаза процесса развития систем управления телекоммуникациями включает в себя модели систем управления класса OSS/BSS, использующие идею совмещения управления бизнес-процессами и сетью в единой системе. Системы поддержки операций (OSS) охватывают набор бизнес-процессов, которые требуются оператору связи для обеспечения функций мониторинга, анализа, управления сетью, контроля, устранения неисправностей, организации взаимодействия с пользователями. В то же время системы поддержки бизнеса (BSS) охватывают технологии, которые необходимы оператору связи для поддержки взаимоотношений с клиентами, партнерами и поставщиками.

Основную работу по стандартизации OSS/BSS взял на себя консорциум TMForum. Несмотря на огромный объем работ в рамках этого подхода и его востребованности на практике, воспользоваться всеми преимуществами данной технологии оказалось непросто. Необходимость разработки единого стандарта для OSS/BSS была очевидна как поставщикам таких систем, так и их потребителям — компаниям связи. Требовалось определить бизнес-процессы оператора связи и форматы представления используемых в системе данных, интерфейсы взаимодействия со средой, в которую интегрируется решение. По данному направлению по инициативе группы TMForum в 2000 г. начались работы в рамках проекта систем следующего поколения и программного обеспечения для управления операционной деятельностью телекоммуникационной компании NGOSS. Благодаря данному проек-

ту были разработаны и внесены необходимые изменения, а также стандарты класса OSS/BSS подтвердили свою важную роль в построении современных систем управления телекоммуникациями.

Так же как и в системе TMN архитектура «менеджер/агент» фактически задала модульный принцип построения системы управления, лежащей в основе современных OSS/BSS технологий. OSS/BSS представляют собой сложную распределенную информационную систему, построенную на базе компонентного подхода, но функционирующую как единый организм. В дополнение к вышеперечисленному распределенный подход предоставляет возможность отслеживания работы системы на всех ее уровнях.

В качестве новых решений для построения современных систем CC CN в основе модели распределенных объектов/услуг используются такие технологии, как CORBA, JRM/J2EE и веб-сервисы. Эти технологии, с одной стороны, обладают большим потенциалом к управлению телекоммуникациями, с другой — требуют больших усилий в исследовательской работе перед применением их на практике. Другим недостатком этих технологий и решений можно считать их «урожённость» за рубежом, что делает потенциально зависимыми от зарубежного разработчика решения на их основе.

Ре(э)волюционные преобразования технологий в области управления телекоммуникациями со временем идут все быстрее, пытаясь догнать технологические и социальные изменения на самой сети. Практические реализации концепций сетей пост-NGN в ближайшие 3–5 лет поставят перед военными связистами сложные задачи по управлению — особенно в рамках беспроводных сенсорных сетей, сетей на основе облачных и виртуальных технологий, концепции самоконфигурируемых сетей и др. [4]. CC CN, строящиеся на многоэшелонном принципе (космический, воздушный, наземный и морской эшелоны) [17] или многоуровневом принципе [4], потребуют разработки новых решений на основе когнитивных подходов. В настоящее время внедрение когнитивных технологий, таких как машинное обучение, машинное планирование, автоматическое принятие решений, представление знаний и т.п., показывает хорошие результаты, что в перспективе может повысить уровни

- устойчивости — способности органов управления выполнять свои

функции в сложной, резко меняющейся обстановке в условиях помех и

массированных дестабилизирующих воздействиях противника;

- непрерывности — возможности органов управления постоянно взаимодействовать с объектами управления;



- оперативности — способности получать, обрабатывать и преобразовывать информацию в соответствии с темпом изменения текущей ситуации;

- скрытности — способности сохранять в тайне факт, время и место

- преобразования информации, ее содержание и принадлежность к управляющим объектам.

В скором времени от разработчиков СС СН может потребоваться полный отказ от традиционного иерархического управления сетями, и выбирать решения, основанные на самоорганизации. Таким образом, третья фаза ре(э)волюции систем управления телекоммуникациями, которая была отображена на рисунке, подводит нас к пока еще не специфицированному подходу, базирующемуся на базе модели многоагентной самоорганизации.

Исследования в сфере самоорганизации и технологии многоагентных систем в последнее время привлекли к себе повышенное внимание. Далее в статье будут рассмотрены их основы, тенденции развития и цели, которые преследует происходящая сейчас революция систем управления телекоммуникациями.

Когнитивные модели управления сетями пост-NGN

В 2020-х годах, в связи с развитием новых технологий, также изменятся и принципы управления новейшими сетями военного назначения. Если задачи управления традиционными сетями ТфОП, СПС, СДС и (по меньшей мере) NGN решались на основе концепции TMN, разработок TMForum и т.д., то те же методы не позволяют эффективно управлять новыми сетями, такими как NGN/IMS, Интернет вещей, концепция SDN/NFV и др. Таким образом, необходимы новые модели и методы для построения современных систем управления сложными многоэшелонными СС СН, которые по сравнению с традиционными существующими системами являются более гибкими, «умными» и эффективными. Данное решение в области управления телекоммуникациями называют когнитивным подходом.

Когнитивность с точки зрения философии связана с термином «интенциональная позиция». В английском языке термин The Intentional Stance был введен философом Дэниелом Деннеттом при изучении когнитивных свойств агентов [6]. Деннетт использовал термин «интенциональная система» для описания сущностей, поведение которых может быть предсказано методом приписывания убеждений, желаний и разумного инстинкта.

Интенциональная позиция утверждает, что когнитивные концепции могут быть приписаны любой физической системе, а также являются более выгодными для описания сложных систем. Действительно, если система является достаточно сложной, то она будет недоступна полному представлению всех физических деталей. Таким образом,

интенциональная позиция представляет собой единственный способ, позволяющий понять, как действует данная система.

СС СН, построенные по принципу взаимосвязанных эшелонов, и модели для управления ими также представляют собой сложные системы. Поэтому была предпринята попытка использовать когнитивные методы для управления сетями эпохи пост-NGN. Как было показано на рисунке, третья фаза процесса развития современных систем управления соответствует когнитивной модели, базирующейся на основе многоагентной самоорганизации.

От детерминированного планирования к динамической самоорганизации

Самоорганизация — процесс, в ходе которого создается, воспроизводится или совершенствуется организация сложной динамической системы. В самоорганизующихся системах присутствует способность к динамической адаптации, сама структура и взаимодействие компонентов возникают и поддерживаются без внешнего вмешательства и только на основе обмена локальной информацией (сигналами, сообщениями). Сети связи с увеличением их динамического свойства представляют собой самоорганизующиеся.

Поскольку самоорганизующаяся система опирается на взаимодействие между сущностями и не имеет централизованного контроля для максимизации или оптимизации работоспособности всей системы, она будет уступать традиционной системе в идеальных условиях с точки зрения стандартных показателей эффективности. Однако, как только степень динамичности системы увеличивается и превышает допустимый диапазон, обычная система начинает уступать системам с самоорганизацией, так как она может адаптироваться к новым условиям и продолжать работать, что повышает ее устойчивость и надежность.

Концепция самоорганизующихся сетей SON (Self-Organization Network) стала часто использоваться после того, как она была принята альянсом NGMN (Next Generation Mobile Networks) для решения задач, предусматривающих управление несколькими технологиями радиодоступа наряду с внедрением сети LTE. А затем именно под инициативой группы 3GPP были созданы стандарты по принципам самоорганизации для мобильных широкополосных сетей. В девятом релизе SON-функции разделились на три группы: самоконфигурация, самооптимизация, самовосстановление. Таким образом, самоорганизующиеся сети SON на сегодняшний день становятся уже де-факто стандартизованным подходом в связи и должны применяться для построения СС СН.

Следующим шагом в процессе развития SON является технология когнитивной радиосети CRN (Cognitive Radio Network). CRN можно рассматривать как расширение

SON для внедрения в беспроводные сенсорные сети. CRN не только обеспечивает самоконфигурацию, самооптимизацию и самовосстановление, но и добавляет к этим функциям сквозные представления (end-to-end) и способность обучаться на базе предыдущих опытов [7]. В CRN было принято понятие, называемое когнитивным циклом. Когнитивный цикл представляет собой цикл управления, который способен воспринимать среду за счет набора датчиков, анализировать получаемые данные, а затем принимать необходимые решения для достижения заданных целей. Кроме того, чтобы процесс управления стал более когнитивным, в CRN добавляется способность обучаться на базе прежних решений и адаптироваться к изменениям среды после выполнения соответствующих действий. Таким образом, когнитивный цикл способен постоянно повышать свою эффективность, вследствие чего может быть улучшена работоспособность системы управления каждого эшелона CC SN.

Для дальнейшего развития SON в концепции сетей пост-NGN необходимо выбрать подходящую среду, которая не только позволит эффективно реализовать SON, но и будет способна обогащать его способностью своими функциональностями. Данная проблема вполне может быть решена путем внедрения новых достижений в области агентной технологии и многоагентных систем MAS (Multiagent Systems). Тут важно отметить, что сама концепция многоагентных систем вытекает из области распределенного искусственного интеллекта DAI (Distributed Artificial Intelligence). Причем MAS является одной из двух составляющих задач парадигмы DAI, в которые также входит распределенное решение проблем DPS (Distributed Problem Solving). Многоагентная технология способствует самоорганизации благодаря децентрализованному механизму и способности коммуникации агентов, что при необходимости позволяет получить доступ к чужим данным (знаниям). Далее более детально будут рассмотрены такие понятия, как рациональный агент и концепция многоагентных систем.

Рациональные агенты в системах управления

В практических реализациях агентная технология играет очень важную роль и имеет долгую историю в области управления телекоммуникациями. Помимо ее использования в упомянутой выше архитектуре «менеджер/агент» с начала 90-х годов прошлого века делегированный подход на базе мобильных агентов [8] также был возможен. В данной статье авторы обращают внимание на подход на базе рациональных (интеллектуальных) агентов и многоагентных систем, которые непременно занимают ключевые роли в ходе ре(э)волюции управления инфокоммуникационными сетями.

Для общего понимания, под определением агента находится программный объект, находящийся в некоторой среде, выполняющий свою задачу от имени других сущно-

стей. Таким образом, необходимо отметить, что управление телекоммуникациями на базе агентов осуществляется путем делегирования. Однако при расширении данного определения агенты могут иметь ряд характеристик. Стационарный агент работает локально, в то же время мобильный агент может перемещаться по сети. Также агенты могут быть постоянными, ожидая появления событий, реагируя на них, или могут быть эфемерными, т.е. просто выполнять свою задачу, затем исчезать и снова создаваться при необходимости.

Благодаря внедрению так называемых когнитивных технологий появилась возможность создавать программных агентов с неким уровнем интеллекта, т.е. обладающих в какой-то степени человеческими интеллектуальными способностями, такими как рассуждение, общение и обучение. Эти агенты называются рациональными.

Важными свойствами ИА являются следующие: реактивность — агенты могут воспринимать среду и проявлять соответствующие реакции на ее изменения; проактивность — агенты способны выполнить задачи в силу собственной инициативы; способность общения — взаимодействие и коммуникация с другими агентами.

В соответствии с работами Вулдриджа и Дженнинга (1995) архитектуру агентов принято разделять на три типа: реактивные, делиберативные и гибридные [5].

Реактивные агенты основываются на той архитектуре, в которой внутренняя модель представления среды отсутствует или имеется в примитивном виде, т.е. агенты обладают некоторым ограниченным представлением о среде. Для реактивных агентов характерно использование концепции состояния и простейших механизмов поведения типа «стимул — реакция». Благодаря этому они могут быстрее по сравнению с другими типами агентов реагировать на изменения среды. В то же время, делиберативные агенты соответствуют архитектуре, в которой поддерживается более обширное внутреннее представление об операционной среде. У этих агентов существуют: база знаний, развитые механизмы планирования действий, модели прогнозирования, принятия решений и т.д. Таким образом, делиберативные агенты способны более успешно адаптироваться к непредвиденным обстоятельствам. Хорошим примером делиберативных агентов является модель BDI (Belief, Desire, Intention). Гибридные агенты в свою очередь имеют интеграцию двух выше упомянутых архитектур, в силу которых агенты гибридного типа позволяют комбинировать быстрый реактивный механизм с проактивным поведением в ходе планирования действий.

Самоорганизующиеся многоагентные системы

Под понятием многоагентной системы в настоящей статье будет использоваться совокупность рациональных агентов, объединенных в группы и взаимодействующих



друг с другом с целью эффективного управления СС СН. Применение многоагентной системы способно облегчить моделирование процессов коллективного взаимодействия военных мобильных объектов и коллективного выбора при распределении задач между военными объектами.

Среди особенностей многоагентных систем можно выделить [9]:

- распределение — структура агентов легко реализуется в распределенных системах;

- децентрализация — отсутствие глобального механизма управления целой агентной системой, децентрализованное свойство получается в результате автономии составляемых агентов;

- автономность — каждый агент осуществляет свои задачи независимо от других, он может действовать без внешнего взаимодействия, принимать решения на основе своих наблюдений, желаний и собственной модели представления знаний;

- взаимодействие — агенты в MAS могут взаимодействовать друг с другом путем обмена информацией (сигналами, сообщениями) с помощью predetermined протоколов или стандартных языков коммуникации (ACL и KQML). К обычным видам взаимодействия агентов можно отнести кооперацию — процесс совместной работы для решения общей цели, координацию — процесс организации решения проблем с целью предотвращения вредных или поддержания полезных взаимодействий, и переговоры — процесс достижения соглашения, приемлемого для всех участвующих сторон;

- организация — децентрализация и автономия в распределенной среде создает необходимость введения глобального порядка популяции агентов, причем агент обычно может воспринимать только часть своей среды и часть соседних агентов. Динамическое появление глобального порядка в MAS часто принимается как эмерджентность;

- стохастичность — поведение каждого агента и самой системы в целом не является детерминированным, и последующее состояние может быть как предсказанным, так и случайным;

- открытость — агенты могут по своей инициативе участвовать в какой-нибудь популяции агентов или покинуть ее. Это позволяет решить проблемы динамичности системы;

- адаптивность — системы являются гибкими и могут изменять свое поведение и переходить в новое устойчивое состояние при изменении своей организации и внешней среды;

- доступность — многоагентная система довольно проста и легка для описания и адаптации ко многим проблемам.

Все перечисленные особенности кардинально отличаются многоагентные системы от традиционных «жестко» ор-

ганизованных систем, обеспечивая им такое принципиально важное свойство, как способность к самоорганизации. Данное свойство оказывается принципиально важным для случаев самовосстановления и саморазвёртывания в боевых условиях, так как обеспечивает устойчивость в условиях дестабилизирующих воздействий на сеть.

Управление, ориентированное на данные (контент)

Ключевым в переходе на СС СН, построенные на основе концепции NGN, является развитие информационных услуг, связанных не только с передачей информации, но и её сбором, обработкой, хранением, предоставлением пользователям по запросу [19]. Необходимо использовать данные, порождаемые системами управления СС СН в процессе их работы. Собранные данные становятся дополнительными источниками знаний для разноуровневых задач управления военными стационарными и мобильными объектами. В [19] рассмотрен подход совместного использования данных, порождаемых OSS/BSS и IoT для СС ОП. Однако аналогичные задачи необходимо решать в рамках СС СН будущего для повышения их надёжности. Поэтому уже сейчас мобильные и фиксированные СС СН следует рассматривать как нечто большее, чем просто инфраструктуру для переноса пакетных данных.

В силу того, что данные постепенно занимают центральное место в управлении сетями, всё большее применение находят подходы и методы анализа данных: концепция Big Data, технологии Data Mining, методы прогнозирования и другие [20].

Заключение

В данной работе описана общая картина трансформации подходов к построению систем управления СС СН: от традиционных иерархических к когнитивным многоагентным системам. В качестве традиционных систем были рассмотрены модели TMN и OSS/BSS. Обе эти модели из-за своего жестко структурированного статического характера не позволяют эффективно управлять сетями типа пост-NGN. Таким образом, происходящая сейчас ре(э)волюция систем управления телекоммуникациями приводит к когнитивному подходу. В настоящей статье данный подход представляется в виде модели многоагентной самоорганизации. Одной из основных тенденций в построении СС СН в ближайшее время будет переход к самоорганизации. Помимо изменения концепций сетей связи также будут затронуты принципы их управления. Самоорганизация может являться альтернативным способом фиксированного планирования при выполнении задач управления телекоммуникациями, что позволит в будущем решить целый класс задач управления военными сетями и объектами в полевых условиях — задач быстрого развёртывания, самовосстановления и др.

Важным направлением исследований методов управления СС СН становится анализ данных, порождаемых системами всех эшелонов СС СН и выработка управленческих решений на основе результатов анализа данных.

Литература

1. Гольдштейн А.Б. Эволюция моделей управления сетями NGN/IMS и пост-NGN // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2017. Т. 11. № 6. С. 46–50.
2. Pavlou G. On the evolution of management approaches, frameworks and protocols: a historical perspective // Journal of Network and Systems Management. 2007. No. 15(4). Pp. 425–445.
3. Самуйлов К.Е., Чукарин А.В., Яркина Н.В. Бизнес-процессы и информационные технологии в управлении телекоммуникационными компаниями. М.: Альпина Паблишерз. 2009. 442 с.
4. Гольдштейн Б.С., Кучерявый А.Е. Сети связи пост-NGN. СПб.: БХВ Петербург. 2012. 160 с.
5. Wooldridge M., Jennings N.R. Intelligent agents: Theory and practice // The knowledge engineering review. 1995. No. 10(2). Pp. 115–152.
6. Dennett D.C. Intentional systems// The Journal of Philosophy. 1971. No. 68(4). Pp. 87–106.
7. Hämmäläinen S., Sanneck H., Sartori C. LTE self-organising networks (SON): network management automation for operational efficiency. John Wiley & Sons. 2012. 430 p.
8. Hayzelden A.L., Bigham J. (Eds.). Software agents for future communication systems. Springer Science & Business Media. 1999. XIII, 385 p.
9. Byrski A., Drezewski R., Siwik L., Kisiel-Dorohinicki M. Evolutionary multi-agent systems // The Knowledge Engineering Review. 2015. No. 30(2). Pp. 31–55.
10. Serugendo G.D.M., Irit M.P., Karageorgos A. Self-organisation and emergence in MAS: An overview // Informatica. 2006. No. 30(1). Pp. 45–54.
11. Городецкий В.И. Самоорганизация и многоагентные системы. I. Модели многоагентной самоорганизации // Известия РАН. Теория и системы управления. 2012. № 2. С. 92–120.
12. Singh M.P., Huhns M.N. Service-oriented computing: semantics, processes, agents. John Wiley & Sons. 2006. 588 p.
13. Cheng S., Raja A., Xie J. Dynamic multiagent load balancing using distributed constraint optimization techniques // Web Intelligence and Agent Systems: An International Journal. 2014. 12(2). Pp. 111–138.
14. Zhang J., Liu Q. and Chen J. A Multi-agent Based Load Balancing Framework in Cloud Environment // Proceedings of the 9th International Symposium on Computational Intelligence and Design (ISCID) (Hangzhou, China, 10–11 December 2016). IEEE, 2016. Vol. 1. Pp. 278–281.
15. Kim S. Cognitive Model-Based Autonomic Fault Management in SDN Division of Electrical and Computer Engineering (Computer Science and Engineering), 2013. 84 p.
16. Fortino G., Guerrieri A., Russo W., Savaglio C. Integration of agent-based and cloud computing for the smart objects-oriented IoT // Proceedings of the 2014 IEEE 18th International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design (CSCWD) (Hsinchu, Taiwan, 21–23 May 2014). IEEE, 2014. Pp. 493–498.
17. Макаренко С.И. Описательная модель сети связи специального назначения // Системы управления, связи и безопасности. 2017. № 2. С. 113–164. URL: <http://sccs.intelgr.com/archive/2017-02/05-Makarenko.pdf> (дата обращения 15.10.2019)
18. Легков К.Е. Многоуровневые модели инфокоммуникационных сетей специального назначения // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2015. Т. 9. № 12. С. 32–36.
19. Zelenika Z., Pusnik T. Reinventing Telecom OSS Toolkit as an IoT Platform // Proceedings of the 58th International Symposium ELMAR-2016 (Zadar, Croatia 12–14 September 2016). IEEE, 2016. Pp. 1334–2630.
20. Almeida F., Lourenço J. Information Centric Networks — Design Issues, Principles and Approaches // International Journal of Latest Trends in Computing. 2012. Vol. 3. No. 3. 10 p.



TRANSFORMATION OF APPROACHES TO MANAGEMENT OF MODERN COMMUNICATIONS NETWORKS

ALEXANDER B. GOLDSTEIN,

St-Petersburg, Russia, agold@argustelecom.ru

SERGEY V. KISLYAKOV,

St-Petersburg, Russia, s.v.kislyakov@gmail.com

DANH C. NGUYEN,

Vietnam, nguyencongdanh0109@gmail.com

KEYWORDS: communication networks for special purposes, SNMP, TMN, SON, OSS/BSS, post-NGN, multi-agent systems, queuing theory, network management.

ABSTRACT

Modern communication networks for special purposes –communication networks designed for the needs of state authorities, the needs of the country's defense, state security and law enforcement - these are complex decentralized network structures that use the resources of public communication networks and commercial communication protocols. The management of such structures requires a transition to new management models, since hierarchical and distributed static network management systems, such as TMN and OSS/BSS, no longer fully meet the requirements for managing state and military networks. These systems provide only partial automation of decision-making in network management. They are still not ready for constant changes and are not able to adapt to them because of their rigidly static nature. Also, over time, control systems will encounter such a problem as the heterogeneity and mobility of a huge number of network devices in the - mobile control and managed devices, drones, wearable networks, etc. As a result of all of the above, it becomes necessary to search for new models and methods for building telecommunication management systems. From the point of view of managing such infrastructures, the transition to distributed cognitive management models, as well as models that take into account the volume and context of data generated by control systems in the process of their functioning, is gaining importance. In this paper, the authors considered the evolution of networks control models: starting with traditional approaches and moving on to modern models and methods for managing telecommunications of the future. In the course of the study, in addition to studying traditional approaches to telecommunication management, a cognitive model based on multi-agent self-organization was identified and the relevance of this approach to managing post-NGN networks was examined.

REFERENCES

1. Goldstein A.B. The evolution of NGN / IMS and post-NGN network management models. *T-Comm*. 2017. Vol 11. No.11. Pp. 46-50. (In Rus)
2. Pavlou G. On the evolution of management approaches, frameworks and protocols: a historical perspective. *Journal of Network and Systems Management*. 2007. No. 15(4). Pp. 425-445.
3. Samuilov K.E., Chukarin A.V., Yarkina N.V. *Biznes-protsessy i informatsionnye tekhnologii v upravlenii telekommunikatsionnymi kompaniyami* [Business processes and information technology in the management of telecommunications companies]. Moscow: Alpina Publishers, 2009. 442 p. (In Rus)
4. Goldstein B.S., Kucheryavyy A.E. *Seti svyazi post-NGN* [Post-NGN communication networks]. St. Petersburg: BKhV Peterburg, 2012. 160 p. (In Rus)
5. Wooldridge M., Jennings N.R. Intelligent agents: Theory and practice. *The knowledge engineering review*. 1995. No. 10(2). Pp. 115-152.
6. Dennett D.C. Intentional systems. *The Journal of Philosophy*. 1971. No. 68(4). Pp. 87-106.
7. Hämäläinen S., Sanneck H., Sartori C. *LTE self-organising networks (SON): network management automation for operational efficiency*. John Wiley & Sons. 2012. 430 p.
8. Hayzelden A.L., Bigham J. (Eds.). *Software agents for future communication systems*. Springer Science & Business Media. 1999. XIII, 385 p.
9. Byrski A., Drezewski R., Siwik L., Kisiel-Dorohinicki M. Evolutionary multi-agent systems. *The Knowledge Engineering Review*. 2015. No. 30(2). Pp. 31-55.
10. Serugendo G.D.M., Irit M.P., Karageorgos A. Self-organisation and emergence in MAS: An overview. *Informatica*. 2006. No. 30(1). Pp. 45-54.
11. Gorodetskii V.I. Self-organization and multiagent systems:

- I. Models of multiagent self-organization. *Journal of Computer and Systems Sciences International*. 2012. Vol. 51. No. 2. C. 256-281.
12. Singh M.P., Huhns M.N. *Service-oriented computing: semantics, processes, agents*. John Wiley & Sons. 2006. 588 p.
13. Cheng S., Raja A., Xie J. Dynamic multiagent load balancing using distributed constraint optimization techniques. *Web Intelligence and Agent Systems: An International Journal*. 2014. 12(2). Pp. 111-138.
14. Zhang J., Liu Q. and Chen J. A Multi-agent Based Load Balancing Framework in Cloud Environment. *Proceedings of the 9th International Symposium on Computational Intelligence and Design (ISCID)*, Hangzhou, China, 10-11 December 2016. IEEE, 2016. Vol. 1. Pp. 278-281.
15. Kim S. *Cognitive Model-Based Autonomic Fault Management in SDN Division of Electrical and Computer Engineering (Computer Science and Engineering)*. 2013. 84 p.
16. Fortino G., Guerrieri A., Russo W., Savaglio C. Integration of agent-based and cloud computing for the smart objects-oriented IoT. *Proceedings of the 2014 IEEE 18th International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design (CSCWD)*, Hsinchu, Taiwan, 21-23 May 2014. IEEE, 2014. Pp. 493-498.
17. Makarenko S.I. Descriptive Model of Special Communication Network. *Systems of Control, Communication and Security*. 2017. No. 2. C. 113-164. URL: <http://sccs.intelgr.com/archive/2017-02/05-Makarenko.pdf> (date of access 15.10.2019). (In Rus)
18. Legkov K.E. A layered model of the special purpose infocommunication networks. *T-Comm*. 2015. Vol 9. No.12. Pp. 32-36. (In Rus)
19. Zelenika Z., Pusnik T. Reinventing Telecom OSS Toolkit as an IoT Platform. *Proceedings of the 58th International Symposium ELMAR-2016*, Zadar, Croatia, 12-14 September 2016. IEEE, 2016. Pp. 1334-2630.
20. Almeida F., Lourenço J. Information Centric Networks – Design Issues, Principles and Approaches. *International Journal of Latest Trends in Computing*. 2012. Vol. 3. No. 3. 10 p.

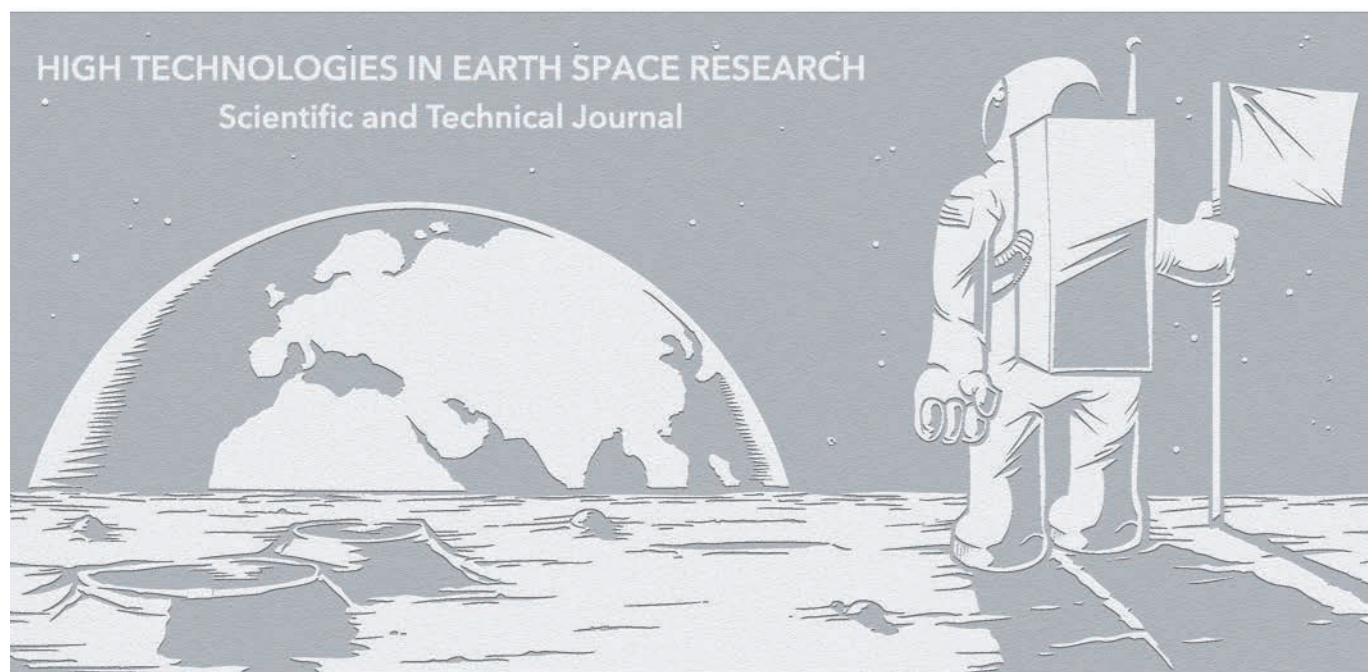
INFORMATION ABOUT AUTHORS:

Goldstein A.B., PhD, Docent, Docent, Lecturer at The Bonch-Bruевич Saint-Petersburg State University of Telecommunications; Director of STC ARGUS;

Kislyakov S.V., PhD, Docent, Lecturer at The Bonch-Bruевич Saint-Petersburg State University of Telecommunications; business-analyst of STC ARGUS;

Nguyen D.C., postgraduate student at The Bonch-Bruевич Saint-Petersburg State University of Telecommunications.

For citation: Goldstein A. B., Kislyakov S. V., Nguyen D. C. Transformation of approaches to management of modern communications networks. *H&ES Research*. 2020. Vol. 12. No. 3. Pp. 20-28. doi: 10.36724/2409-5419-2020-12-3-20-28 (In Rus)



TeleMultiMedia Forum 2020 соберет в онлайн лидеров цифровой медиасферы

4-й международный «TeleMultiMedia Forum 2020: Лидеры цифровой медиасферы» состоится в онлайн-формате 30 июня 2020 года. Организаторы мероприятия – TMT Conference, «Телеспутник» и TelecomDaily – сделают акцент в программе на один из главных трендов в медиапотреблении – его интеграции с широким кругом потребительских сервисов, выходящих за рамки индустрии медиа как таковой, на базе цифровых экосистем.

Регистрация участников, а также подробная информация на сайте: telemultimedia.ru

Откроет программу форума панельная дискуссия **«Цифровая медиасфера сегодня и завтра: взгляд в будущее индустрии ТВ, медиа и телекоммуникаций через призму объединения каналов распространения контента и медиасервисов в единую цифровую среду»**. Под модерацией теле- и радиоведущего Виктора Набутова ведущие отраслевые аналитики и главы ведущих медиа-компаний, операторов и сервис-провайдеров обсудят, как меняется ландшафт медиапотребления под влиянием как предсказуемых трендов, так и непредвиденных событий. Как будет меняться распределение доходов между различными платформами и каналами распространения контента, насколько эффективны современные методики медиаизмерений в цифровой среде (включая онлайн) – на эти и другие вопросы ответят участники панельной дискуссии. Среди участников дискуссии:

- Николай Орлов, зам. генерального директора, «Триколор»
- Григорий Лавров, генеральный директор, «Медиа Альянс»
- Виктор Чеканов, генеральный директор, Megogo Russia

- Илья Доронov, управляющий директор, РБК ТВ
- Яна Бардинцева, Генеральный директор Okko
- Сергей Плотников, директор Департамента инфокоммуникационных технологий и мультимедийных услуг, ФГУП «Космическая связь»

Свое видение влияния инноваций и цифровых технологий на развитие медиапотребления в ходе второй сессии **«Эволюция платформ: решения и технологии для нового медиапотребления в цифровой медиасфере»** представят:

- Ярослав Городецкий, генеральный директор, CDNvideo
- Егор Яковлев, генеральный директор компании «Платформы и решения», основатель и акционер Tvigle.ru, создатель проекта Start
- Григорий Кузин, директор проекта «Медиадиалогистика», MSK-IX
- Кирилл Абрамов, руководитель отдела развития телевидения, «Триколор»

Станут ли блокчейн и нейросети, Big Data, самообучающиеся рекомендательные системы, иммерсивная виртуальная реальность и роботизированное производство контента базовыми технологиями для операторов цифровой среды в ближайшем будущем? Своими ответами на эти и другие вопросы поделится разработчик инновационных сервисов и технологий для медиапотребления, создатели платформ доставки медиаконтента и OTT-сервисов, вендоры решений для Smart TV и приставок.

Завершит программу онлайн-форума круглый стол **«Экономика подписок: как операторы и сервис-провайдеры трансформируют свой бизнес в экосистемы»**. Участникам

дискуссии – Антону Володькину («Ростелеком»), Константину Смирнову («НТВ-Плюс»), Егору Яковлеву («Платформы и решения»), Андрею Нестерову («Триколор») и Григорию Кузину («Медиадиалогистика», MSK-IX) предстоит обобщить представленные на форуме передовые практики и стратегии в области создания и развития экосистем подписок.

Онлайн-формат проведения обеспечит техническое решение компании CDNvideo. CDNvideo это готовая медиаплатформа для вещания в Интернете. Хранение и обработка контента, составление плей-листов и программы передач, защита и монетизация, а также самая быстрая сеть доставки контента в России. Прямые трансляции или видео по запросу (скидка на трафик 20% по промокоду TD1606).

Организаторы Форума: TMT Conference, «Телеспутник» и ИАА Telecom Daily

Генеральный цифровой партнер: мультиплатформенный оператор цифровой среды – «Триколор»

Официальный партнер: Государственный оператор спутниковой связи – ФГУП «Космическая связь»

Партнер круглого стола: «Ростелеком»

Партнеры: Оператор цифрового и спутникового ТВ – «НТВ-ПЛЮС», Платформа наземной доставки телеканалов «Медиадиалогистика» компании MSK-IX

Технический партнер: CDNvideo

По вопросам участия:
Тел.: +7 (812) 448-11-08
E-mail: conf@tdaily.ru, telemultimedia.ru



doi: 10.36724/2409-5419-2020-12-3-30-46

СПОСОБ ФОРМИРОВАНИЯ ДЕСКРИПТИВНОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА ОПЕРАТИВНОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ ВВТ ГРУППИРОВКИ ПВО НА ОСНОВЕ ОНТОЛОГИЙ

**АНИСИМОВ
Олег Витальевич¹**

**КОРОБКО
Вадим Александрович²**

**ДОГАДОВ
Александр Сергеевич³**

**ЗЮЗИНА
Анастасия Дмитриевна⁴**

АННОТАЦИЯ

Рассматривается процесс оперативного восстановления изделий вооружения и военной техники группировки противовоздушной обороны с точки зрения его модельного представления, предназначенного для использования в средствах автоматизации деятельности личного состава дежурной смены центра ситуационного управления работами по ремонту и сервисному обслуживанию. В работе сокращение времени формирования оперативной информации связывается с совершенствованием средств автоматизации информационной поддержки рассматриваемого процесса за счет перехода к формализованным моделям, относящихся к классу дескриптивных. В качестве математического аппарата для создания таких моделей используются онтологии. Несмотря на использование онтологий для модельного представления различных предметных областей, способ построения дескриптивной модели представленного процесса с использованием математического аппарата онтологий отсутствует. Предлагается двухуровневая структура дескриптивной модели этого процесса в виде совокупности предметной и прикладной онтологий. Рассматриваются процедуры, обеспечивающие формирование единой онтологии рассматриваемого процесса. Особенность использования дескриптивной модели состоит в предоставлении возможности личному составу дежурной смены центра ситуационного управления при формировании запросов на получении необходимой оперативной информации использовать термины естественного языка. Это способствует повышению информативности запросов личного состава дежурной смены центра ситуационного управления. Использование дескриптивной модели в средствах автоматизации направлено на уменьшение времени оперативного восстановления изделий вооружения и военной техники группировки противовоздушной обороны за счет сокращения времени формирования оперативной информации, необходимой для осуществления деятельности личного состава дежурной смены центра ситуационного управления.

Сведения об авторах:

¹д.т.н., доцент, профессор Ярославского высшего военного училища противовоздушной обороны, г. Ярославль, Россия, qwaker@inbox.ru

²адъюнкт Ярославского высшего военного училища противовоздушной обороны, г. Ярославль, Россия, vadyt.korobko@yandex.ru

³начальник отделения радиолокационной разведки радиотехнической батареи зенитного ракетного дивизиона, г. Североморск, Россия, vaskyla@yandex.ru

⁴Начальник лаборатории Ярославского высшего военного училища противовоздушной обороны, г. Ярославль, Россия, zyuuzina-1996@bk.ru

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: оперативное восстановление; информационная поддержка; дескриптивная модель; онтология, вооружение и военная техника.

Для цитирования: Анисимов О.В., Коробко В.А., Догадов А.С., Зюзина А.Д. Способ формирования дескриптивной модели процесса оперативного восстановления изделий ВВТ группировки ПВО на основе онтологий // Научные исследования в космических исследованиях Земли. 2020. Т. 12. № 3. С. 30-46. doi: 10.36724/2409-5419-2020-12-3-30-46



Введение

Оперативное восстановление изделий военной техники территориальной группировки ПВО (ОВ ВТ ПВО) представляет собой процесс, обозначаемый ниже как P , который определяет общую организацию деятельности по дефектации и войсковому ремонту компонентов таких изделий в местах размещения [1–3]. Этот процесс проводится с участием различных групп лиц (личный состав эксплуатирующих подразделений, представители сервисных служб предприятий промышленности и т.д.), а его выполнение характеризуется необходимостью учета большого числа объективных и субъективных факторов в соответствии с общим порядком выполнения ремонта и технического обслуживания изделий военной техники, изложенным в [4].

Для организации деятельности в рамках рассматриваемого процесса P в настоящее время используются средства автоматизации Центра ситуационного управления (ЦСУ) АО «ГППП «Гранит», которые являются составной частью интегрированной автоматизированной системы (ИАСУ) управления жизненным циклом изделий ВТ ПВО, создаваемых на предприятиях АО «Концерн ВКО «Алмаз–Антей» [5]. При этом деятельность по оперативному восстановлению организуется личным составом дежурной смены этого центра и связана с формированием и использованием этими сотрудниками разнородной оперативной информации. Участие сотрудников дежурной смены в оперативном восстановлении изделий ВТ ПВО характеризуется высоким уровнем неопределенности, многоальтернативностью принимаемых решений и многократным использованием различных документов и сведений из базы данных (БД) ИАСУ для формирования необходимой оперативной информации. Время формирования этой информации является составной частью общих временных затрат на выполнение операций при оперативном восстановлении и в значительной степени определяет значение времени восстановления изделий ВТ ПВО.

Временной анализ процесса P [4] показывает, что этот процесс характеризуется возможностью многократного повторения действий по формированию оперативной информации при организации деятельности по дефектации и войсковому ремонту таких изделий [6,7]. Декомпозиция каждого из этих действий обеспечивает представление процесса P в виде соответствующего цикла, в котором основными структурообразующими единицами выступают операции этого процесса [4].

Используемые в ЦСУ средства автоматизации информационной поддержки операций процесса P основываются на существующих формальных подходах к представлению этого процесса¹ [8]. Основой этих подходов выступает

многоаспектное представление процесса P , которое отражает структурный, функциональный, ресурсный и временной аспект, а также аспект потоков данных. В целом использование таких подходов обеспечивает достаточно подробное модельное представление рассматриваемого процесса, которое находит отражение в инфологической модели базы данных и алгоритмических средствах ИАСУ, образующих основу средств автоматизации информационной поддержки ЛС дежурной смены ЦСУ.

Однако семантические связи, присутствующие в существующем модельном представлении процесса P , не находят своего отражения в средствах автоматизации ИАСУ, что приводит в необходимости многократной взаимной интерпретации данных и предметных понятий, характеризующих этот процесс и используемых в деятельности личного состава дежурной смены ЦСУ. Вследствие этого временные затраты, связанные с формированием и использованием оперативной информации при выполнении операций оперативного восстановления изделий ВТ ПВО, являются значительными.

Как показано в [9, 10], сокращение времени оперативного восстановления изделий ВТ группировки ПВО в ИАСУ может быть обеспечено за счет развития средств и методы информационной поддержки оперативного восстановления, основанных на использовании формализованных моделей процесса, относящихся к классу дескриптивных. Описание способа построения таких моделей для рассматриваемого процессе P в литературе отсутствует, что приводит к необходимости решения научной задачи по его разработке и определяет цель настоящей работы. При решении этой задачи используется формализация, описанная в [9], которая определяет структуру дескриптивной модели $L(P)$ процесса P и позволяет формально представлять смысловые связи между элементами этого в понятиях и терминах естественного языка. Модель $L(P)$ основывается на сочетании теоретико-множественного $L_{\eta}^1(P)$ и вербального $L_{\eta}^2(P)$ описания каждого η -го аспекта представления процесса P , так, что:

$$L(P) = \bigcup_{\eta \in \{S, F, U, T, W\}} L_{\eta}(P), \quad (1)$$

$$L_{\eta}(P) = L_{\eta}(L_{\eta}^1(P), L_{\eta}^2(P))$$

Для учета понятий и терминов естественного языка, используемых в модели $L(P)$, в работе [9] применяются два вида процессных элементов (ЭП): процессные элементы первого (ЭП1) и второго (ЭП2) вида. Процессные элементы ЭП1 определяются понятиями и терминами, используемыми при выполнении теоретико-множественного представления $L_{\eta}^1(P)$, а процессные элементы ЭП2 определяются

¹Киммел П. UML. Основы визуального анализа и проектирования: раскрытие тайн; UML. Универсальный язык программирования: самоучитель: пер. с англ. М.: NT Press, 2008. 264 с.

понятиями и терминами, используемыми при выполнении вербального представления $L_{\eta}^2(P)$ Формально модели $L_{\eta}^1(P)$ и $L_{\eta}^2(P)$ определяются на основе дескриптивных элементов (ДЭ) представляемых в виде триплетных предикатных структур (триплетов) $\alpha r \beta$, где α и β определяют процессные элементы, а отношение r отражает семантическое (смысловое) содержание связи между α и β . При этом элементы α и β триплетов выражаются в понятиях и терминах естественного языка.

Использование триплетных предикатных структур в модели $L(P)$ хорошо согласуется с формальным аппаратом онтологий, ориентированным на формализованное описание предметной области в понятиях и терминах естественного языка с использованием элементов дескриптивной логики. Поэтому целесообразно формировать модель $L(P)$ на основе онтологий в соответствии с ее представлением, определяемым выражением (1). Это требует определения структуры дескриптивной модели $L(P)$ в соответствии с общими формальными правилами построения онтологий с последующей разработкой процедур формирования компонентов этой модели.

Структура дескриптивной модели процесса оперативного восстановления изделий ВВТ группировки ПВО на основе онтологий

Предлагаемый подход к представлению структуры дескриптивной модели $L(P)$ состоит в том, что эта модель определяется в виде онтологии $O(P) = \langle A(P), R(P), V(P) \rangle$. При этом ниже используется общепринятое определение онтологии [11, 12], как формальной системы O , состоящей из конечного множества A понятий и терминов предметной области, конечного множества отношений R (семантических связей) между понятиями, а также конечного множества аксиом V , необходимых для ограничения интерпретаций при использовании понятий и терминов: $O(P) = \langle A, R, V \rangle$.

В виду сложности процесса P оперативного восстановления изделий ВВТ группировки ПВО для определения онтологии $O(P)$ предлагается использовать декомпозицию этого процесса, основанную на его многоаспектном модельном представлении (1). Использование в модели $L(P)$ структурного ($\eta=U$), функционального ($\eta=F$), временного ($\eta=T$), ресурсного ($\eta=U$) аспекта представления, а также аспекта представления данных ($\eta=W$) приводит к целесообразности представления онтологии $O(P)$ в виде совокупности поаспектных онтологий:

$$O(P) = \bigcup_{\eta \in \{S, F, U, T, W\}} O_{\eta}(P). \quad (2)$$

В свою очередь, формирование всякой онтологии $O_{\eta}(P)$ характеризуются необходимостью учета теоретико-множественного $L_{\eta}^1(P)$ и вербального $L_{\eta}^2(P)$ представле-

ния η -го аспекта процесса P . Поскольку $L_{\eta}^1(P)$ характеризует предметное, а $L_{\eta}^2(P)$ прикладное представление η -го аспекта процесса P , то целесообразно обеспечить формирование предметной $L_{\eta}^1(P)$ и прикладной $L_{\eta}^2(P)$ онтологий для всякого аспекта.

В качестве понятийной основы онтологии $O_{\eta}^1(P)$ целесообразно использовать термины и понятия $A_{\eta}^1(P)$ естественного языка, характеризующие процессные элементы первого вида (ЭП1), определяемые теоретико-множественным описанием всякого η -го аспекта. При этом для всякой онтологии $O_{\eta}^1(P)$ необходимо определить отношения $R_{\eta}^1(P)$, описывающие связи между понятиями и терминами множества $A_{\eta}^1(P)$, а также требуется определить множество аксиом $V_{\eta}^1(P)$. В общем виде формально структуру всякой онтологии $O_{\eta}^1(P)$ целесообразно представить в следующем виде:

$$O_{\eta}^1(P) = \langle A_{\eta}^1(P), R_{\eta}^1(P), V_{\eta}^1(P) \rangle. \quad (3)$$

При определении структуры онтологии $O_{\eta}^2(P)$ необходимо учитывать следующее.

1. Отношения $R_{\eta}^2(P)$ и аксиомы $V_{\eta}^2(P)$, используемые в онтологии $O_{\eta}^2(P)$, определяются отношениями $R_{\eta}^1(P)$ и аксиомами $V_{\eta}^1(P)$, так, что $R_{\eta}^2(P) = R_{\eta}^1(P)$, $V_{\eta}^2(P) = V_{\eta}^1(P)$,

2. Термины и понятия $A_{\eta}^2(P)$ естественного языка, используемые в онтологии $O_{\eta}^2(P)$, характеризуют процессные элементы второго вида (ЭП2), определяемые на основе процессных элементов ЭП1, так, что с каждым элементом ЭП1 связывается множество элементов ЭП2.

3. Многозначность связи между ЭП1 и ЭП2 устанавливает соответствие между множествами $A_{\eta}^1(P)$ и $A_{\eta}^2(P)$, которое может быть формально представлено в виде отображения гомоморфизма $\Gamma := A_{\eta}^1(P) \rightarrow A_{\eta}^2(P)$, так, что $\Gamma(A_{\eta}^1(P)) \subseteq A_{\eta}^2(P)$.

Таким образом, формально структура всякой онтологии $O_{\eta}^2(P)$ может быть представлена в следующем виде:

$$O_{\eta}^2(P) = \langle A_{\eta}^2(P), R_{\eta}^1(P), V_{\eta}^1(P) \rangle. \quad (4)$$

Онтологии $O_{\eta}^1(P)$ и $O_{\eta}^2(P)$ в совокупности определяют онтологию $O_{\eta}(P)$, характеризующую η -ый аспект представления модели $L(P)$ в части $L_{\eta}(P)$, так, что формально эта онтология может быть определена следующим образом:

$$O_{\eta}(P) = \langle A_{\eta}(P), R_{\eta}(P), V_{\eta}(P) \rangle = O_{\eta}^1(P) \cup O_{\eta}^2(P), \quad (5)$$

где $A_{\eta}(P) = A_{\eta}^1(P) \cup A_{\eta}^2(P)$, $R_{\eta}(P) = R_{\eta}^1(P)$, $V_{\eta}(P) = V_{\eta}^1(P)$.

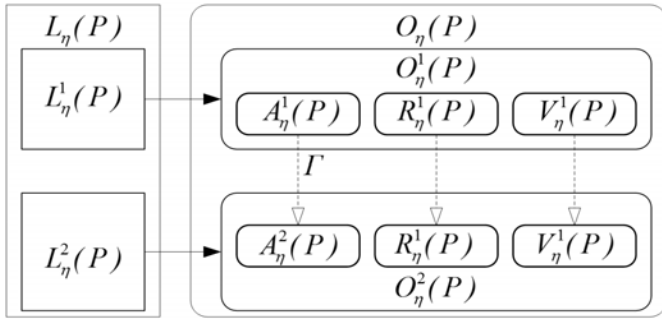


Рис. 1. Структурное представление η-го аспекта модели $L(P)$ в виде онтологии $O_\eta(P)$

Выражение (6) определяет структуру представления всякого η-го аспекта модели $L(P)$ в виде онтологии $O_\eta(P)$, что графически представлено в виде рис. 1.

Для модельного представления всего процесса P естественно выполнить объединение всех выше определенных поаспектных онтологий $O_\eta(P)$. Образующаяся при этом онтология

$$O'(P) = \langle A'(P), R'(P), V'(P) \rangle = \bigcup_{\eta \in \{S, F, U, T, W\}} O_\eta(P)$$

характеризуется тем, что в ней

$$A(P) = A(P) = \bigcup_{\eta \in \{S, F, U, T, W\}} A_\eta(P),$$

$$R'(P) = R_\eta^1(P), V'(P) = V_\eta^1(P).$$

Однако, онтология $O'(P)$ не учитывает наличие межаспектных отношений, существующих в процессе P между процессными элементами, так, что $O'(P) \subset O(P)$. Поэтому для определения онтологии $O(P)$ необходимо онтологию $O'(P)$ дополнить множеством отношений $\tilde{R}(P)$, между понятиями из различных аспектов множества $A(P)$. За счет этого определяется множество отношений $R(P)$:

$$R(P) = R^1(P) \cup \tilde{R}(P) \quad (6)$$

Таким образом полностью определяются все компоненты онтологии $O(P)$, представляющей дескриптивную модель $L(P)$. В соответствии с выражением (5) и (6) структурно представление этой модели в виде онтологии $O(P)$, образуемой на основе совокупности определенных выше онтологий, целесообразно представить в виде двухуровневой иерархической структуры. В этой структуре верхний уровень образован предметной онтологией $O^1(P)$, отражающей представление $L^1(P)$, а нижний уровень — прикладной онтологией $O^2(P)$, отражающей представление $L^2(P)$ так, что:

$$O(P) \rightarrow \{O^1(P), O^2(P)\}, \quad (7)$$

$$\text{где } O^1(P) = \langle A^1(P), R^1(P), V^1(P) \rangle,$$

$$O^2(P) = \langle A^2(P), R^1(P), V^1(P) \rangle$$

Выражение (7) определяет структуру модели $L(P)$, определяемой в виде онтологии $O(P)$, которая графически представляется рис. 2.

В соответствии со структурой онтологии $O(P)$, определяемой выражением (7), ниже предлагается способ формирования дескриптивной модели $L(P)$, который основывается на совокупности процедур, обеспечивающих:

1. Формирование предметной онтологии $O^1(P)$, определяющей предметное модельное представление $L^1(P)$ процесса P ,
2. Формирование прикладной онтологии $O^2(P)$, определяющей прикладное модельное представление $L^2(P)$ процесса P ,
3. Формирование объединенной онтологии $O(P)$, определяющей дескриптивную модель $L(P)$.

Реализация вышеназванных процедур основывается на использовании существующих технологий и средств онтологического анализа и моделирования предметной области

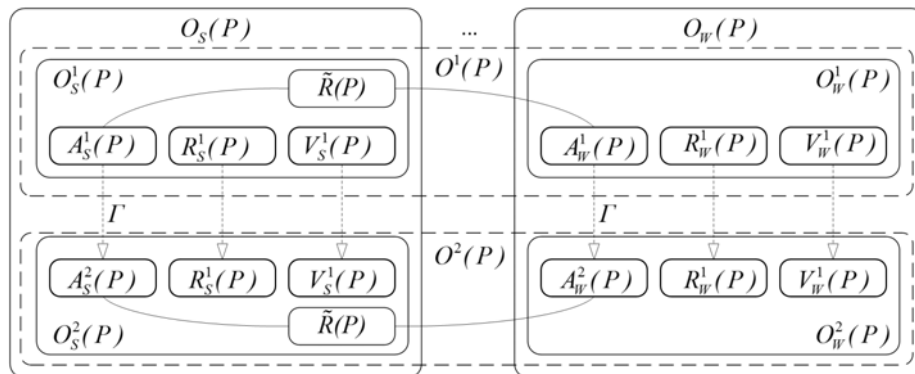


Рис. 2. Иерархическая структура онтологии $O(P)$, представляющей дескриптивную модель $L(P)$

[10–16]. Следует отметить, что для некоторых предметных областей [17, 18] разработаны процедуры формированию онтологий, позволяющие отражать особенности этих предметных областей. Применительно к представлению процесса оперативного восстановления ВТ ПВО, такие исследования отсутствуют. В то же время нормативная и регуляторная база для этой предметной области хорошо проработана, что позволяет использовать совокупность нормативных и регламентирующих документов D в качестве исходной информации, необходимой для определения всех онтологий, используемых при формировании дескриптивной модели $L(P)$ в виде онтологии $O(P)$. С точки зрения практической реализации все онтологии, как формальные конструкции, могут быть сформированы с применением средств построения и использования онтологий, таких как RDFS или OWL [12, 14].

Формирование предметной онтологии процесса оперативного восстановления изделий ВВТ группировки ПВО

Формирование предметной онтологии $O^1(P)$ целесообразно выполнить в два этапа. Первый этап связан с формированием множества предметных понятий $A^1(P)$ и отношений $R(P) = R^1(P) \cup \tilde{R}(P)$ используемых при описании процесса P . Второй этап направлен на формирование компонентов предметной онтологии $O^1(P)$ на основе сформированных множеств.

Множество $A^1(P)$ содержит представление каждого процессного элемента ЭП1 на основе соответствующего предметного понятия ε :

$$\text{ЭП1} \rightarrow \text{ЭП1}_{\varepsilon}, \varepsilon \in A^1(P), \quad (8)$$

Такое представление процессных элементов позволяет определить дескриптивное предметное представление $L^1(P)$ процесса P в следующем виде:

$$L^1(P) = \bigcup_{\varepsilon} \text{ЭП1}_{\varepsilon}. \quad (9)$$

При этом следует иметь ввиду, что предметные понятия ε , которые образуют множество $A^1(P)$ могут быть простыми (ε^n) и составными (ε^c), так, что $A^1(P) = A^{1n}(P) \cup A^{1c}(P)$, где $A^{1n}(P)$, $A^{1c}(P)$ — множество простых и составных понятий соответственно. Простое понятие состоит из сущности, характеризующей процессный элемент ЭП1, которая может доопределяться одним или несколькими терминами в виде прилагательных, причастий, порядковых числительных и т.п. Формально всякое простое понятие ε^n представляется в форме Бэкуса-Наура в виде следующей структуры: $\varepsilon^n := \{\text{определятельный терм}\} \text{сущность}$.

Примерами простых понятий ε^n для процесса P являются: операция, связь, ресурс, документ, акт, ведомость, рекламационный акт, утвержденный рекламационный акт, дефектационная ведомость.

Составные понятия ε^c представляются на основе нескольких простых понятий и формально представляются в форме Бэкуса-Наура в виде следующей структуры: $\varepsilon^c := \varepsilon^n \{\varepsilon^n\}$.

Примерами составных понятий ε^c для процесса P являются: операция формирования рекламационного акта, учетный номер рекламационного акта, десятичный номер изделия.

В соответствии с [11] в качестве исходного информационного ресурса при формировании множества $A^1(P)$ и $R(P)$ выступает нормативная и регламентирующая документация D , а также модели $\mathcal{M} = \{M_{IDEF0}(P) \rightarrow M_{IDEF1X}(P) \rightarrow M_{DED}(P)\}$ процесса P , которые разработаны и использованы при создании ИАСУ ПТПП «Гранит» на основе методологий процессного моделирования: функциональная модель $M_{IDEF0}(P)$, модель потоков данных $M_{DED}(P)$, информационная модель $M_{IDEF1X}(P)$. Такое использование информационного ресурса при формировании онтологии $O^1(P)$ целесообразно учитывать в следующем виде:

$$\begin{aligned} A^1(P) &= \bigcup_{m \in \mathcal{M}} A_m^1(P) \cup A_D^1(P), \\ R^1(P) &= \bigcup_{m \in \mathcal{M}} R_m^1(P) \cup A_D^1(P), \quad (10) \\ \tilde{R}(P) &= \bigcup_{m \in \mathcal{M}} \tilde{R}_m(P) \cup \tilde{R}_D(P). \end{aligned}$$

При этом множества $A_m^1(P)$ включают предметные понятия, используемые в соответствующих моделях $M_m(P)$, а множество $A_D^1(P)$ включает предметные понятия, содержащиеся в документации D , связанной с описанием процесса P в рамках используемых методологий.

Выражение (10) в формальном виде представляет общие правила формирования множеств $A^1(P)$, $R^1(P)$ и $\tilde{R}(P)$, которые ниже реализуются в виде соответствующей процедуры П1.1.

Формирование множеств понятий и отношений для предметного представления процесса оперативного восстановления изделий ВВТ группировки ПВО

Процедура П1.1, обеспечивающая формирование множеств $\mu \in A_{IDEF1X}^1(P)$, $R^1(P)$ и $\tilde{R}(P)$, является циклической, и ее выполнение связано с подробным многоаспектным анализом предметной области для всех моделей \mathcal{M} , сочетающим понятийный и формализованный подходы.

Начальный шаг. Выполняется инициализация процедуры путем определения пустых множеств $A^1(P) := \emptyset$, $R^1(P) := \emptyset$ и $\tilde{R}(P) := \emptyset$.



Шаг 1. Устанавливается следующий порядок анализа моделей $M: M_{IDEF0}(P) \rightarrow M_{IDEF1X}(P) \rightarrow M_{DFD}(P)$ и выбирается первая модель $m = IDEF0$ для анализа.

Шаг 3. По модели $M_m(P)$ проводится понятийный анализ графических элементов представления $\Gamma_m(P)$ процесса P . На основе этого анализа поочередно выделяются процессные элементы ЭП, определяются соответствующие им сущности и на их основе определяются понятия $A_m^1(P)$, а также отношения $R_m^1(P)$. При этом осуществляется разделение понятий $A_m^1(P)$ на простые и составные и выполняется классификация предметных понятий и отношений по аспектам η , представленным в модели $L^1(P)$. Доопределяются множества $A^1(P)$, $R^1(P)$ и $\tilde{R}_m(P)$ по правилу: $A^1(P) := A^1(P) \cup A_m^1(P)$, и $\tilde{R}(P) := \tilde{R}(P) \cup \tilde{R}_m(P)$, причем повторяющиеся элементы учитываются в этих множествах по одному разу для обеспечения уникальности используемых предметных понятий и отношений.

Шаг 4. Для всех процессных элементов, выбранных на шаге 3 определяются понятия $A_D^1(P)$ и отношения $R_D^1(P), \tilde{R}_\eta(P)$ на основе анализа документации D . Доопределяются множества $A^1(P), R^1(P)$ и $\tilde{R}_D(P)$ по правилу: $A^1(P) := A^1(P) \cup A_D^1(P)$, $R^1(P) := R^1(P) \cup R_D^1(P)$ и $\tilde{R}(P) := \tilde{R}(P) \cup \tilde{R}_D(P)$. Повторяющиеся элементы учитываются в этих множествах по одному разу для обеспечения уникальности используемых предметных понятий и отношений.

Шаг 5. Выбирается очередная модель m и выполняется переход на шаг 3. Если все модели выбраны, то процедура завершается.

В результате выполнения этой процедуры обеспечивается формирование множеств $A^1(P), R^1(P), \tilde{R}(P)$ и, используемых в предметном описании процесса P . Структура предлагаемой процедуры представлена в виде UML-диаграммы на рис. 3.

Выполняемые в этой процедуре действия поясняются ниже на примере выполнения понятийного анализа, связанного с представлением процессного элемента ЭП_{СДРА} = «Составление и подписание двустороннего рекламационного акта» в документации и существующих моделях $M_{IDEF0}(P), M_{IDEF1X}(P)$ и $M_{DED}(P)$ процесса P .

В результате анализа представления процессного элемента ЭП_{СДРА} в модели $M_{IDEF0}(P)$ (рис. 4), выделяются предметные понятия $A_{IDEF0}^1(P)$, соответствующие графическим элементам этого представления:

$A_{IDEF0}^1(P) = \{\text{неработоспособное изделие ВВТ, представитель войсковой части, представитель поставщика из}$

делия, оформленный акт исследования о причинах дефекта изделия, форма № 5, шаблон рекламационного акта, форма № 4, приказ командира войсковой части, составление и подписание двустороннего рекламационного акта, составленный и подписанный рекламационный акт ...}.

Полученные предметные понятия $A_{IDEF0}^1(P)$ разделяются на простые $A_{IDEF0}^{1n}(P)$ и составные $A_{IDEF0}^{1c}(P)$ понятия. Составные понятия, посредством разметки, вручную разделяются на совокупность простых понятий. При этом фиксируется соответствие между исходным составным понятием и связанными с ним простыми понятиями. Например, одним из составных понятий участвующих в описании ЭП_{СДРА} является понятие $\varepsilon_{IDEF0}^{1A}(P) = \{\text{приказ командира войсковой части}\}$, которое целесообразно разделить на три простых понятия: приказ, командир, войсковая часть.

Для установления отношений между понятиями $A_{IDEF0}^1(P)$ происходит анализ соответствующих фрагментов текста из нормативной документации. Применительно к рис. 4 в соответствии с руководящими документами «Методология функционального моделирования IDEF0» (РД IDEF0–2000)² и ГОСТ РВ 15.703–2005³ составление и подписание двустороннего рекламационного акта характеризуется использованием различных отношений $R_{IDEF0}(P)$: используется, преобразуется, расходует, необходимо, определяют условия, произведены, являются, ..., зависит от, влияет на.

Выделенные предметные понятия $A_{IDEF0}^1(P)$ и отношения $R_{IDEF0}(P)$ классифицируются по аспектам представления процесса. Так например, анализируемое предметное понятие «Составление и подписание двухстороннего рекламационного акта» отражает структурный и функциональный аспект представления процесса P , а выявленные при этом анализе предметные понятия «представители войсковой части», «составленный и подписанный рекламационный акт», «приказ командира войсковой части» — ресурсный аспект представления выполняемой операции.

Аналогичным образом основной цикл процедуры П1.1 выполняется для моделей $M_{DED}(P)$ и $M_{IDEF1X}(P)$.

Формирование компонентов предметной онтологии для представления процесса ОБ изделий ВВТ группировки ПВО

Формирование предметной онтологии $O^1(P)$ предлагается выполнить на основе сформированных выше множеств $A^1(P), R^1(P)$ и $\tilde{R}(P)$, путем добавления множества аксиом $V^1(P)$ этой онтологии, которые целесообразно создавать с использованием инструментальных средств OWL [14]. Для

²РД IDEF 0 – 2000. Методология функционального моделирования IDEF0. М.: Госстандарт России, 2000. 75 с.

³ГОСТ РВ 15.703-2005. Система разработки постановки продукции на производство. Военная техника. Порядок предъявления и удовлетворения рекламаций

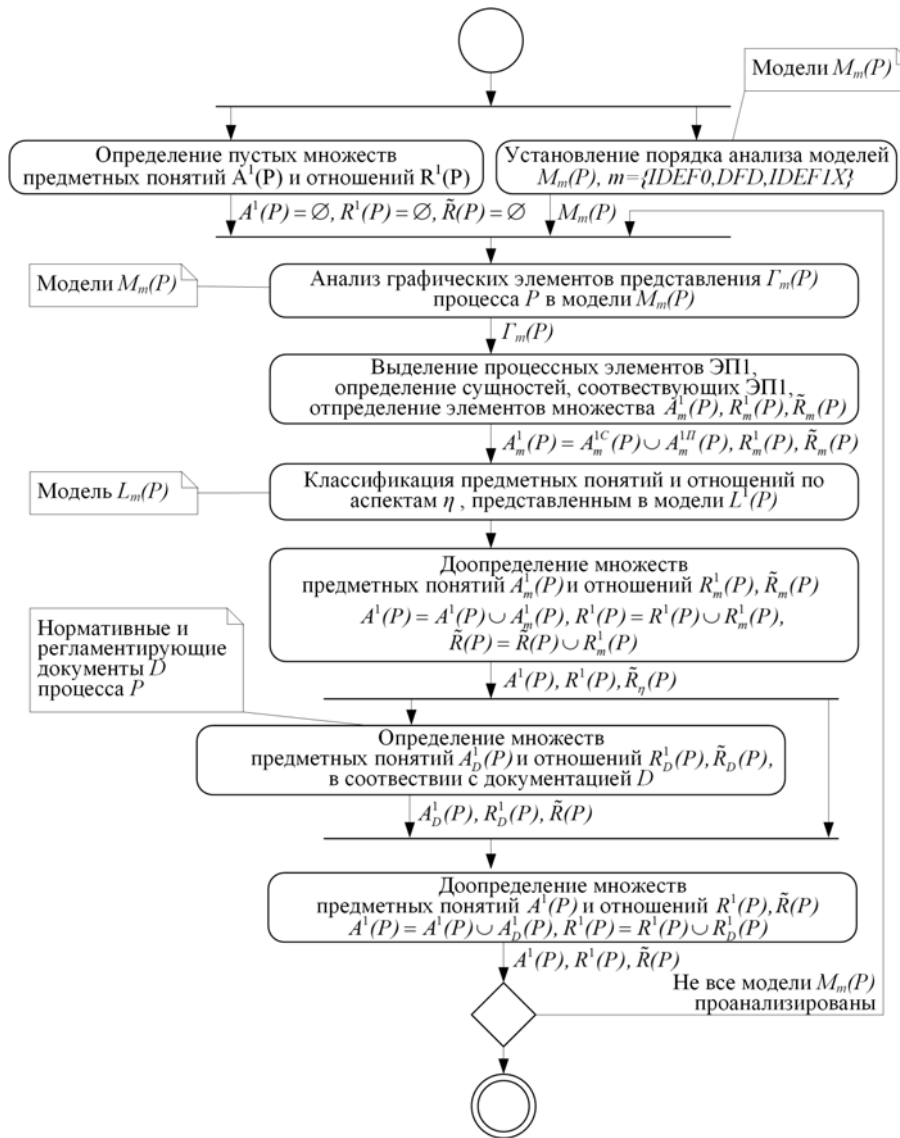


Рис. 3. UML-диаграмма процедуры формирования множеств понятий и отношений для предметного представления процесса оперативного восстановления изделий ВВТ группировки ПВО

определения средствами OWL предметных понятий и терминов ε , составляющих основу компонентов онтологии $O^1(P)$ целесообразно создать аксиомы следующих классов:

- класс $V1$ позволяет определять всякий элемент ЭП1, представляемый понятием $\varepsilon \in A^1(P)$, как класс ε в онтологии $O^1(P)$ (в OWL это соответствует записи $Class: \varepsilon$, например, $Class: \text{ОперативноеВосстановление}$);

- класс $V2$ позволяет показать, что экстенционал (формальное описание) понятия класса ε полностью входит в экстенционал понятия класса ω (в OWL это соответствует записи $\varepsilon \text{subClassOf} \omega$, например $\text{Дефектация subClassOf ОперативноеВосстановление}$);

- класс $V3$ позволяет формировать непересекающиеся классы понятий (в OWL это соответствует записи ε

$\text{disjoint}[\text{With}|\text{Classes:}] \omega$, например $\text{Дефектация disjointWith ВойсковойРемонт}$;

- класс $V4$ позволяет определить, что экстенционалы классов ε и ω совпадают (в OWL это соответствует записи $\varepsilon \text{equivalentTo} \omega$, например, $\text{ПротивовоздушнаяОборона equivalentTo ПВО}$).

Использование лишь аксиом классов $V1, V2, V3, V4$ не позволяет определить смысловые связи между понятиями, отражающими предметное содержание процесса P . Для отражения таких связей предлагается создать еще один класс аксиом, обозначенный в онтологии $O^1(P)$, как $V5$. С помощью аксиом этого класса определяются триплетные структуры $\varepsilon R \omega$ ($\varepsilon, \omega \in A^1(P)$), которые представляют собой высказывания (утверждения) вида «субъект-отношение-объект»

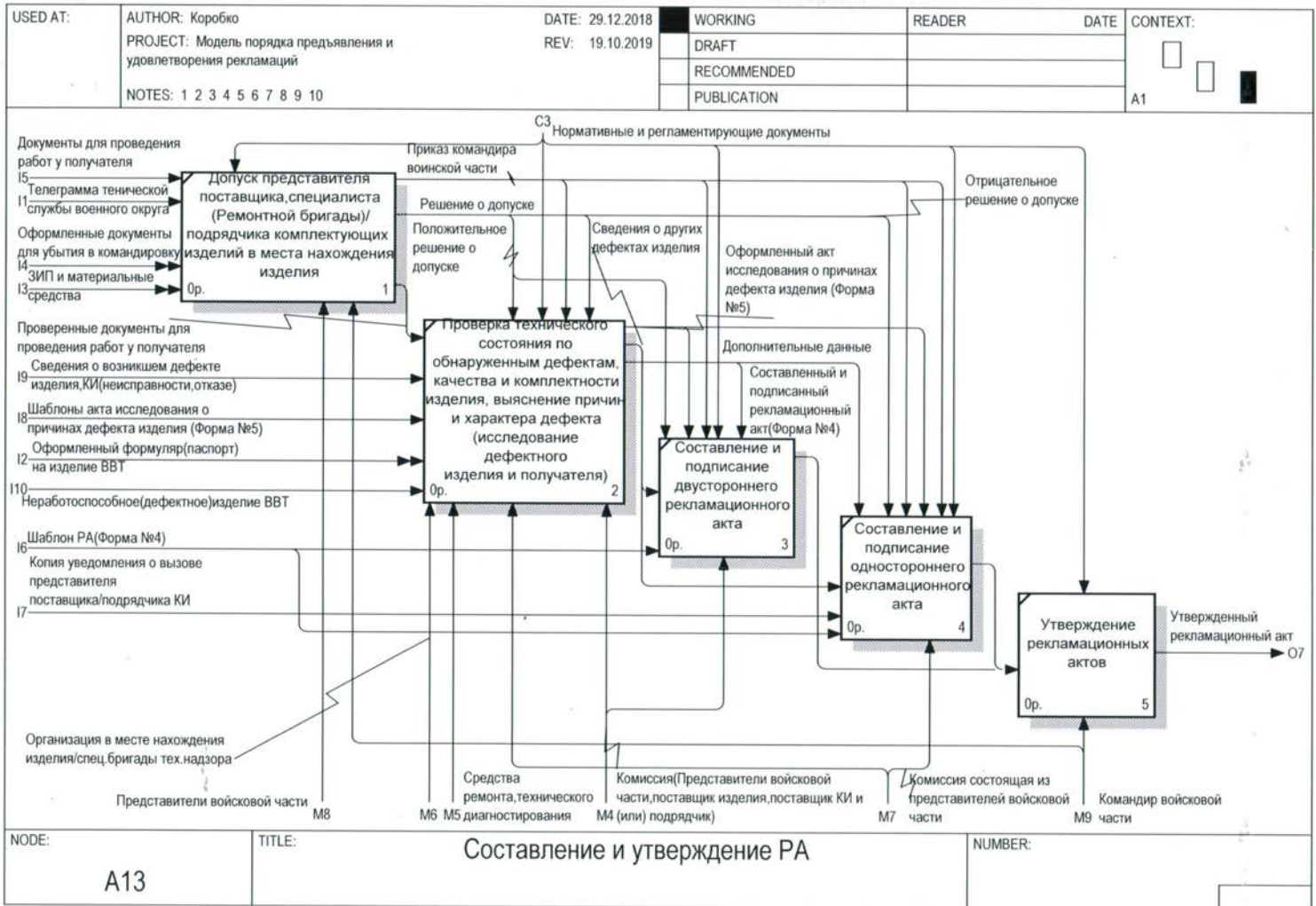


Рис. 4. Представление процессного элемента «Составление двухстороннего рекламационного акта» в модели $M_{IDEF0}(P)$ по методологии IDEF0

на основе отношений $R \in R(P)$. Подобного рода триплетные структуры соответствуют дескриптивному представлению процессных элементов, формально определенных в [9].

При формировании онтологии $O^1(P)$ каждое используемое понятие $\varepsilon \in A^1(P)$ необходимо связывать со всеми понятиями в пределах одного аспекта, а также с понятиями из других аспектов предметной области оперативного восстановления с помощью уточнения отношений $R(P)$ отношениями $RA^1(P)$ между понятиями $A^1(P)$, отношениями $RD^1(P)$ по используемым типам данных и отношениями $RX^1(P)$ по аннотациям (меткам, определениям). Применительно к онтологии $O^1(P)$ это означает, что все множество используемых в онтологии $O^1(P)$ отношений $R(P)$ можно определить следующим образом: $R(P) = \{R(P), RA^1(P), RD^1(P), RX^1(P)\}$. Вспользование аксиом классов $V1, V2, V3, V4$ позволяет средствами OWL включить отношения $R(P)$ в онтологию $O^1(P)$. При этом в одной аксиоме возможно

определять только одно уточнение отношения, так, что $R(P) = R(P)[RA^1(P)|RD^1(P)|RX^1(P)]$.

Предложенная выше формализация выступает основой для разработки процедуры П1.2 определения компонентов предметной онтологии $O^1(P)$. Укрупненно процедура П1.2 состоит из двух шагов, выполняемых циклически и связанных с введением множества аксиом $V^1(P)$, как компонента онтологии $O^1(P)$.

Шаг 1 заключается в последовательном выборе всех понятий $A^1(P)$ и отношений $R^1(P), \tilde{R}^1(P)$, сформированных с помощью процедуры П1.1, и их включении в онтологию $O^1(P)$ с использованием аксиом классов $V1, V2, V3, V4$ реализуемых средствами OWL.

Шаг 2 связан с представлением смысловых связей между понятиями $A^1(P)$ на основе отношений $R^1(P), \tilde{R}^1(P)$ и определением таких связей с помощью аксиом класса $V5$, реализуемых средствами OWL.

Подробно действия, выполняемые в процедуре П1.2, представлены в виде UML-диаграммы на рис. 5. Предложенная процедура завершает формирование предметной онтологии $O^1(P)$ обеспечивающей представления дескриптивной модели $L^1(P)$ процесса ОБ ВТ ПВО средствами онтологий.

Ниже приводится пример использования процедуры П1.2 для определения в онтологии $O^1(P)$ процессного элемента ЭП1=«Рекламационный акт», представляемого понятием ε =«Рекламационный акт». При этом учитывается, что в онтологии $O^1(P)$ определено понятие ε_1 = «Рекламация».

С использованием средств OWL, результат выполнения процедуры П1.2 представляется в следующем виде:

Class: РекламационныйАкт, // Применение аксиомы класса V1
 Рекламационный акт *SubClassOf* Акт, // Применение аксиомы класса V2
 Рекламационный акт *SubClassOf* Ресурсный_аспект, // Применение аксиомы класса V2
 Рекламационный акт *SubClassOf* Аспект_данных, // Применение аксиомы класса V2

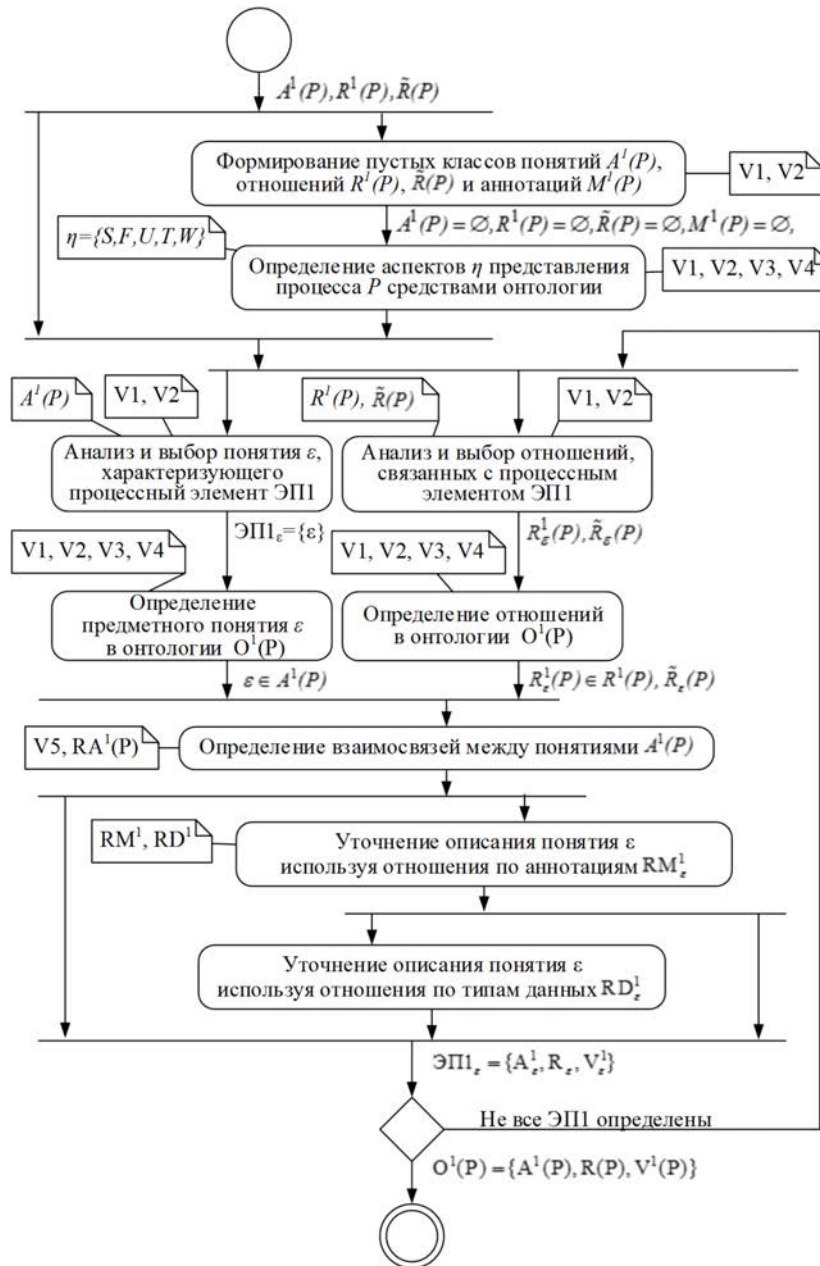


Рис. 5. UML-представление процедуры формирования компонентов предметной онтологии для представления процесса ОБ изделий ВВТ группировки ПВО

Рекламационный акт *equivalentTo* Рекламация, // Применение аксиомы класса V4

Label: Рекламационный акт, // Применение отношения вида EM^1

AnnotationProperty: ГОСТ Р 55754–2013⁴, // Применение отношения вида HM^1

AnnotationLiteral: Письменное заявление потребителя установленной формы изготовителю (поставщику) на обнаруженные в период действия гарантийных обязательств дефекты и (или) несоответствие комплектности поставленных изделий требованиям ТУ, а также требование о восстановлении комплектности или замене дефектных изделий, // Применение отношения вида $BM^1_e(HM^1_e)$.

РекламационныйАкт является результатом Дефектации, // Применение аксиомы класса V5

Рекламационный акт бывает ОдностороннийРекламационныйАкт от ДвухстороннийРекламационныйАкт. // Применение аксиомы класса V5.

Таким образом, последовательное использование процедур П1.1 и П1.2 обеспечивает формирование предметной онтологии $O^1(P)$, определяющей предметное представление процесса оперативного восстановления ВТ ПВО, в рамках единой процедуры П1=(П1.1, П1.2) представленной на рис. 6.

В результате выполнения процедуры П1 формируется предметная онтология $O^1(P)$, которая определяет дескриптивную модель $L^1(P)$. Формируемая предметная онтология $O^1(P)$ выступает основой для формирования прикладной онтологии $O^2(P)$, определяющей дескриптивное прикладное представление $L^2(P)$ процесса P оперативного восстановления изделий ВВТ группировки ПВО.

Формирование прикладной онтологии процесса оперативного восстановления изделий ВВТ группировки ПВО

Формирование прикладной онтологии $O^2(P)$ процесса P выполняется в целом по аналогии с процедурой формирования онтологии $O^1(P)$. Однако имеется ряд особенностей представления процесса P средствами онтологий с прикладной точки зрения, которые следует учитывать при формировании онтологии $O^2(P)$, что приводит к необходимости разработки отдельной процедуры П2 $\rightarrow O^2(P)$.

⁴ГОСТ Р 55754–2013. Комплексная система контроля качества. Изделия электронной техники. Система взаимоотношений изготовителей и потребителя. М.:Стандартен форм, 2015. 20с.

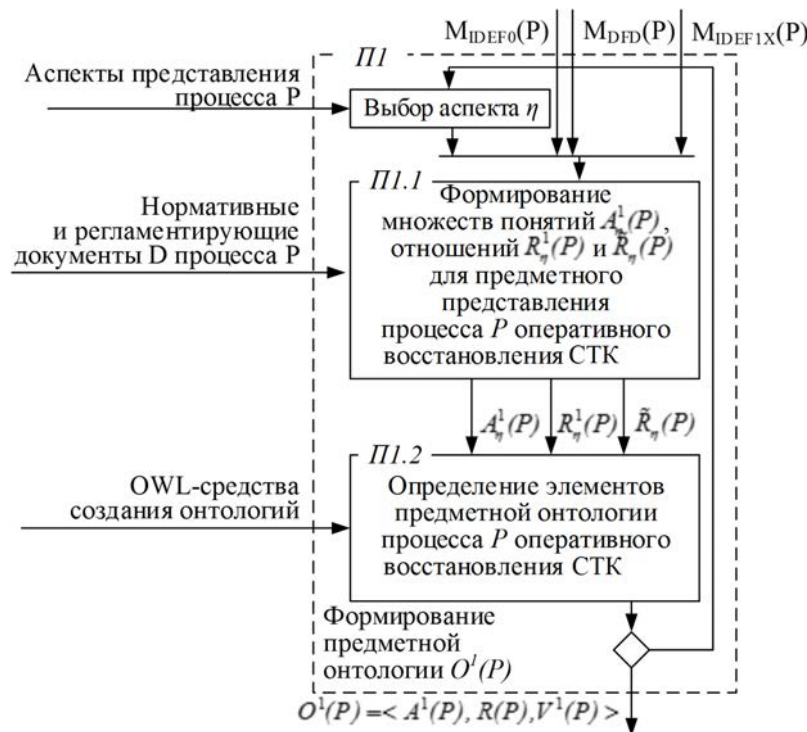


Рис. 6. Представление процессного элемента «Составление двухстороннего рекламационного акта» в модели $M_{IDEF0}(P)$ по методологии IDEF0

Первая особенность прикладного представления процесса P средствами онтологий связана с тем, что в соответствии с (4) в онтологии $O^2(P)$ используются отношения и аксиомы, определенные в онтологии $O^1(P)$, так, что $R^2(P) = R(P)$, $V^2(P) = V^1(P)$.

Вторая особенность прикладного представления процесса P средствами онтологий определяется связью, существующей между предметными понятиями и их отражением в концептуальной модели данных $M_{\text{DEFIN}}(P)$, реализованной в БД ИАСУ. С одной стороны, всякое предметное понятие $V(P)$ этой модели представляет некоторый процессный элемент ЭП1_ε , а с другой стороны оно соответствует названию атрибута одной/нескольких таблиц (название таблицы, название столбца в таблице) в этой базе, так, что всякое поле ϑ таблицы содержит данные, характеризующие элементы конкретных операций оперативного восстановления. Эти данные определяют процессные элементы второго вида (ЭП2) и в совокупности характеризуют прикладной аспект процесса P .

Третья особенность прикладного представления процесса P средствами онтологий определяется тем, что одному атрибуту в таблицах базы в общем случае соответствует множество полей ϑ данных (см. рис. 7).

В терминах ЭП1 и ЭП2 означает, что с каждым предметным понятием $\varepsilon \in A^1_{\text{DEFIN}}(P)$, определяющим элемент ЭП1 в модели $M_{\text{DEFIN}}(P)$, связывается множество термов $Y(\varepsilon) = \{\gamma_1(\varepsilon), \gamma_2(\varepsilon), \dots\}$, характеризующих элементы $\text{ЭП2}_{Y(\varepsilon)}$, что представляется в виде следующей цепочки:

$$\begin{aligned} \text{ЭП1} &\rightarrow \text{ЭП1}_\varepsilon \rightarrow Y(\varepsilon) \rightarrow \text{ЭП2}_{Y(\varepsilon)}, \text{ЭП2}_{Y(\varepsilon)} = \\ &= \{\text{ЭП2}_{\gamma_1(\varepsilon)}, \text{ЭП2}_{\gamma_2(\varepsilon)}, \dots\} \end{aligned} \quad (14)$$

где $Y(\varepsilon)$ — совокупность термов, определяемых полями данных в соответствии с атрибутом, соответствующим ЭП1_ε .

Выражение (16) фактически определяет отношение гомоморфизма $\Gamma := A^1(P) \rightarrow A^2(P)$ введенное выше для определения множества понятий $A^2(P)$ прикладной онтологии $O^2(P)$. В соответствии с этим понятия множества $A^2(P)$ определяются по следующему правилу: для каждой пары $\text{ЭП1}_\varepsilon \rightarrow Y(\varepsilon)$, формируется прикладное понятие $\text{ЭП2}_{Y(\varepsilon)}$ вида $\text{ЭП2}_{Y(\varepsilon)} = \varepsilon * \gamma(\varepsilon)$ посредством конкатенации предметного понятия ε и терма $\gamma(\varepsilon)$. Так, например, при хранении десятичных номеров изделий в БД ИАСУ атрибутом выступает предметное понятие $\varepsilon = \langle \text{Децимальный номер} \rangle$, а их значения представляются в виде определенной символьной структуры [11]. В соответствии с этой структурой определяется множество уникальных термов $Y(\varepsilon) = \{\text{ДЦКЛ } 407161.000 \text{ СБ}, \text{ДЦКЛ } 407162.000 \text{ СБ}, \dots\}$, связанных с различными изделиями, на основе чего может быть сформировано прикладное понятие $\text{ЭП2}_{Y(\varepsilon)} = \varepsilon * \gamma(\varepsilon) = \langle \text{Децимальный номер ДЦКЛ } 407161.000 \text{ СБ} \rangle$.

Использование термов $Y(\varepsilon)$ позволяет перейти от соответствующих процессных элементов ЭП1_ε к понятиям $\text{ЭП2}_{Y(\varepsilon)}$, необходимым для формирования множества $A^2(P)$ в прикладной онтологии $O^2(P)$ процесса P , так, что,

$$A^2(P) = \bigcup_{\varepsilon \in A^1(P)} \bigcup_{\gamma(\varepsilon) \in Y(\varepsilon)} \text{ЭП2}_{Y(\varepsilon)} \quad (15)$$

В соответствии с вышесказанным процедура П2 формирования онтологии $O^2(P)$ состоит из совокупности следующих шагов выполняющихся циклически по всем полям ϑ в БД ИАСУ. При этом предполагается, что онтология

$O^1(P) = \{A^1(P), R(P), V^1(P)\}$ сформирована.

Шаг 1. Выбирается не просмотренное поля ϑ в БД ИАСУ и определяется его значение в виде терма γ .

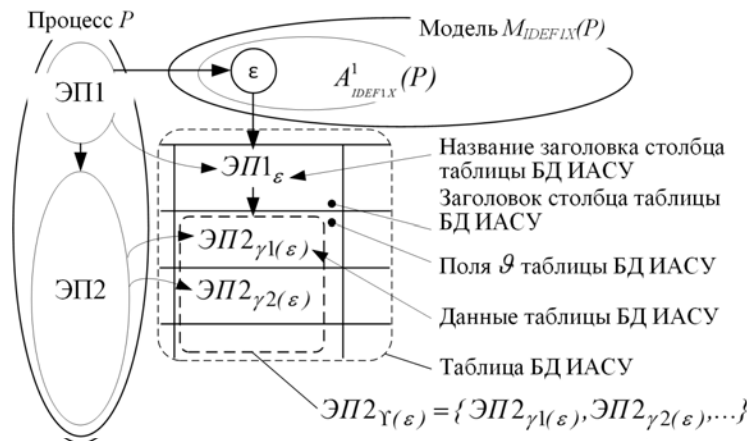


Рис. 7. Структура процедуры формирования предметной онтологии, процесса оперативного восстановления ВТ ПВО

Устанавливается атрибут ε этого поля и терм $\gamma(\varepsilon)$ вводится в онтологию $O^2(P)$ с использованием аксиом класса V1. Например, значение поля γ «ДЦКЛ 407161.000 СБ» соответствующее атрибуту поля «Децимальный номер» представляется термом $\gamma(\varepsilon)$ «ДЦКЛ 407161.000 СБ» представляется следующим образом — *Class*: ДЦКЛ_407161.000_СБ;

Шаг 2. Формируется прикладное понятие $\text{ЭП}2_{\gamma(\varepsilon)} \in A^2(P)$ посредством конкатенации предметного понятия ε и термина $\gamma(\varepsilon)$, и введение формируемого понятия $\text{ЭП}2_{\gamma(\varepsilon)}$ в онтологию $O^2(P)$ с использованием аксиом класса V1. Например, для термина $\gamma(\varepsilon)$ «ДЦКЛ 407161.000 СБ» соответствующего предметному понятию ε «Децимальный номер», формируется прикладное понятие $\text{ЭП}2_{\gamma(\varepsilon)} = \varepsilon * \gamma(\varepsilon)$ «Децимальный номер ДЦКЛ 407161.000 СБ», что представляется следующим образом — *Class*: Децимальный_номер_ДЦКЛ_407161.000_СБ;

Шаг 3. Определяется эквивалентная связь между прикладным понятием $\text{ЭП}2_{\gamma(\varepsilon)}$ и термом $\gamma(\varepsilon)$ с использованием аксиом класса V4. Например, эквивалентная связь между термом $\gamma(\varepsilon)$ «ДЦКЛ 407161.000 СБ» и прикладным понятием $\text{ЭП}2_{\gamma(\varepsilon)} = \varepsilon * \gamma(\varepsilon)$ «Децимальный номер ДЦКЛ 407161.000 СБ» представляется следующим образом — Децимальный_номер_ДЦКЛ_407161.000_СБ equivalentTo ДЦКЛ_407161.000_СБ;

Шаг 4. Определяются смысловые связи между прикладным понятием $\text{ЭП}2_{\gamma(\varepsilon)}$ и другими прикладными понятиями $A^2(P)$ онтологии $O^2(P)$ в виде триплетных предикатных структур используя аксиомы класса V5, на основе отношений $R(P)$. Например, смысловая связь между прикладными понятиями «Децимальный_номер_ДЦКЛ_407161.000_СБ» и «Блок Б1», обеспечивается с использованием отношения $R(P)$ «имеется у» представляется следующим образом — ДецимальныйНомерДЦКЛ_407161.000_СБ имеется у БлокБ1.

Шаги с первого по четвертый повторяются циклически для всех полей ϑ , представленных в БД ИАСУ, что позволяет сформировать прикладную онтологию $O^2(P)$.

Представленные выше шаги определяют существо процедуры формирования прикладной онтологии $O^2(P)$, которая представлена в виде UML-диаграммы на рис. 8.

Пример выполнения процедуры П2, обеспечивающей представление прикладного «Децимальный номер ДЦКЛ_407161.000_СБ» для термина «ДЦКЛ 407161.000 СБ» связанного с предметным понятием «Децимальный номер» семантически связанным с другим прикладным понятием «Блок Б1» при использовании средств OWL, представляется в следующем виде:

Class: ДЦКЛ_407161.000_СБ, // Применение аксиомы класса V1

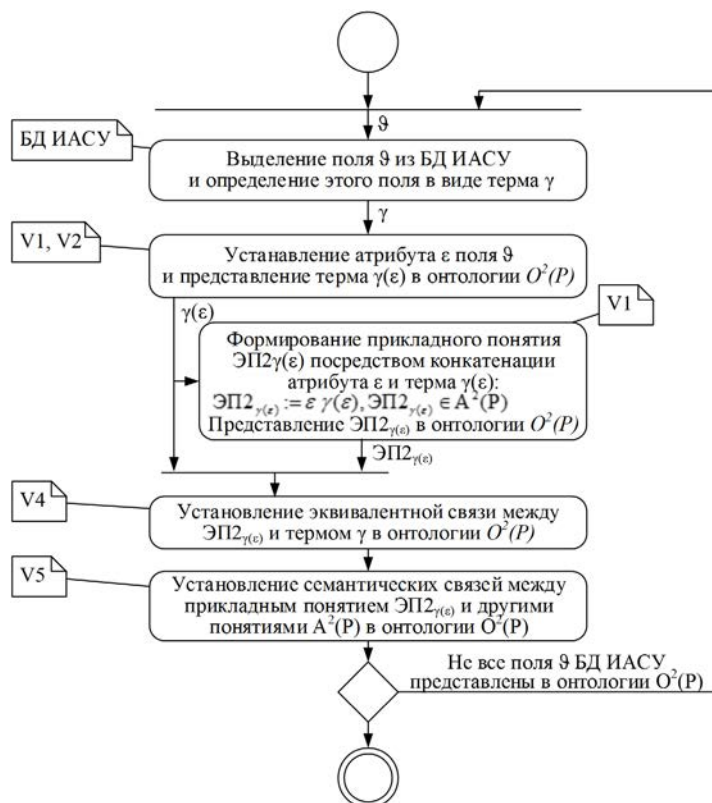


Рис. 8. Взаимосвязи между процессными элементами и элементами БД

ДЦКЛ_407161.000_СБ *SubClassOf* Децимальный
 Номер, // Применение аксиомы класса V2

ДЦКЛ_407161.000_СБ *SubClassOf* Аспект_данных, //
 Применение аксиомы класса V2

Class: ДецимальныйНомерДЦКЛ_407161.000_СБ, //
 Применение аксиомы класса V1

ДецимальныйНомерДЦКЛ_407161.000_СБ *имеет*
 БлокБ1 // Применение аксиомы класса V5

Процедуры П1 и П2 формирования онтологий $O^1(P)$ и $O^2(P)$, предложенные выше, определяют основу для представления дескриптивной модели $L(P)$ в виде онтологии $O(P)$ в процедуре П3. Процедура П3 обеспечивает формирование единого понятийного представления за счет использования единого множества отношений $R(P)$ и аксиом $V(P)$. Учитывая структуру дескриптивной модели V2, ниже представлена общая структура способа формирования дескриптивной модели процесса оперативного восстановления изделий ВВТ группировки ПВО.

Структура способа формирования дескриптивной модели процесса оперативного восстановления изделий ВВТ группировки ПВО

В соответствии с выражением (1), определяющим формальную структуру дескриптивной модели $L(P)$ представление процесса оперативного восстановления изделий ВВТ ПВО, способ ее формирования основывается на использовании моделей $L^1(P)$ и $L^2(P)$, представляемых в виде соответствующих онтологий $O^1(P)$ и $O^2(P)$. Предлагаемый способ обеспечивает определение дескриптивной модели $L(P)$ в виде единой онтологии $O(P)$ на основе онтологий $O^1(P)$ и $O^2(P)$.

Структурно предлагаемый способ основывается на трех процедурах П1, П2 и П3, как показано на рис. 9. В качестве исходного информационного ресурса в предложенном способе используются:

- нормативная и регламентирующая документация D , связанная с описанием деятельности по оперативному восстановлению изделий ВВТ группировки ПВО,
- многоаспектное модельное представление процесса P в виде совокупности моделей $\mathcal{M} = \{M_{IDEFO}(P), M_{DED}(P), M_{IDFLIX}(P)\}$, использованных при создании ИАСУ ЦСУ АО «ГППП «Гранит», инфологическая структура БД ИАСУ ЦСУ АО «ГППП «Гранит».

Процедуры П1 и П2 образуют основу способа и обеспечивают формирование предметной $O^1(P)$ и прикладной онтологий $O^2(P)$. Для формирования единой онтологии в способ включена процедура П3, которая обеспечивает установление связей между предметными понятиями $A^1(P)$ онтологии $O^2(P)$ и прикладными понятиями $A^2(P)$, представленными в онтологии $O^2(P)$, с помощью аксиом класса V2. За счет установления таких связей осуществляется объединение онтологий $O^1(P)$ и $O^2(P)$ в единую онтологию $O(P)$.

Действия, выполняемые в процедуре П3, состоят в том, что пошагово просматриваются все термы $\gamma \in A^2(P)$ и каждая из них связывается с соответствующим предметным понятием $\varepsilon \in A^1(P)$. Например, прикладное понятие, представленное термом $\gamma = \langle \text{ДЦКЛ } 407161.000 \text{ СБ} \rangle$, связывается с предметным понятием $\varepsilon = \langle \text{Децимальный номер} \rangle$, что представляется следующим образом — ДЦКЛ_407161.000_СБ *subClassOf* Децимальный_Номер_Изделия.

Путем циклического повторения таких действий осуществляется введение дополнительных аксиом, которые

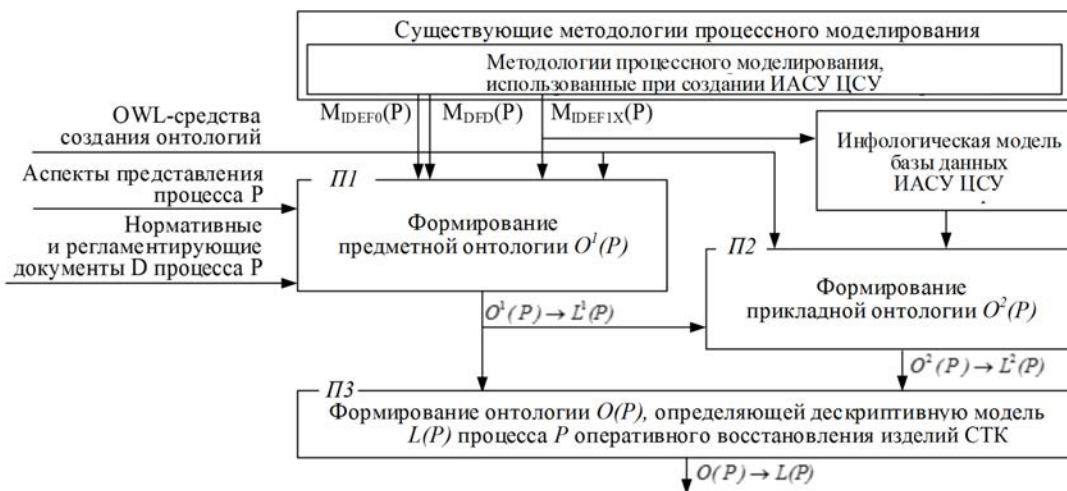


Рис. 9. UML-представление процедуры формирования прикладной онтологии $O^2(P)$ процесса оперативного восстановления ВТ ПВО

в совокупности с онтологиями $O^1(P)$ и $O^2(P)$ образуют онтологию $O(P)$, определяющую дескриптивную модель $L(P)$ процесса оперативного восстановления изделий ВВТ группировки ПВО.

Предлагаемый способ формирования дескриптивной модели процесса оперативного восстановления изделий ВВТ группировки ПВО на основе онтологий, в отличие от известных способов модельного представления этого процесса, основан на предметной и прикладной декомпозиции представления процессных элементов в виде триплетов, что позволяет сформировать формализованное концептуальное представление процесса в понятиях и терминах предметной области.

Проверка работоспособности предлагаемого способа была выполнена на основе программного комплекса, интегрированного с программной средой Protégé [20, 14, 11] и БД ИАСУ. При этом реализация процедуры П1.1 потребовала разработки двух программных модулей, на которые получены три свидетельства о регистрации программ для ЭВМ № 2019661823, № 201966152, № 2019662323^{5,6,7}. Процедуры П1.2, П2 и П31 обеспечивающие формирование онтологий $O^1(P)$, $O^2(P)$ и $O(P)$, полностью реализованы в среде разработки онтологий Protégé [23; 16; 13]. На

основе OWL-средств формирования онтологий выполнена разработка дескриптивной модели для фрагмента процесса ОВ применительно к нескольким изделиям ВВТ группировки ПВО, связанного с проведением дефектации этих изделий, проводимой в рамках общего процесса ОВ.

На рис. 10 графически иллюстрируется фрагмент онтологии $O(P)$, который отражает совокупность семантических связей между прикладными понятиями (представлены в виде прямоугольников с ромбом) и предметными понятиями (представлены в виде прямоугольника с кругом).

На этом рисунке показаны семантические связи между блоком 1Б и десятичным номером составной части изделия А001.001.001, которых хранятся в поле БД ИАСУ.

Заключение

Предлагаемый в работе способ обеспечивает целостное формализованное представление процесса оперативного восстановления изделий ВВТ группировки ПВО, в котором на основе онтологий осуществляется понятийное описание этого процесса в виде соответствующей дескриптивной модели. Такое представление характеризуется тем, что формируемая дескриптивная модель является формальной системой, в которой осуществляется определение этого

⁵Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019661823 РФ. Программный модуль структурно-лексического анализа процесса оперативного восстановления сложных технических комплексов, выполненного в нотации IDEF0. Москва: Федеральная служба по интеллектуальной собственности, 2019.

⁶Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019661525. Программный модуль структурно-лексического анализа процесса оперативного

восстановления сложных технических комплексов, выполненного в нотации DFD.

Москва: Федеральная служба по интеллектуальной собственности, 2019.

⁷Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019662323 Программный модуль-классификатор глоссария для диаграмм IDEF0 и DFD процесса оперативного восстановления сложных технических комплексов. Москва: Федеральная служба по интеллектуальной собственности, 2019.

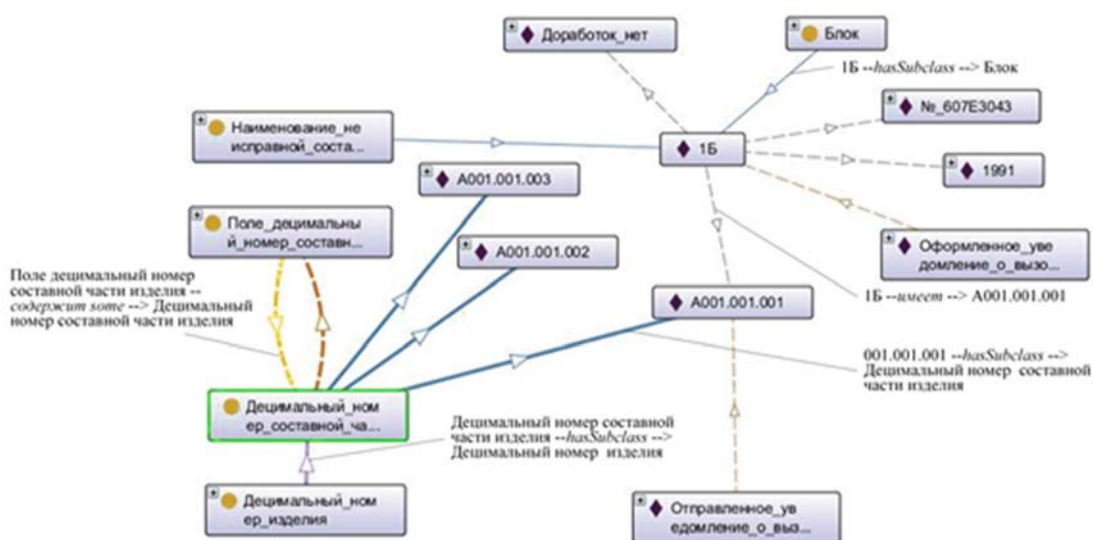


Рис. 10. Графическое отображение связей между предметными и прикладными понятиями в онтологии, представляющей процесс оперативного восстановления изделий ВВТ группировки ПВО

процесса в предметных понятиях и терминах естественного языка адекватно действующей документации.

Использование естественно-языковых средств в структуре дескриптивной модели процесса оперативного восстановления может служить основой для развития существующих средств автоматизации информационной поддержки деятельности личного состава дежурной смены ЦСУ в части предоставления возможности формирования необходимой оперативной информации по запросам, в которых на естественно-подобном языке определяются признаки такой информации.

Обсуждаемая возможность использования дескриптивной модели способствует повышению информативности запросов и уменьшению их количества при определении требований к необходимой оперативной информации. Это способствует сокращению времени формирования оперативной информации в циклах дефектации и войскового ремонта и, соответственно, времени оперативного восстановления изделий ВВТ, что имеет важное значение для поддержания высокого уровня готовности группировки ПВО.

Литература

1. Пономарев В. И., Страхов А. Ф. Пути повышения оперативности разрешения нештатных ситуаций на образцах вооружения и военной техники воздушно-космической обороны российской федерации // Вестник воздушно-космической обороны. 2015 № 4 (8) С. 108–115.
2. Пономарев В. И., Страхов А. Ф. Особенности управления жизненным циклом сложных технических систем в современных условиях // Вестник воздушно-космической обороны. 2016. № 1(9). С. 98–106.
3. Калик Н. А., Страхов А. Ф. Концепция обеспечения требуемого уровня готовности территориальных группировок ВТ ПВО с учетом нештатных ситуаций // Вестник Концерна ПВО «Алмаз-Антей». 2011. № 3(5).
4. Анисимов О. В., Курчидис В. А., Игнатьев С. В. Модели радиоэлектронной аппаратуры как основа организации информационных интерфейсов в системах автоматизации технической эксплуатации: монография. М.: Норд, 2013. 88 с.
5. Пономарев В. И., Страхов А. Ф., Страхов О. А. Центр ситуационного управления готовностью группировок вооружения и военной техники воздушно-космической обороны России // Вестник воздушно-космической обороны. 2016. № 2 (62). С. 31–37.
6. Давыдов П. С. Техническая диагностика радиоэлектронных устройств и систем. М.: Радио и связь, 1988. 256 с.
7. Прокопченко А. В., Панченко А. И. Организация сервисного обслуживания вооружения и военной техники в интегрированных структурах оборонно-промышленного комплекса (по опыту ОАО "Концерн ПВО «Алмаз-Антей») // Вестник Концерна ПВО «Алмаз-Антей». 2013. № 1(9). С. 013–021.
8. Яковлев С. А., Швецов А. Н. Архитектура баз знаний в распределенных интеллектуальных информационных системах // Материалы междунауч.-техн. конф. «Информатизация процессов формирования открытых систем на основе СУБД, САПР, АСНИ и искусственного интеллекта» (Вологда, 26–28 июня 2001 г.). Вологда: Изд-во ВоГТУ, 2001. С. 124–128.
9. Анисимов О. В., Курчидис В. А., Коробко В. А. Формализованное концептуальное представление процесса оперативного восстановления изделий сложных технических комплексов // Сборник докладов и выступлений научно-деловой программы Международного военно-технического форума «АРМИЯ-2019» (Кубинка, Россия, 25–30 июня 2019). Москва, 2019. С. 28–36.
10. Анисимов О. В., Приветень А. С. Онтологическое представление многоуровневой концептуальной модели предметной области технической эксплуатации для систем информационной поддержки обслуживающего персонала при восстановлении радиоэлектронной аппаратуры специального назначения // Сборник статей XV Всероссийская научно-практическая конференция «Проблемы развития и применения средств противовоздушной обороны на современном этапе. Средства ПВО России и других стран мира, сравнительный анализ» (Ярославль, 2–3 октября 2014 г.). Ярославль, 2014. С. 168–178.
11. Johnson J., Henderson D.A. Conceptual models: Core to good design. Morgan & Claypool Publishers, 2011. 110 p.
12. Gomez-Perez A., Fernandez-Lopez M., Concho O. Ontological engineering: with examples from the areas of knowledge management, e-commerce and the semantic web. Springer-Verlag London Limited, 2004. 404 p.
13. Niles I., Pease A. Towards a Standard Upper Ontology // Proceedings of the 2nd International Conference on Formal Ontology in Information Systems (FOIS-2001): Welty C. and Smith B., eds. (Ogunquit, Maine, 17–19 October 2001). ACM Press, 2001. 8 p.
14. Noy N.F., McGuinness D.L. Ontology Development 101: A Guide to Creating Your First Ontology. Technical Report. Stanford Knowledge Systems Laboratory, 2001. 25p.
15. Муромцев Д. И. Онтологический инжиниринг знаний в системе Protégé. СПб: Изд-во СПб ГУ ИТМО, 2007. 62 с.
16. Лапишин В. А. Онтологии в компьютерных системах. М.: Научный мир, 2010. 222 с.
17. Швецов А. Н. Метод формирования концептуальной модели предметной области в задачах проектирования распределенных интеллектуальных информационных систем // Тр. Пятого международного симпозиума «Интеллектуальные системы» (Калуга, 2–4 июля 2002 г.). Калуга; М.: МГТУ, 2002., 2002. С. 49–51.
18. Мошев Е. Р., Ромашкин М. А. Разработка концептуальной модели поршневого компрессора для автоматизации информационной поддержки динамического оборудования // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2013. № 10. С. 28–31.
19. Пономарев В. И. Опыттно-конструкторская работа «Создание центра ситуационного управления по ремонту и сервисному обслуживанию территориальной группировки вооружения и военной техники противовоздушной обороны (воздушно — космической обороны)» // Сборник статей конференции «Информатика и вычислительная техника» (Анапа, 14 марта 2019 г.). Анапа: Военный инновационный технополис «ЭРА», 2019. С. 92–98.
20. Heider R. Improving the quality of technical data for developing case based reasoning diagnostic software for aircraft maintenance // Proceedings of the 13th International Conference on Data Engineering (Birmingham, UK, UK, 7–11 April 1997). IEEE, 1997. Pp.584–589.



A DESCRIPTIVE MODEL OF THE AIR DEFENSE GROUP WEAPONS AND MILITARY EQUIPMENT OPERATIVE RESTORATION PROCESS FORMATION METHOD BASED ON ONTOLOGIES

OLEG V. ANISIMOV,

Yaroslavl, Russia, qwaker@inbox.ru

VADIM A. KOROBKO,

Yaroslavl, Russia, vadym.korobko@yandex.ru

ALEKSANDR S. DOGADOV,

Severomorsk, Russia, vaskyla@yandex.ru

ANASTASIYA D. ZYUZINA

Yaroslavl, Russia, zyuzina-1996@bk.ru

KEYWORDS: operative restoration, information support, descriptive model, descriptive elements of process representation.

ABSTRACT

The operative restoration process of weapons and military equipment of the air defense group is considered from the point of view of its model representation, intended for the automation of the duty personnel activities of the situational management of repair and maintenance center. In this paper, the reduction in the time required to generate operational information is associated with the improvement of automation tools for information support of the process under consideration by switching to formalized models that belong to the descriptive class. Ontologies are used as a mathematical tool for creating such models. Despite the use of ontologies for model representation of various subject areas, there is no way to construct a descriptive model of the presented process using the mathematical apparatus of ontologies. We propose a two-level structure of the descriptive model of this process in the form of a set of subject and applied ontologies. We consider the procedures that ensure the formation of a unified ontology of the process under consideration. The peculiarity of using the descriptive model is to allow the personnel of the duty shift of the situational management center to use natural language terms to form the requests for obtaining the necessary operational information. This helps to increase the information content of requests from the personnel of the duty shift of the situational management center. The use of a descriptive model in automation tools is aimed at reducing the time of the operative restoration of weapons and military equipment of the air defense group by reducing the time of formation of operational information necessary for the implementation of the activities of the personnel of the duty shift of the situational management center.

REFERENCES

1. Ponomarev V.I., Strakhov A.F. Enhancing procedures of resolution responsiveness of contingency situations on arms and military equipment samples of the Russian Federation aerospace defense

force. *Vestnik vozdušno-kosmičeskoj oborony* [Aerospace Defense Herald]. 2015. No. 4 (8). Pp. 108-115. (In Rus)

2. Ponomarev V.I., Strakhov A.F. Particularities of complex technical systems life cycle management in modern conditions. *Vestnik vozdušno-kosmičeskoj oborony* [Aerospace Defense Herald]. 2016. No. 1(9). Pp. 98-106. (In Rus)

3. Kalik N.A., Strakhov A.F. Konceptiya obespecheniya trebuemogo urovnya gotovnosti territorial'nyh gruppировок VT PVO s uchetom neshtatnyh situacij [The concept of providing demanded level of readiness of the air defenses W territorial groups taking into account emergency situations] Bulletin of Concern PVO Almaz-Antey. 2011. No. 3(5). (In Rus)

4. Anisimov O.V., Kurchidis V.A., Ignat'ev S.V. *Modeli radioelektronnoj apparatury kak osnova organizacii informacionnyx interfejsov v sistemax avtomatizacii texnicheskoj e'kspluatacii: monografiya* [Models of radio-electronic equipment as a basis for organizing information interfaces in technical operation automation systems: monograph]. Moscow: Nord, 2013. 88 p. (In Rus)

5. Ponomarev V.I., Straxov A.F., Straxov O.A. Center for situational readiness management of groups of weapons and military equipment of the Russian aerospace defense. *Vestnik vozdušno-kosmičeskoj oborony* [Aerospace Defense Herald]. 2016. No. 2 (62). Pp. 31-37. (In Rus)

6. Davydov P.S. *Texnicheskaya diagnostika radioelektronnyx ustrojstv i sistem* [Technical diagnostics of radio electronic devices and systems]. Moscow: Radio i svyaz, 1988. 256 p. (In Rus)

7. Prokopchenko A.V., Panchenko A.I. Service organization of weapons and military equipment in integrated military-industrial complex (the experience of JSC "Concern PVO" Almaz – Antey). *Vestnik Concerna PVO "Almaz – Antej"*. 2013. No. 1(9). Pp. 013-021. (In Rus)

8. Yakovlev S.A., Shvecov A.N. Arhitektura baz znanij v raspredelennyh

intellektual'nyh informacionnyh sistemah [Architecture of knowledge bases in the distributed intellectual information systems]. *Materialy mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii "Informatizaciya processov formirovaniya otkrytyh sistem na osnove SUBD, SAPR, ASNI i iskusstvennogo intellekta"* [Proc. of the international scientific and technical conference "Information of processes of formation of open systems on the basis of DBMS, SAPR, ASNI and artificial intelligence", Vologda, June 26-28, 2001]. Vologda, 2001. Pp. 124-128. (In Rus)

9. Anisimov O.V., Kurchidis O.V., Korobko V.A. Formalizovannoe konceptual'noe predstavlenie processa operativnogo vosstanovleniya izdelij slozhny'x tekhnicheskix kompleksov [Formalized conceptual representation of the process of rapid recovery of products of complex technical complexes]. *Sbornik dokladov i vy'stuplenij nauchno-delovoj programmy` Mezhdunarodnogo voenno-tekhnicheskogo foruma "ARMIIYa-2019"* [Proc. of reports and presentations of the scientific and business program Of the international military-technical forum "ARMY-2019", Kubinka, Moscow region, Russia, June 25-30, 2019]. Moscow, 2019. Pp. 28-36. (In Rus)

10. Anisimov O.V., Priveten` A.S. Ontological representation of a multi level conceptual model of the subject area of technical operation for information support systems for maintenance personnel in the restoration of special purpose radio electronic equipment. *Sbornik statej XV Vserossijskaya nauchno-prakticheskaya konferenciya "Problemy` razvitiya i primeneniya sredstv protivovozdushnoj oborony` na sovremennom e'tape. Sredstva PVO Rossii i drugix stran mira, sravnitel'nyj analiz"* [Proc. of the XV all-Russian scientific and practical conference "Problems of development and application of air defense at the present stage. Air defense systems of Russia and other countries of the world, comparative analysis", Yaroslavl, October 2-3, 2014.]. Yaroslavl, 2014., Pp. 168-178. (In Rus)

11. Johnson J., Henderson D.A. *Conceptual models: Core to good design*. Morgan & Claypool Publishers, 2011. 110 p.

12. Gomez-Perez A., Fernandez-Lopez M., Concho O. *Ontological engineering: with examples from the areas of knowledge management, e-commerce and the semantic web*. Springer-Verlag London Limited, 2004. 404 p.

13. Niles I., Pease A. Towards a Standard Upper Ontology. *Proceedings of the 2nd International Conference on Formal Ontology in Information Systems (FOIS-2001)*. Welty C. and Smith B., eds. (Ogunquit, Maine, 17-19 October 2001). ACM Press, 2001. 8 p.

14. Noy N.F., McGuinness D.L. *Ontology Development 101: A Guide to Creating Your First Ontology*. Technical Report. Stanford Knowledge Systems Laboratory, 2001. 25p.

15. Muromcev D.I. Ontologicheskij inzhiniring znanij v sisteme Protégé [Ontological engineering of knowledge in the Protégé system]. St. Petersburg: SPb GU ITMO Publ., 2007. 62 p. (In Rus)

16. Lapshin V.A. Ontologii v komp'yuterny'x sistemah [Ontologies in computer systems]. Moscow: Nauchnyj mir, 2010. 222 p. (In Rus)

17. Shveczov A.N. Metod formirovaniya konceptual'noj modeli predmetnoj oblasti v zadachax proektirovaniya raspredelenny'x intellektual'ny'x informacionny'x system [Method of forming a conceptual model of the subject area in the design of distributed intelligent information systems]. *Trudy Pyatogo mezhdunarodnogo simpoziuma "Intellektual'nye sistemy"* [Proceedings of the Fifth international Symposium " Intelligent systems", Kaluga, 2-4 July 2002]. Moscow: MG TU Publ., 2002. Pp. 49-51. (In Rus)

18. Moshev E.R., Romashkin M.A. Development of conceptual model of piston compressor for automation of informational support of rotating equipment. *Khimicheskoe i Neftegazovoe Mashinostroenie* 2013. No.10. Pp.28-31. (In Rus)

19. Ponomarev V.I. Opy'tno-konstruktorskaya rabota "Sozдание centra situacionnogo upravleniya po remontu i servisnomu obsluzhivaniyu territorial'noj gruppirovki vooruzheniya i voennoj texniki protivovozdushnoj oborony` (vozdushno – kosmicheskoy oborony)" [Development work " Creation of the center of the situation management for repair and maintenance of the territorial grouping of weapons and military equipment of air defense (aerospace defense)"]. *Sbornik statej konferencii "Informatika i vychislitel'naya texnika"* [Proc. of articles of the conference " Informatics and computer engineering", Anapa, March 14, 2019]. Anapa: Voennyj innovacionnyj texnopolis E'RA, 2019. Pp. 92-98. (In Rus)

20. Heider R. Improving the quality of technical data for developing case based reasoning diagnostic software for aircraft maintenance // *Proceedings of the 13th International Conference on Data Engineering*, Birmingham, UK, UK, 7-11 April 1997. IEEE, 1997. Pp.584-589.

INFORMATION ABOUT AUTHORS:

Anisimov O.V., PhD, Professor, Professor of the Yaroslavl Higher Military College Of Anti-Air Defense;

Korobko V.A., Postgraduate of the Yaroslavl Higher Military College Of Anti-Air Defense;

Dogadov A. S. Head of the radar reconnaissance Department of the radio engineering battery of the antiaircraft missile division;

Zyuzina A. D. Head of the laboratory of the Department of automated control systems of the Yaroslavl higher military school of air defense.

For citation: Anisimov O.V., Korobko V.A., Dogadov A. S., Zyuzina A. D. A descriptive model of the air defense group weapons and military equipment operative restoration process formation method based on ontologies. *H&ES Research*. 2020. Vol. 12. No. 3. Pp. 30-46. doi: 10.36724/2409-5419-2020-12-3-30-46 (In Rus)



doi: 10.36724/2409-5419-2020-12-3-47-53

ПРИМЕНЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТНЫХ И ВРЕМЕННЫХ АВТОМАТОВ В ПРОГРАММАХ УПРАВЛЕНИЯ МНОГОАГЕНТНЫХ СИСТЕМ

БЕЛЯЕВ
Сергей Алексеевич

АННОТАЦИЯ

Рассмотрены классические модели временного и вероятностного автомата, построенного с использованием теории цепей Маркова – система «автомат – случайная среда», описываемая цепью Маркова. Неопределённость вероятностного автомата может определяться разными причинами, в том числе – недетерминированностью правил изменения состояний моделируемой системы, что является одним из важнейших препятствий при моделировании многоагентных систем. Разработанная модель предназначена для программы управления многоагентных систем, учитывает стохастическое поведение окружающей среды при применении в условиях многоагентных систем. Представлены ключевые отличия классической стационарной случайной среды и многоагентных систем, в том числе рациональность поведения агентов и необходимость кооперации или противодействия. В модели не предусмотрены обучаемые алгоритмы, их применение требует большой выборки для проведения обучения, не во всех мультиагентных системах достаточно времени для набора необходимой статистики и адаптации поведения. Описаны подходы к построению архитектуры программы управления агента в многоагентной среде на основе теорий временных и вероятностных автоматов, предложен формат хранения моделей в файловых хранилищах. Предложенная архитектура учитывает в том числе возможность изменения состояния временных автоматов на основании состояния вероятностных автоматов и наоборот. Описан обобщённый алгоритм функционирования программы управления. Предложенный алгоритм позволяет реализовывать программы управления многоагентных систем в случае конечного количества состояний агента и использует гибкие механизмы управления, взятые из модели временного автомата. Приведены основные результаты и предложения по дальнейшим исследованиям, в том числе по построению иерархических моделей.

Сведения об авторе:

к.т.н., доцент, доцент Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ», г. Санкт-Петербург, Россия, bserge@bk.ru

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: временной автомат; вероятностный автомат; случайная среда; программа управления; многоагентная система; архитектура; алгоритм.

Для цитирования: Беляев С.А. Применение вероятностных и временных автоматов в программах управления многоагентных систем // Наукоемкие технологии в космических исследованиях Земли. 2020. Т. 12. № 3. С. 47-53. doi: 10.36724/2409-5419-2020-12-3-47-53

Ведение

Теория вероятностных автоматов разрабатывается многие десятилетия [1–2] и имеет множество применений в технических устройствах, работающих в стационарных случайных средах [3]. Параллельно с ней разрабатывается теория временных автоматов [4–5], которая позволяет учитывать изменение времени при вычислении переходов автомата из одного состояния в другое. Оба подхода активно используются при разработке многоагентных систем, имеют свои преимущества и недостатки. Существуют и другие способы описания поведения агентов, например, онтологические подходы [6], но они требуют более сложных описаний и в данной работе не рассматриваются.

Временной и вероятностный автоматы

Временной автомат — это конечный автомат [7], расширенный набором вещественных таймеров (часов). При выполнении временного автомата значения всех таймеров увеличиваются с одинаковой скоростью. При выполнении переходов значения таймеров могут сравниваться с целочисленными константами, используемыми в качестве инвариантов (условий перехода), и, соответственно, разрешать или запрещать переходы. Значения таймеров могут сбрасываться.

С математической точки зрения временной автомат [4–5] — это система $T=(L, I_0, A, C, P, E)$, в которой L — конечное множество состояний, I_0 — начальное состояние ($I_0 \subseteq L$), A — конечное множество действий (алфавит автомата), C — конечное множество таймеров, $P: L \rightarrow TC$ — множество допустимых состояний с учётом значения всех таймеров и соответствующих инвариантов, $E: L \times TC \times A \times R(C) \times L$ — множество переходов. Каждый переход представляет собой кортеж $\langle l_1, g, a, r, l_2 \rangle$ — переход из состояния l_1 в состояние l_2 с выполнением действия a , предположением g и множеством сбрасываемых часов r . Для описания состояния автомата и возможных переходов необходимо не только знать текущее состояние, но и значения таймеров, оно описывается кортежем $\langle l, v \rangle$, где l — состояние, $v: C \rightarrow R+$ — вещественные значения таймеров. В начальном состоянии $\langle l_0, v_0 \rangle$: $v_0(c) = 0$ для всех таймеров C . Шаг вычисления временного автомата состоит в продвижении времени ($\langle l, v \rangle \rightarrow \langle l, v+d \rangle$) и выполнении перехода ($\langle l, v \rangle \rightarrow a \langle l', v' \rangle$). При продвижении времени не выполняется никакое действие, а значение всех таймеров увеличивается на заданную константу. Для выполнения перехода проверяются инварианты, выбирается один из возможных переходов, выполняется переход в новое состояние, при необходимости сбрасываются указанные таймеры.

Вероятностный автомат — это конечный автомат, функционирующий в дискретном времени [1], описываемый системой $A=(X, Y, S, M, a_0)$, в которой X — конечное множество входных символов, Y — конечное множество

выходных символов, S — конечное или счётное множество состояний, a_0 — начальное состояние автомата, $M = \langle \mu(a', u/a, x) \rangle$ означает условную вероятность перехода автомата из состояния a при входном сигнале x в состояние a' при выходном сигнале u [2]. Сумма условных вероятностей по всем переходам должна равняться единице. Все возможные переходы вероятностного автомата в случае постоянных условных вероятностей представляют в виде конечномерных или счётномерных матриц $\{\mu_{ij} = \mu(a_j, u/a_i, x)\}$. Для сравнения, в случае детерминированного автомата каждая строка матрицы условных вероятностей содержит одну единицу, остальные элементы равны нулю. Вероятностный автомат называется марковским автоматом (с детерминированной функцией выходов), если условное вероятностное распределение $\mu(u/a, x) = \sum_{s \in S} \mu(s, u/a, x)$ принимает только значения 0 или 1, т.е. следующее состояние вероятностного автомата и выходной символ взаимно независимы, условное распределение последующего состояния цепи Маркова зависит от текущего состояния и не зависит от предыдущих состояний.

В [1] проводятся исследования и сравнения различных вариантов построения вероятностных автоматов, исходя из ограничения, что реакции среды на выходные символы автомата равны +1 (выигрыш) или -1 (проигрыш). Данный подход ограничивает применение описанных моделей в стационарных и переключаемых случайных средах. В случае стационарной случайной среды может быть заранее вычислено математическое ожидание выигрыша и проигрыша на одно состояние вперёд. Переключаемые случайные среды предусматривают переключение стационарных случайных сред в соответствии с цепью Маркова.

При рассмотрении многоагентных систем [8–9] они также могут быть представлены как случайные среды, в которых неопределённость связана с недетерминированностью правил изменения состояний моделируемой системы [10–11]. Однако при этом не учитывается рациональность поведения агентов, что может приводить к неожиданным закономерностям, связанным с целями, преследуемыми агентами, в том числе не всегда есть возможность вычисления выигрыша или проигрыша в каждый момент времени. Соответственно, вероятностные автоматы не применяются при проектировании агентов, которые должны уметь формировать коалиции [12].

Модель программы управления

Программа управления агентом в многоагентных системах должна учитывать с одной стороны случайный характер поведения окружающей среды, с другой стороны — закономерности, возникающие в зависимости от целей, преследуемых рациональными агентами. Каждый рациональный агент стремится максимизировать значение своей функции полезности с учётом ограничений на доступные вычислительные ресурсы, доступную память и на время



принятия решений. При проектировании многоагентных систем, если не решается задача формирования коалиций, то для упрощения часто поведение агентов объединяется с поведением окружающей среды. В итоге рассматривается агент и окружающая среда как антагонист [13]. При этом поведение всех агентов усредняется и существенно усложняется решение целевой задачи за счёт невозможности учёта целевых функций участвующих агентов. Как оправдание этому может служить невозможность в общем случае предсказать поведение всех агентов в многоагентной системе, тем не менее некоторые нечёткие или вероятностные оценки поведения агентов могут быть даны. Анализ возможного поведения агентов независимо от окружающей среды с одной стороны упрощает описание самой среды, с другой стороны повышает точность принятия решений программой управления.

Модель программы управления на основе временных автоматов с использованием вероятностных автоматов для предсказания поведения агентов в многоагентной системе выглядит следующим образом: $U=(L, I_0, A, C, P, E, Y, M)$, в ней L — конечное множество состояний, $L=(L_{in}, L_{out})$ — внутреннее состояние и состояние окружающей среды, I_0 — начальное состояние ($I_0 \subseteq L$). A — конечное множество действий (алфавит автомата), $A = \{a_{in}, a_{out}\}$ — свои действия, действия остальных агентов. C — конечное множество таймеров, $P: L \rightarrow TC$ — множество допустимых состояний с учётом значения всех таймеров и соответствующих инвариантов, $E: L \times TC \times M \times A \times R(C) \times L$ — множество переходов, $M = \langle \mu(I_{out}^1, I_{out}^2, I_{in}^1, a_{out}) \rangle$ означает условную вероятность перехода автомата из состояния (I_{out}^1, I_{in}^1) при выполнении действия a_{out} в состояние I_{out}^2 .

Состояния программы управления условно разделены на два вида: внутренние состояния, описывающие состояния агента в процессе управления, и внешние состояния, описывающие состояния окружающей среды (остальных агентов). Аналогичным образом разделены действия — внешние и внутренние. При этом используются все преимущества модели временного автомата, но дополнительно, при переходе из состояния в состояние учитывается условная вероятность перехода агентов окружающей среды в то или иное состояние.

Предлагаемая модель программы управления в отличие от временного автомата позволяет отдельно обрабатывать изменения состояния окружающей среды, что позволяет структурировать автомат. При этом поведение окружающей среды может быть, как абсолютно непредсказуемым, когда переходы в любые состояния равновероятны, так и полностью детерминированным. При анализе многоагентных систем предполагается, что все агенты ведут себя рационально, исходя из этого можно оценить вероятности перехода из состояния в состояние многоагентной системы в зависимости от целей, которых стремятся достичь агенты.

При переходе агента из состояния в состояние учитывается не только его внутреннее состояние L_{in} , настройки таймеров C и допустимые переходы P , но и состояние, в котором находится окружающая среда L_{out} и информация о M , вероятностях перехода в следующие состояния в зависимости от действий агента. Формирование реалистичных оценок вероятностей перехода окружающей среды из состояния в состояние невозможно без априорных знаний о законах поведения данной среды, иначе все варианты перехода будут равновероятны, а это равносильно отсутствию информации. При проектировании программы управления в многоагентной системе предполагается, что разработчик при описании состояний окружающей среды знает основные цели агентов и возможные методы достижения этих целей и, соответственно, имеет возможность оценить вероятности перехода окружающей среды из одного состояния в другое. С одной стороны, это накладывает ограничения на разработчика модели, с другой стороны, предположим, что разрабатывается временной автомат, предназначенный для управления в многоагентной системе. Можно выделить два принципиально разных подхода такой разработки: без учёта состояния окружающей среды и с учётом её состояния. В первом случае агент сможет выполнить целевую задачу только при отсутствии какого-либо противодействия и отсутствии погрешностей в управлении. Во втором случае в модель необходимо заложить априорные знания об окружающей среде. В ситуации многоагентной системы часто не представляется возможным заранее предсказать поведение агентов, поэтому в случае реализации программы управления с использованием временного автомата поведение агента будет исключительно реактивным, а при использовании предложенной модели появляется возможность с некоторой вероятностью предугадывать поведение остальных агентов и учитывать это при переходе из одного состояния в другое. В данном случае можно говорить об успешном объединении двух моделей — вероятностного и временного автомата, при принятии решения используются как данные таймеров и условий переходов, которые используются для изменения состояния агента без внешнего воздействия, так и вероятностные данные о поведении окружающей среды.

Описанная модель не включает в себя обучаемые алгоритмы, их применение требует большой выборки для проведения обучения [14], не во всех мультиагентных системах достаточно времени для набора необходимой статистики и адаптации поведения. Вопрос расширения модели программы управления в многоагентных системах и включения в неё обучаемых алгоритмов требует дополнительных исследований.

Разработка архитектуры программы управления

Разработка архитектуры программы управления на основании предложенной модели может использовать

в качестве основы архитектуру программы на основе конечного автомата, описанную в [15]. В ней выделены три ключевых компонента: менеджер состояний, менеджер событий и набор моделей. Набор моделей — описание конечных автоматов, менеджер событий обрабатывает события, получаемые из окружающей среды, менеджер состояний обеспечивает переход из одного состояния в другое.

Модель программы управления предполагает два вида состояний — внутренние и внешние и соответствующие переходы между ними, сопровождающиеся описанием действия агента. В случае вероятностных переходов дополнительно указываются вероятности перехода из одного состояния в другое, в остальных случаях могут изменяться состояния таймеров (увеличиваться, сбрасываться), могут использоваться ограничения на переходы в зависимости от значений таймеров.

Менеджер событий обрабатывает как внутренние события, связанные с изменением значений таймеров и выполнением условий переходов, так и внешние события из окружающей среды. События используются для инициации процесса изменения состояния модели.

Менеджер состояний увеличивает значения таймеров на соответствующую константу, затем проверяет условия перехода из состояния в состояние, выполняет необходимые действия и соответствующие переходы. В случае стационарной случайной среды матрица переходов вероятностных состояний остается неизменной, иначе по заданным правилам вычисляются новые значения матрицы переходов. Данный подход позволяет учитывать не только изменение состояний окружающей среды, но и изменять вероятности окружающей среды в зависимости от действий программы управления агентом.

DTD-схема модели временного автомата может выглядеть следующим образом.

```
<! DOCTYPE timeModel [
<! ELEMENT timeModel (state, action, timers)>
<! ATTLIST timeModel manager CDATA "time">
<! ELEMENT state EMPTY>
<! ATTLIST state id ID #REQUIRED parent IDREF
#REQUIRED inFunc CDATA #REQUIRED outFunc CDATA
#REQUIRED >
<! ELEMENT action EMPTY>
<! ATTLIST action from IDREF #REQUIRED to IDREF
#REQUIRED condition CDATA #REQUIRED function
CDATA #IMPLIED timersReset CDATA #IMPLIED >
<! ELEMENT timers (timer)>
```

```
<! ELEMENT timer EMPTY>
```

```
<! ATTLIST timer name CDATA #REQUIRED value
CDATA "0">
```


В описанной схеме для каждого состояния заданы входные и выходные действия. Для каждого действия определены условия перехода, задана исполняемая функция и перечислены таймеры, которые должны сбрасываться при выполнении данного перехода. Условия могут включать сложные математические выражения, в том числе данные таймеров и информацию о состояниях и вероятностных переходах вероятностного автомата.

DTD-схема модели вероятностного автомата может выглядеть следующим образом.

```
<! DOCTYPE probModel [
```

```
<! ELEMENT probModel (state, edge)>
```

```
<! ATTLIST probModel manager CDATA "probability">
```

```
<! ELEMENT state EMPTY>
```

```
<! ATTLIST state id ID #REQUIRED parent IDREF
#REQUIRED inFunc CDATA #REQUIRED outFunc CDATA
#REQUIRED >
```

```
<! ELEMENT edge EMPTY>
```

```
<! ATTLIST edge from IDREF #REQUIRED to IDREF
#REQUIRED condition CDATA #IMPLIED function CDATA
#IMPLIED value CDATA #IMPLIED >
```


В описанной схеме задаётся матрица переходов между состояниями, если значение перехода не указано, считается, что данный переход невозможен. Для оценки возможности выполнения перехода может потребоваться проверка условий, связанных с состоянием и действиями агента. При выполнении перехода может вызываться функция, которая пересчитывает состояние модели с учётом действий агента.

Обобщённый алгоритм функционирования программы управления.

Шаг 1. Загрузка из файлового хранилища описаний временного и вероятностного автомата.

Шаг 2. Проверка состояния окружающей среды.

Шаг 3. Определение внешнего состояния.

Шаг 4. Вычисление вероятностей перехода окружающей среды в новое состояние с учётом текущего состояния агента.

Шаг 5. Вычисление значений таймеров.



Шаг 6. Проверка условий изменения внутреннего состояния на основании полученного состояния окружающей среды и значений таймеров.

Шаг 7. Уточнение вероятностей перехода окружающей среды в новое состояние с учётом возможного изменения состояния агента.

Шаг 8. Изменение внутреннего состояния, сброс таймеров.

Шаг 9. Переход к шагу 2.

Описанный алгоритм позволяет реализовывать программы управления для многоагентных систем на основе моделей временных автоматов с использованием таймеров и внутренних событий изменения состояний, а также позволяет структурировать данные об окружающей среде и функционирующих в ней агентах с помощью вероятностного автомата. Предложенный алгоритм будет успешно функционировать при конечном количестве состояний агентов, реализация для случая счётного количества состояний требует дополнительных исследований. Алгоритм предполагает, что в описаниях временного и вероятностного автоматов заложены априорные знания об эффективном поведении агента в окружающей среде и о возможных реакциях среды в зависимости от её состояния и действий агента. Сравнение с концептуальной моделью подсистемы оценки обстановки интеллектуального агента реального времени [16] показывает, что объём знаний, используемый при описании временного и вероятностного автомата, отличается не существенно, но запись получается более компактной, исполнение более простым. Как следствие предложенная программа управления предлагает упрощённые решения.

Заключение

Рассмотрена возможность объединения подходов по построению программы управления в многоагентной системе одновременно на основе временного и вероятностного автоматов, описана соответствующая математическая модель, архитектура для программной реализации и обобщённый алгоритм. В предложенном решении реализовано согласованное использование результатов работы обоих видов автоматов.

За рамками настоящего исследования остались использование в модели обучаемых алгоритмов, случай счётного количества состояний вероятностного автомата, возможность применения иерархических моделей. Предложенное решение предполагает рациональное поведение агентов и использует априорные знания о целях, преследуемых агентами, и вероятным действиям, которые они предпримут для достижения данных целей.

Литература

1. *Варшавский В.И.* Коллективное поведение автоматов. М.: Наука, 1973, 408 с.

2. *Бухарев П.Г.* Основы теории вероятностных автоматов. М.: Наука, 1985, 288 с.

3. *Varshavsky V.I., Marakhovsky V.B.* Asynchronous control device design by net model behavior simulation // Proceedings of the 17th International Conference on Application and Theory of Petri Nets 1996 (Osaka, Japan, June 24–28, 1996). Springer Berlin Heidelberg, 1996. LNCS, Vol. 1091. Pp. 497–515.

4. *Alur R., Dill D.L.* A Theory of Timed Automata // Theoretical Computer Science. 1994. No. 126. Pp. 183–235.

5. *Lasota S., Walukiewicz I.* Alternating Timed Automata // ACM Transactions on Computational Logic. 2008. No. 9 (2). Pp. 1–26.

6. *Лебедев С.В., Пантелеев М.Г.* Онтолого-ориентированное проектирование подсистемы оценки обстановки автономного робота // Робототехника и техническая кибернетика. 2015. № 4(9). С. 65–69.

7. *Osipov V., Vodyaho A., Zhukova N.* About one approach to multilevel behavioral program synthesis for television devices // International journal of computers and communications. 2017. No. 11. Pp. 17–25.

8. *Shoham Y., Leyton-Brown K.* Multiagent Systems. Algorithmic, Game-Theoretic, and Logical Foundations. Cambridge University Press. 2009. 532 p.

9. *Vidal J.* Fundamentals of Multiagent Systems. 2007. URL: <https://github.com/josemvidal/FMAS/blob/master/mas-20070824.pdf> (дата обращения 12.09.2019)

10. *Беляев С.А., Матросов В.В.* Опыт создания среды имитационного моделирования // I-methods. 2018. Т. 10. № 3. С. 14–22.

11. *Постников Е.В., Беляев С.А.* Применение системы имитационного моделирования при решении задач информационно-аналитического обеспечения для подготовки специалистов ГИЦ // Материалы XXV международной научно-методической конференции «Современное образование: содержание, технологии, качество» (Санкт-Петербург, 23 апреля 2019 г.). СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2019. С. 286–288.

12. *Bouzouita K., Chaari W.L., Tagina M.* Assessing Organizational Effectiveness of Cooperative Agents // Procedia Computer Science. 2017. No. 112. Pp. 917–926.

13. *Рассел С., Норвиг П.* Искусственный интеллект. Современный подход: пер с англ. М.: Вильямс. 2018. 1408 с.

14. *Коробов Д.А., Беляев С.А.* Современные подходы к обучению интеллектуальных агентов в среде Atari // Программные продукты и системы. 2018. Т. 31 № 2. С. 284–290.

15. *Smolyakov I.Y., Belyaev S.A.* Design of the Software Architecture for Starcraft Video Game on the Basis of Finite State Machines // 2019 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (ElConRus)(Saint Petersburg and Moscow, Russia, 28–31 Jan. 2019). IEEE, 2019. Pp. 356–359.

16. *Лебедев С.В., Пантелеев М.Г.* Концептуальная модель подсистемы оценки обстановки интеллектуального агента реального времени // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2015. № 7. С. 41–46.

APPLICATION OF PROBABILISTIC AND TIME AUTOMATA IN CONTROL PROGRAMS OF MULTI-AGENT SYSTEMS

SERGEY A. BELYAEV,

St-Petersburg, Russia, bserge@bk.ru

ABSTRACT

Classical models of the time and probabilistic automaton constructed using the theory of Markov chains - the system "automaton-random environment" described by the Markov chain are considered. The uncertainty of the probabilistic automaton can be determined by various reasons, including the nondeterminism of the rules of state change of the simulated system, which is one of the most important obstacles in the modeling of multi-agent systems. The developed model is intended for the control program of multi-agent systems, takes into account the stochastic behavior of the environment when used in multi-agent systems. The key differences between the classical stationary random environment and multi-agent systems are presented, including the rationality of agent behavior and the need for cooperation or counteraction. The model does not provide trainable algorithms, their application requires a large sample for training, not all multi-agent systems have enough time to set the necessary statistics and behavior adaptation. Approaches to building the architecture of the agent control program in a multi-agent environment based on the theories of time and probabilistic automata are described, a format for storing models in file storage is proposed. The proposed architecture takes into account the possibility of changing the state of time automata based on the state of probabilistic automata and vice versa. The generalized algorithm of the control program functioning is described. The proposed algorithm makes it possible to implement control programs for multi-agent systems in the case of a finite number of agent states and uses flexible control mechanisms taken from the time machine model. The main results and proposals for further research, including the construction of hierarchical models are presented.

REFERENCES

1. Varshavsky V.I. *Kollektivnoe povedenie avtomatov* [Collective behavior of automata]. Moscow: Nauka, 1973, 408 p. (In Rus)
2. Bukharev R.G. *Osnovy teorii veroyatnostnykh avtomatov* [Fundamentals of the theory of probabilistic automata]. Moscow: Nauka, 1985, 288 p. (In Rus)
3. Varshavsky V.I., Marakhovsky V.B. Asynchronous control device design by net model behavior simulation. *Proceedings of the 17th International Conference on Application and Theory of Petri Nets*

KEYWORDS: time automata; probabilistic automata; random environment; control program; multi-agent system; architecture; algorithm.

- 1996, Osaka, Japan, June 24-28, 1996. Springer Berlin Heidelberg, 1996. LNCS, Vol. 1091. Pp. 497-515.
4. Alur R., Dill D.L. A Theory of Timed Automata. *Theoretical Computer Science*. 1994. No. 126. Pp. 183-235.
5. Lasota S., Walukiewicz I. Alternating Timed Automata. *ACM Transactions on Computational Logic*. 2008. No. 9 (2). Pp. 1-26
6. Lebedev S.V., Panteleev M.G. Ontologi-oriented design of the subsystem of environmental assessment Autonomous robot. *Robotics and technical cybernetics*. 2015. No. 4(9). Pp. 65-69. (In Rus)
7. Osipov V., Vodyaho A., Zhukova N. About one approach to multi-level behavioral program synthesis for television devices. *International journal of computers and communications*. 2017. No. 11. Pp. 17-25.
8. Shoham Y., Leyton-Brown K. *Multiagent Systems. Algorithmic, Game-Theoretic, and Logical Foundations*. Cambridge University Press. 2009. 532 p.
9. Vidal J. *Fundamentals of Multiagent Systems*. 2007. URL: <https://github.com/josemvidal/FMAS/blob/master/mas-20070824.pdf> (date of access 12.09.2019)
10. Belyaev S.A., Matrosov V.V. The experience of creating a simulation environment. *I-methods*. 2018. Vol. 10. No. 3. Pp. 14-22. (In Rus)
11. Postnikov E.V., Beljaev S.A. *Primenenie sistemy imitacionnogo modelirovaniya pri reshenii zadach informacionno-analiticheskogo obespecheniya dlja podgotovki specialistov GIKC* [Application of the simulation system in solving problems of information and analytical support for the training of GICC specialists]. *Materialy XXV mezhdunarodnoj nauchno-metodicheskoy konferencii "Sovremennoe obrazovanie: sodержanie, tehnologii, kachestvo"* [Proc. of the XXV international scientific and methodological conference "Modern education: content, technology, quality", St.-Petersburg, on April 23, 2019]. St.-Petersburg, 2019. Pp. 286-288. (In Rus)
12. Bouzouita K., Chaari W.L., Tagina M. Assessing Organizational Effectiveness of Cooperative Agents. *Procedia Computer Science*. 2017. No. 112. Pp. 917-926.
13. Russell S., Norvig P. *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. Prentice Hall, 2010. 1152 p.
14. Korobov D.A., Belyaev S.A. Modern approaches to training intelligent agents in the Atari environment. *Software and systems*. 2018. Vol.31. No. 2. Pp.284-290. (In Rus)

15. Smolyakov I.Y., Belyaev S.A. Design of the Software Architecture for Starcraft Video Game on the Basis of Finite State Machines. *Proc.2019 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (ElConRus)*, Saint Petersburg and Moscow, Russia, 28-31 Jan. 2019. IEEE, 2019. Pp. 356-359.
16. Lebedev S.V., Panteleev M.G. Conceptual model of the sub-

system for assessing the situation of an intelligent real-time agent. *Izvestia SPbETU "LETI"*. 2015. No. 7. Pp.41-46. (In Rus)

INFORMATION ABOUT AUTHOR:

Belyaev S.A., PhD, Docent, Lecturer of the St. Petersburg Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI".

For citation: Belyaev S.A. Application of probabilistic and time automata in control programs of multi-agent systems. *H&ES Research*. 2020. Vol. 12. No. 3. Pp. 47-53. doi: 10.36724/2409-5419-2020-12-3-47-53 (In Rus)



НАУКА И АСУ — 2020

ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ



В октябре 2020 года ООО «Институт инноваций и наукоемких технологий» (ООО «Институт «ИНТЕХ») совместно с партнерами проведет Всероссийскую научно-техническую конференцию, посвященную теоретическим и прикладным проблемам развития и совершенствования автоматизированных систем управления специального назначения «НАУКА И АСУ — 2020».

http://intech-spb.com/conferences/konferencia_asu_vka@mail.ru

По итогам конференции отобранные оргкомитетом доклады в виде статей будут опубликованы в журналах из Перечня ВАК, РИНЦ.

Участие в конференции и публикация материалов в сборнике тезисов **БЕСПЛАТНО**.

Полная информация о конференции, дата, место проведения, требования к материалам докладов будет выложена на сайте конференции <http://intech-spb.com/conferences/>.

Тематика конференции включает работу следующих шести секций:

Состояние и перспективы развития современных автоматизированных систем управления специального назначения.

Математическое, программное и информационно-лингвистическое обеспечение автоматизированных систем управления.

Безопасность в автоматизированных системах управления специального назначения.

Применение современных инфокоммуникационных технологий и средств при разработке, техническом обеспечении и эксплуатации автоматизированных систем управления специального назначения.

Состояние и перспективы развития систем, комплексов и средств радиосвязи специального назначения.

Проблемы развития автоматизированных систем управления технологическим процессом.

ИНСТИТУТ «ИНТЕХ» ЯВЛЯЕТСЯ УЧРЕДИТЕЛЕМ ЭЛЕКТРОННОГО СЕТЕВОГО ЖУРНАЛА «I-METHODS» И ОКАЗЫВАЕТ УСЛУГИ ПО ПОДГОТОВКЕ И РАЗМЕЩЕНИЮ СТАТЕЙ В ЖУРНАЛАХ ПЕРЕЧНЯ ВАК И РИНЦ.
Контакты для авторов: intech-spb@yandex.ru



doi: 10.36724/2409-5419-2020-12-3-54-62

НЕЛИНЕЙНОЕ ОЦЕНИВАНИЕ ПАРНОЙ ОДНОПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ РЕГРЕССИИ В УСЛОВИЯХ НЕДОСТАТКА СТАТИСТИКИ

ГЕТМАНСКАЯ
Ирина Васильевна

АННОТАЦИЯ

Параметрическая регрессия – это математическая модель какого-либо явления в виде функциональной зависимости между параметрами этого явления, одни из которых зависимая переменная и независимые аргументы функции, а другие её неизвестные оцениваемые параметры. Так как измерения зачастуюотягощены погрешностями, то построение модели проводят в вероятностной схеме постановки задачи, а оценки неизвестных параметров осуществляются статистическими методами с помощью оценочных уравнений. Для нелинейной регрессии, не являющейся внутренне линейной, оценочные уравнения относительно оцениваемого параметра аналитически не решаются. В этом случае пользуются методами итерации, результативность которых зависит от начального приближения. Для обобщённого минимально-контрастного оценивания нелинейной однопараметрической парной (одного аргумента) регрессии существует итерационная формула. Её составляющие – реализации оцениваемого параметра регрессии, найденные аналитически или численно по функции регрессии при измеренных значениях зависимой переменной и независимого аргумента без учёта ошибок измерения. Средняя этих реализаций с определённой точностью приближения является состоятельной оценкой, что ранее доказано с помощью найденных числовых характеристик реализаций. Эту оценку можно использовать в качестве начальной в итерационной формуле оценивания параметрической регрессии. В данной работе рассматривается реализация оцениваемого параметра с приближённо нулевой дисперсией не только как начальное приближение, но и как самодостаточная оценка, если её точность удовлетворительная. Она – приближение оцениваемого параметра известной точности соразмерной кубу среднеквадратичного отклонения исходных данных. Приведенные в работе результаты имитационного эксперимента оценивания параметров регрессий предлагаемым методом приближения и с помощью состоятельной оценки согласуются с теоретическими обоснованиями методов. Их сравнение в пользу приближения, если объём исходных данных меньше десяти. При этом, отклонение от истинного значения оцениваемого параметра меньше отклонения сравниваемой состоятельной оценки максимум на два порядка (в 188 раз) минимум в 1,5 раза. Условия оптимальности метода предполагает его использование в исследованиях редких явлений, а также в дорогостоящих экспериментах в широком (экономическом и гуманитарном) смысле этого слова. Результативность метода оценивания можно предвосхитить, проверив до опыта выполнение условий формирования оценки, которые зависят от диапазона значений аргумента функции регрессии.

Сведения об авторе:

к.т.н., доцент Московского технического университета связи и информатики,
г. Москва, Россия, getmi@mail.ru

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: параметрическая регрессия; нелинейное оценивание; математическое ожидание; дисперсия; несмещённая оценка; состоятельная оценка.

Для цитирования: Гетманская И.В. Нелинейное оценивание парной однопараметрической регрессии в условиях недостатка статистики // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2020. Т. 12. № 3. С. 54–62. doi: 10.36724/2409-5419-2020-12-3-54-62

Введение

В наукоёмких технологиях, как правило, решаются задачи построения математических моделей различных явлений в виде функциональной зависимости их числовых параметров. Существует два подхода такого построения: геометрический или, исходя из теории описываемого явления. Примерами геометрического подхода могут служить аппроксимация линейными и нелинейными функциями при построении моделей геофизических [1], биологических [2] процессов, для решения задач экономического и эколого-экономического содержания [3, 4] и многих других. Формирование моделей с применением методов дифференциального и интегрального исчисления таких явлений как, процессов в химическом реакторе [5], электромагнитное излучение полупроводниковых материалов [6, 7] или свободное падение сферы в несжимаемой Ньютоновой жидкости [8, С.35], — **примеры второго подхода.**

Построенная с точностью до неизвестных параметров модель может быть использована для их оценки по значениям известных параметров. Например, в диагностике полупроводниковых материалов с помощью модели их катодолюминесцентного излучения [6, 7] по измерениям интенсивности излучения и энергии падающих электронов можно оценить параметры полупроводниковой мишени.

Зачастую измерения отягощены ошибками из-за не точности измерительного прибора, а модель, ввиду неучтённых факторов, может содержать систематические ошибки. Поэтому, в модель вносят случайную составляющую, и её построение проводят в вероятностной схеме постановки задачи, а уточнение и использование — статистическими методами [8–11].

1. Постановка задачи

Чтобы установить связь между зависимой $Y \in \mathcal{Y} \subset \mathcal{R}$ и независимой переменной $x \in \mathcal{X} \subset \mathcal{R}$, в предположении того, что Y имеет случайный разброс, возможная модель зависимости переменных —

$$Y = r(x) + \varepsilon. \quad (1)$$

Здесь $\varepsilon \in \mathcal{R}$ — случайная ошибка, $r(x)$ — *регрессия*, которая по определению¹ — условное математическое ожидание

$$r(x) = E[Y/x]$$

случайной величины Y , при условии, что x принимает какое-либо случайное или неслучайное значение. В работе предполагается, что x неслучайная (детерминированная) величина. Из определения $r(x)$ и (1) следует, что

$$E[\varepsilon/x] = E[\varepsilon] = 0. \quad (2)$$

Если вид регрессии $r(x) = r(x, \theta)$ определён с точностью до неизвестного параметра $\theta \in \mathcal{R}$, то функцию $r(x, \theta)$ называют *параметрической регрессией*, а параметр θ — *регрессионным коэффициентом (РК)*.

Наблюдаемое в i -м эксперименте значение величины Y обозначают y_i и называют *откликом* при заданном значении фактора $x_i \in \mathcal{X}$, где $y_i = (r(x_i, \theta) + \varepsilon_i) \in \mathcal{Y}$, ε_i — значение случайной величины ε .

Согласно (2) величина ε центрированная. Допустим, что она равноточная с дисперсией

$$\text{Var}[\varepsilon/x] = \text{Var}[\varepsilon] = \sigma^2. \quad (3)$$

В перечисленных условиях задача регрессионного анализа — это оценка неизвестного значения РК θ по n независимым наблюдениям (x_i, y_i) , $i = \overline{1, n}$ отклика и фактора.

К классическим методам оценивания РК относится метод максимального правдоподобия, который можно использовать, если известен закон распределения случайной погрешности ε . В случае, когда этот закон нормальный, результат метода максимального правдоподобия — оценочное уравнение РК, реализующее метод наименьших квадратов (МНК).

Современный подход состоит в использовании методов, основанных на более общих предположениях относительно случайных величин [12–15]. В регрессионном анализе к ним относится метод минимально контрастного оценивания параметрической регрессии [13], включающий в себя, как элемент многообразия, оценку МНК, семейство оценок Мешалкина, медианную оценку, каждая из которых имеет свои условия оптимальности.

Если модель нелинейная и не является внутренне линейной (внешне нелинейной, трансформирующейся) функцией [16], то оценочное уравнение явно не решается относительно оцениваемого параметра. В этом случае модель можно линеаризовать, что «... часто приносит значительно больше потерь, чем выгод» [10]. В связи с этим, получили распространение итерационные методы, сходимость которых зависит от «удачного выбора начального приближения оцениваемого параметра» [11]. Так, в работе [16] в качестве предварительной оценки для одношаговых итерационных процедур Ньютоновского типа оценивания регрессионных моделей рассматриваются явные состоятельные оценки. Для итерационной формулы минимально контрастного оценивания параметра парной регрессии² рассматривается состоятельное начальное приближение, которое — средняя составляющих итерационную формулу. В работе [17] точность состоятельной оценки выше точности начального приближения работы². В данной работе

¹Боровков А.А. Математическая статистика, 3-е изд. М.: Физматлит, 2007. С.282

²Тетманская И.В. Оптимизация минимально контрастного оценивания нелинейной однопараметрической парной регрессии: Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. 2009. 121 с.

предлагается повысить точность начального приближения, выбрав в его качестве из составляющих формулу оценивания ту, дисперсия которой равна нулю.

2. Реализации регрессионного коэффициента

Предположим, что в своих областях определения однозначные функции $y = r(x, \theta)$ и $\theta = \theta(x, y)$ дважды дифференцируемы по θ первая и по y вторая. Функция $\theta = \theta(x, y)$ неявно задана уравнением

$$y - r(x, \theta) = 0. \quad (4)$$

Обозначим:

S — область определения функции

$$\theta = \theta(x, y): S = \{(x, y) \in \mathbb{N} \times \Upsilon\} \subset \mathfrak{R}^2;$$

Θ — область допустимых значений функции

$$\theta = \theta(x, y): S \xrightarrow{\theta(x, y)} \Theta \subset \mathfrak{R};$$

$$A = \{(x, y) \in \mathbb{N} \times \Upsilon: |y - \bar{Y}(x)| = |\varepsilon| \leq 1\} \subset \mathfrak{R}^2,$$

где ε значение ε , $\bar{Y}(x) = r(x, \theta)$ — уравнение линии уровня, при истинном значении θ , поверхности, заданной в декартовой системе координат $Oxy\theta$ функцией $\theta = \theta(x, y)$;

H — множество исходных данных оценивания:

$$H = \{(x_i, y_i): (x_i, y_i) \in \mathbb{N} \times \Upsilon, i = \overline{1, n}\},$$

$$|H| = n;$$

C — множество реализаций РК (PPK):

$$H \cap A \cap S \xrightarrow{\theta(x_i, y_i)} C \subset \Theta,$$

$$C = \{\theta_i^*: \theta_i^* = \theta(x_i, y_i), i = \overline{1, m}\}, \quad |C| = m \quad (m \leq n).$$

Неслучайная функция $\theta(x, y)$ от случайного аргумента (вектора) (x, y) — случайная величина, что «...очевидно»³ и не требует доказательства. Поэтому значения РК $\theta_i^* = \theta(x_i, y_i)$ закономерной функции от значений (x_i, y_i) случайного аргумента — значение случайной величины.

Далее приведены приближения математического ожидания и дисперсии РК, метод получения которых представлен в работе [17] в виде доказательства двух теорем.

Теорема 1

Если в условиях постановки задачи в области $\mathbb{N} \times \Theta \subset \mathfrak{R}^2$:

а) функция регрессии $y = r(x, \theta)$ строго монотонная по θ ,

б) существуют частные производные $r'_\theta, r''_{\theta\theta}, r'''_{\theta\theta\theta}$ и $q \in \mathfrak{R}: q > 0$ и $|r'_\theta| > q$, тогда РК $\theta(x, y)$ в точке $(x, y) \in A$ — смещенная оценка истинного значения θ с приближением смещения

$$w(x, \theta) \cong -\frac{\sigma^2}{2} \frac{r''_{\theta\theta}(x, \theta)}{(r'_\theta(x, \theta))^3} \in \mathfrak{R}.$$

Теорема 2

При выполнении условий теоремы 1 дисперсия РК в точке $(x, y) \in A$ приближённо равна

$$Var[\theta(x, y)] \cong \frac{\sigma^2}{(r'_\theta(x, \theta))^2}.$$

Условия теоремы 1 возникли из теории⁴ представления функции $\theta = \theta(x, y)$ в окрестности точки $(x, \bar{Y}(x))$ формулой Тейлора. Согласно этой теории третья слагаемая

многочлена $\frac{\varepsilon^2}{2} \frac{r''_{\theta\theta}(x, \theta)}{(r'_\theta(x, \theta))^3} = o(\varepsilon)$. Исходя из теории сравне-

ния функций⁵ для $\varepsilon \in U(0, \delta)$ из окрестности точки 0 достаточно малого радиуса

$$\delta \quad (0 < \delta < 1) \quad |o(\varepsilon^k)| = |O(\varepsilon^{k+1})| \leq \lambda |\varepsilon^{k+1}|, \quad \lambda: \lambda \in \mathfrak{R}, \quad 0 < \lambda < \infty.$$

Для $\varepsilon \in U(0, 1)$ в работе [18] найдено значение $\lambda = 1$.

В результате условие выполнения теорем 1 и 2 приобретает удобную для практического применения форму: в точках $(x, \theta) \in \mathbb{N} \times \Theta \subset \mathfrak{R}^2$, где θ — истинное значение оцениваемого параметра, $(x, y) \in S \cap A$

$$\left| \frac{r''_{\theta\theta}(x, \theta)}{(r'_\theta(x, \theta))^3} \right| \leq 2.$$

Согласно теоремам 1 и 2 и определения смещенной оценки⁶

$$E[\theta_i^*] \cong \theta + w_i,$$

$$\text{где } w_i = w(x_i, \theta) = -\frac{\sigma^2}{2} \frac{r''_{\theta\theta}(x_i, \theta)}{(r'_\theta(x_i, \theta))^3},$$

$$Var[\theta_i^*] \cong \frac{\sigma^2}{(r'_\theta(x_i, \theta))^2}.$$

³Кудрявцев Л.Д. Курс математического анализа. М.: Высш. шк., 1988. Т. 1. С. 295.

⁴Кудрявцев Л.Д. Курс математического анализа. М.: Высш. шк., 1988. Т. 1. С. 220.

⁶Математическая статистика. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2001, С.56.



Определим множества B, G следующим образом:

$B: B \subset \mathcal{R}^2, B \subseteq H \cap A \cap S, B$ — множество точек (x_p, y_i) , в которых выполняются условия теорем 1 и 2:

$$\left| \frac{r''_{\theta\theta}(x_i, \theta)}{(r'_\theta(x_i, \theta))^3} \right| \leq 2. \quad (5)$$

$$G: G \subset \Theta, B \xrightarrow{f(x_i, y_i)} G, f(x_p, y_i) = \theta(x_p, y_i) - w(x_p, \theta),$$

где

$$w(x_i, \theta) = -\frac{\sigma^2}{2} \frac{r''_{\theta\theta}(x_i, \theta)}{(r'_\theta(x_i, \theta))^3} = w_i, \quad (6)$$

$$G = \{\hat{\theta}_i : \hat{\theta}_i = \theta_i^* - w_i, \theta_i^* \in C, i = \overline{1, l}\},$$

$$|B| = |G| = l, (l \leq m).$$

В работе [18] с точностью приближения $o(\varepsilon_i^2)$ доказано, что $\forall \hat{\theta}_i \in G$ несмещенная оценка, то есть

$$E[\hat{\theta}_i] = \theta, \quad (7)$$

и то, что ее дисперсия

$$Var[\hat{\theta}_i] = \frac{\sigma^2}{(r'_\theta(x_i, \theta))^2}. \quad (8)$$

3. Оптимизация оценивания регрессионного коэффициента

В качестве начального приближения итерационной формулы оценивания РК в работе² использовалось среднее РПК:

$$\bar{\theta}^* = n^{-1} \sum_{i=1}^n \theta_i^*, \quad (9)$$

которое с точностью приближения $o(\varepsilon)$ числовых характеристик θ_i^* является состоятельной оценкой РК².

В работе [17] доказана состоятельность оценки РК средним элементов множества G

$$\bar{\hat{\theta}} = l^{-1} \sum_{i=1}^l \hat{\theta}_i,$$

точность приближения которой $o(\varepsilon^2)$ совпадает с точностью приближения числовых характеристик $\hat{\theta}_i$ и на порядок выше точности оценки (9).

Приведенные в работе [18] результаты вычислительного эксперимента оценивания РК согласуются с обоснованиями

оценивания, а именно, в множестве G приближённо несмещённых оценок РК оптимальными являются $\hat{\theta}_k$ с наименьшими дисперсиями

$$k = \text{Arg} \min_{i: \hat{\theta}_i \in G} Var[\hat{\theta}_i].$$

Поскольку оценки с приближённо нулевыми дисперсиями могут образовывать целое множество, то имеет смысл в качестве оптимальной выбрать, например, среднее его элементов.

4. Приближение РК

Обозначим:

G_0 — множество несмещённых оценок РК с приближённо нулевой дисперсией, $G_0 \subseteq G$,

$$G_0 = \{\hat{\theta}_i : \hat{\theta}_i \in G, Var[\hat{\theta}_i] = o(\varepsilon_i^2), i = \overline{1, n_0}\},$$

$$|G_0| = n_0 (n_0 \leq l).$$

Теорема 3

Если $G_0 \neq \emptyset$, то точечная оценка РК

$$\tilde{\theta} = n_0^{-1} \sum_{i: \hat{\theta}_i \in G_0} \hat{\theta}_i \quad (10)$$

приближение РК точности $o(\varepsilon^2)$.

Доказательство. Равенство нулю дисперсии случайной величины является необходимым и достаточным условием того, что она не случайная, а закономерная величина (константа), с математическим ожиданием, равным этой константе.

Если дисперсия оценки РК равна нулю, то эта оценка не случайная, а закономерная, равная математическому ожиданию этой оценки. Поэтому, оценки $\hat{\theta}_i \in G_0$ в рамках точности приближения $o(\varepsilon_i^2)$ их дисперсий и математического ожидания, с нулевой дисперсией — закономерные величины, равные математическому ожиданию оценок $E[\hat{\theta}_i] = \theta$ согласно (7). Таким образом, $\hat{\theta}_i = \theta + o(\varepsilon_i^2)$, то есть $\hat{\theta}_i$ — приближение θ .

Величина

$$\tilde{\theta} = n_0^{-1} \sum_{i: \hat{\theta}_i \in G_0} \hat{\theta}_i = n_0^{-1} \sum_{i=1}^{n_0} (\theta + o(\varepsilon_i^2)) = \theta + n_0^{-1} \sum_{i=1}^{n_0} o(\varepsilon_i^2),$$

где $n_0^{-1} \sum_{i=1}^{n_0} o(\varepsilon_i^2)$ — среднее значение бесконечно малых

$o(\varepsilon_i^2) = o(\varepsilon^2)$. Так как порядок среднего бесконечно малых не может быть меньше порядка малости самого значения $o(\varepsilon^2)$, то $\tilde{\theta} = \theta + o(\varepsilon^2)$, что и требовалось доказать.

Аналогично условию (5) формирования множества G найдено условие формирования подмножества $G_0 \subseteq G$:

$$|r'_\theta(x_i, \theta)| \geq \mu, \quad (11)$$

где $\mu \approx \sqrt{\frac{1}{\sigma}}$, так как $\frac{\varepsilon_i^2}{(r'_\theta(x_i, \theta))^2} = |O(\varepsilon_i^3)| \leq \lambda \cdot |\varepsilon_i^3| \approx \lambda \cdot \sigma^3$

после усреднения, а $\lambda = 1$.

Полученные выводы проверены в численном (имитационном) эксперименте [19].

5. Численный эксперимент оценивания РК

В численном эксперименте, проводимом в компьютерной системе символьной математики MAPLE⁷, исходные данные оценивания $(x_p, y_i) \in H$ параметрической регрессии моделировались по формуле (1) с заданными функциями регрессии $r(x, \theta)$ при заданном значении РК θ . В таблице приведены параметры и результаты 12-ти экспериментов оценивания РК регрессий вида:

$$r(x, \theta) = \exp(x^3/\theta^2), \quad (12)$$

$$r(x, \theta) = \frac{g \cdot (m - m_0)}{\alpha \cdot m} \left(x - \frac{1 - \exp(-\alpha \cdot x)}{\alpha} \right), \quad (13)$$

$$\alpha = 6 \cdot \pi \cdot \rho \cdot \theta / m.$$

Регрессия (12) является составляющей регрессионной модели⁸ интенсивности катодоллюминесцентного излучения полупроводников в результате воздействия пучка электронов энергии x , где θ — диффузионная длина неравновесных носителей заряда. Регрессия вида (13) — модель [8, С. 35] пройденного расстояния за время x сферой радиуса ρ массы m в результате свободного падения в несжимаемой жидкости вязкости θ , m_0 — масса жидкости, вытесняемой сферой.

Выборка объема n случайной величины ε — значения ε_p , каждое из которых сумма значений трёх случайных величин: равномерного, нормального и показательного распределения, генерированных методом Монте-Карло, реализованным утилитой в системе MAPLE. Выборка

Параметры экспериментов оценивания РК и абсолютные погрешности результатов

№ экс.	Параметры и результаты										
	(a, b)	θ	$\bar{\sigma}_\varepsilon$	$\bar{\sigma}_\varepsilon^2$	$\bar{\sigma}_\varepsilon^3$	n	$ \bar{\theta}^* - \theta $	m	n_0	$ \bar{\theta} - \theta $	$ \bar{\theta} - \theta / \bar{\theta}^* - \theta $
1	(0,1, 1,5)	1	0,35	0,123	0,043	8	0,126	6	4	0,028 0,024	5,25
2	(0,1, 1,5)	1	0,52	0,27	0,14	8	0,13	4	3	0,039 0,026	5
3	(0,1, 1,5)	1	0,25	0,063	0,016	8	0,045	7	4	0,002 0,003	15
4	(0,01, 1)	1	0,6	0,36	0,22	10	0,074	5	3	0,096 0,084	0,88
5	(0,05, 5)	4	0,78	0,6	0,47	6	0,26	4	3	0,014 0,011	23,6
6	(0,05, 5)	4	0,95	0,9	0,86	6	0,015	3	3	0,026 0,026	0,58
7	(0,05, 5)	4	0,597	0,356	0,21	6	0,113	4	3	0,001 0,0006	188,3
8	(1, 3)	2	0,64	0,41	0,26	7	0,036	7	5	0,025 0,024	1,5
9	(0,1, 8)	1	0,49	0,25	0,12	11	0,096	7	2	0,088 0,089	1,08
10	(1, 10)	0,7	0,215	0,046	0,0099	9	0,103	7	3	0,003 0,0028	36,7
11	(5, 20)	3	0,35	0,12	0,042	9	0,034	8	4	0,02 0,02	1,7
12	(5, 20)	3	0,29	0,082	0,024	7	0,215	7	2	0,07 0,025	8,6

⁷Говорухин В., Цибулин В. Компьютер в математическом исследовании: Учебный курс. СПб.: Питер, 2001. С.21.

⁸Гетманская И.В. Оптимизация минимально контрастного оценивания нелинейной однопараметрической парной регрессии: Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. 2009, С.114.

центрировалась относительно средне выборочной $\bar{\varepsilon} = \sum_{i=1}^n \varepsilon_i / n$, а именно, $\forall i = \overline{1, n} \quad \varepsilon_i = \varepsilon_i - \bar{\varepsilon}$. Значение σ^2 дисперсии ε оценивалось исправленной выборочной дисперсией $\bar{\sigma}_\varepsilon^2$, являющейся состоятельной⁹ оценкой σ^2 ,

$$\bar{\sigma}_\varepsilon^2 = (n-1)^{-1} \sum_{i=1}^n (\varepsilon_i - \bar{\varepsilon})^2.$$

Элементы множества $C \quad \theta_i^* = \theta(x_i, y_i)$ находились, как решения уравнений (4) относительно θ в области $D = [\theta - \theta/2, \theta + \theta/2]$ «предполагаемых» значений РК: $D \cap \Theta \neq \emptyset$. Для модели (12) $\theta(x, y) = \sqrt{\frac{x^3}{\ln y}}$, $S = \{(x, y): (x < 0) \wedge (y \in (0, 1)) \vee (x \geq 0) \wedge (y > 1)\}$. Для модели (13) уравнение (4) относительно θ аналитически не решается, поэтому оно решалось численным методом половинного деления, программно реализованным¹⁰ в среде MAPLE.

Мера множества РПК $|C| = m$, как правило, была меньше меры множества исходных данных оценивания $|H| = n \geq m$, так как зачастую $\exists k: 1 \leq k \leq n, (x_k, y_k) \notin S$. Если уравнение (4) относительно θ имело множество решений, то из него выбиралось одно, входящее в область «предполагаемых» значений D .

Оценки числовых характеристик РПК: $w(x_p, \theta)$ и $Var[\hat{\theta}_i]$ по формулам (6) и (8) соответственно, зависящих от оцениваемого параметра θ , проводились с его начальным приближением $\bar{\theta}^*$, найденным по формуле (9). Множества B и G формировались на основании условия (5), а множество G_0 — условия (11). Оценки точности приближения осуществ-

лялись с помощью исправленных средне выборочных центральных моментов

$$|o(\varepsilon^{k-1})| = |O(\varepsilon^k)| \leq \lambda |\varepsilon^k| \approx \lambda \cdot \sigma^k,$$

где $\lambda = 1, \sigma^k \approx (\bar{\sigma}_\varepsilon)^k$.

В таблице сведены параметры и результаты оценивания РК модели (12) в экспериментах 1–8 и модели (13) в экспериментах 9–12.

На рис. 1 изображена модель 4-го, а на рис. 2–9-го экспериментов.

Столбцам таблицы соответствуют следующие параметры: θ — истинное значение оцениваемого параметра, $(a, b) \in \aleph$ — диапазон изменения значений фактора, $\bar{\sigma}_\varepsilon^2$, $\bar{\sigma}_\varepsilon$, $\bar{\sigma}_\varepsilon^3$ — исправленная средне выборочная дисперсия модельной погрешности ε и её степени $1/2$ и $3/2$ соответственно, n, m, n_0 — объёмы множеств H, C , и G_0 .

Результаты оценивания приведены в виде абсолютных погрешностей начального приближения $|\bar{\theta}^* - \theta|$ по формуле (9) и оценки $|\tilde{\theta} - \theta|$ по формуле (10), а также их отношений $|\tilde{\theta} - \theta| / |\bar{\theta}^* - \theta|$.

Оценка по формуле (10) получена одношаговой итерацией, поэтому соответствующая формуле оценка состоит из двух результатов.

Сравнение результатов оценивания РК позволяет сделать вывод о целесообразности применения формулы (10) в условиях малых объёмов исходных данных оценивания, когда $n < 10$.

Так, в 4-м эксперименте оценка начального приближения $\bar{\theta}^*$ по формуле (9) точнее, чем $\tilde{\theta}$ по формуле (10),

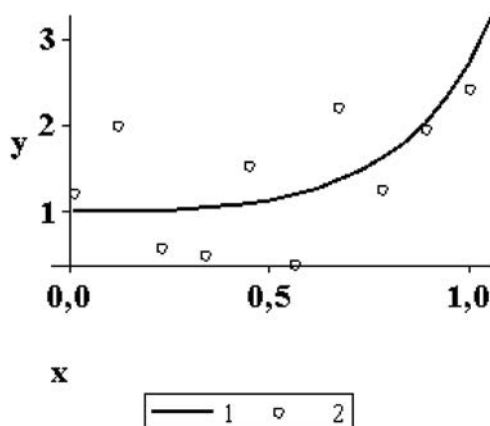


Рис. 1. Результат моделирования данных в 4 эксперименте: 1 – регрессия вида (12), 2 – точки с координатами (x_p, y_p)

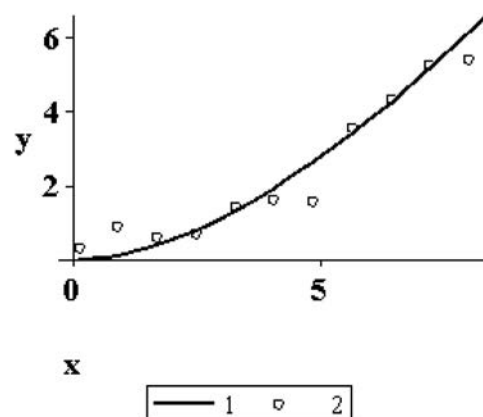


Рис. 2. Результат моделирования данных в 9 эксперименте: 1 – регрессия вида (13), 2 – точки с координатами (x_p, y_p)

⁹Математическая статистика, М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2001, С.63.

¹⁰Гетманская И.В. Оптимизация минимально контрастного оценивания нелинейной однопараметрической парной регрессии: Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. 2009, С.109.

а в 9-м оценки одной точности. Это демонстрирует доказанную в работе² состоятельность оценки $\bar{\theta}^*$ при $n \rightarrow \infty$, что в реальных экспериментах эквивалентно $n \geq 10$ (в нашем случае $n = 10$ и 11). В 6-м эксперименте оценка $\bar{\theta}^*$ также точнее, чем оценка $\bar{\theta}$. Это можно объяснить тем, что средняя РРК по формуле (9) — эквивалент МНК, для которого известно условие оптимальности — большие погрешности исходных данных. Эксперимент 6 в серии из 12-ти с наибольшей погрешностью $\sigma \approx 0.95 < 1$.

В остальных 9-ти экспериментах оценка $\bar{\theta}$ точнее, чем $\bar{\theta}^*$ минимум в 1,5 максимум в 188 раз. Во всех 12-ти экспериментах оценка точности результатов оценивания РК

$$|\bar{\theta} - \theta| = \beta \cdot \bar{\sigma}_e^3, \quad \beta \in [0,002, 1,04]$$

с помощью куба осреднённой погрешности исходных данных оценивания $|\bar{\theta} - \theta| \leq \bar{\sigma}_e^3$ согласуется с её теоретическим обоснованием: $\beta \leq 1$.

Заключение

В работе предлагается нелинейная оценка однопараметрической парной регрессии, построенная с помощью реализаций оцениваемого параметра в точках, координаты которых соответствуют наблюдениям фактора и отклика.

Найденная несмещённая оценка параметра с приближённо нулевой дисперсией, становится не случайной, а приближением известной точности закономерной величины, истинного значения оцениваемого параметра.

Условия формирования множества несмещённых оценок РК и его подмножества приближений РК зависят от известного вида регрессии, дисперсии исходных данных и неизвестного оцениваемого параметра. В некотором начальном приближении последнего можно планировать эксперимент, определив область измеряемых значений фактора таким образом, чтобы множество приближений РК было непустым, а эксперимент результативным.

Рассматриваемая оптимизация нелинейного оценивания РК при определённых условиях приводит к повышению точности оценивания, по сравнению с состоятельной оценкой (среднее значение РРК), как минимум в 1.5 раза и максимум в 188 раз.

Условиями оптимальности предлагаемой оценки в множестве реализаций регрессионного коэффициента с поправкой до её несмещённости являются: 1) малый, меньше 10, объём исходных данных оценивания, 2) неопределённый закон распределения случайных составляющих модель.

В выше перечисленных условиях применение классических методов необоснованно. В тоже время, подобные условия возможны в исследованиях редких явлений, например, в вулканологии, или сейсмологии, или в наблюдении астрономических объектов, а также явлений, связанных с дорогостоящими экспериментами, например, при автоматизации испытаний самолётов на прочность [20], или в опасных для окружающей среды экспериментах. Так, в катодоллюминесцентной диагностике материалов важной задачей является уменьшение радиационной нагрузки на исследуемый объект. В работе¹¹ рассматриваются связанные с этим вопросы оптимизации по объёму измерений, при решении прямых задач в катодоллюминесцентных исследованиях материалов.

Литература

1. Гусева Е.В., Корчагин С.А. Совместное использование взаимно обратных функций при регрессионном анализе и решении обратных задач // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. 2017. № 6. С. 35–40.
2. Капсамун А.Д., Иванов Д.А., Павлючик Е.Н., Иванова Н.Н., Васильева Е.А. Элементы метаболизма кальция в организме молочных коров в зимних и летних рационах кормления // Бюллетень науки и практики. 2018. № 9. С. 119–126.
3. Полежаев В.Д., Полежаева Л.Н. Нелинейные модели парной регрессии в курсе эконометрики // Современные проблемы науки и образования. 2018. № 4. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=27855> (дата обращения 10.12.2019).
4. Бенц Д.С. Моделирование эколого-экономической эффективности Уральского региона // Journal of new economy. 2019. Т. 20. № 4. С. 70–87. DOI: 10.29141/2073–1019–2019–20–4–4.
5. Неваиницын В.Ю., Лабутин А.Н., Волкова Г.В., Корсакова Н.Э. Управление концентрацией целевого продукта в химическом реакторе с применением нелинейного робастного алгоритма // Сборник докладов Международной научно-практической конференции «Научно-технологические и инновационные» (Белгород, 29 апреля 2019). Белгород: Изд-во БГТУ, 2019. Ч. 10 С. 89–93.
6. Van Roosbroeck W. Injected current transport in semi-infinite semiconductor and determination of lifetimes and surface recombination velocities // J. Appl. Phys. 1955. Vol. 26. No. 1. Pp. 380–387.
7. Михеев Н.Н., Никоноров И.М., Петров В.И., Степович М.А. Определение электрофизических параметров полупроводников в растровом электронном микроскопе методами наведённого тока и катодоллюминесценции // Известия АН СССР. Серия физическая. 1990. Т. 54. № 2. С. 274–280.
8. Бард Й. Нелинейное оценивание параметров: пер с англ. М.: Статистика, 1979. 349 с.
9. Демиденко Е.З. Линейная и нелинейная регрессия. М.: Финансы и статистика, 1981. 302 с.
10. Ермаков С.М., Жиглявский А.А. Математическая теория оптимального эксперимента. М.: Наука, 1987. 319 с.
11. Айвазян И.С., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д. Прикладная статистика: исследование зависимостей. М.: Финансы и статистика, 1985. 487 с.

¹¹ Степанов С.Е. Разработка оптимального по порядку емкости метода измерений и обработки данных: Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. Обнинск: Институт атомной энергетики. 2000. С.5



12. Хардле В. Прикладная непараметрическая регрессия: пер с англ. М.: Мир, 1993. 349 с.

13. Шурыгин А.М. Прикладная стохастика: робастность, оценивание, прогноз. М.: Финансы и статистика, 2000. 224 с.

14. Seber G.A.F., Wild C.J. Nonlinear regression. New York etc.: John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, 1989. XX. 768 p.

15. Jureckova J., Sen P., Picek J. Methodology in robust and nonparametric statistics. New York: CRC Press, 2013. 394 p.

16. Линке Ю.Ю., Борисов И.С. О построении явных оценок в задачах нелинейной регрессии // Теория вероятностей и её применения. 2018. Т. 63. Вып. 1. С. 29–56.

17. Гетманская И.В. Состоятельная оценка параметра однопараметрической парной регрессии // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия Естественные науки. 2006. № 3. С. 3–1.

18. Гетманская И.В. Оптимизация нелинейного несмещённого оценивания параметрической регрессии // Сборник статей по материалам XXXVII международной заочной научно-практической конференции «Научная дискуссия: вопросы математики, физики, химии, биологии». М.: Интернаука, 2016. № 2(30) С. 24–36.

19. Орлов А.И. Метод статистических испытаний в прикладной статистике // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2019. Т. 85. № 5. С. 67–79.

20. Долгов А.С., Левченко М.М., Левченко М.А. Нетрадиционные методы аппроксимации результатов измерений при автоматизации испытаний самолётов на прочность // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2018, № 11. С. 1–6.

NONLINEAR ESTIMATION STEAMY ONE-PARAMETER REGRESSION IN TERMS OF LACK OF STATISTICS

IRINA V. GETMANSKAYA

Moscow, Russia, getmi@mail.ru

KEYWORDS: parameter regression; nonlinear estimation; expectation; variance; unbiased estimate; consistent estimate.

ABSTRACT

Parametric regression is a mathematical model of a phenomenon in the form of functional dependence between the parameters of this phenomenon, one of which is a dependent variable and independent arguments of a function, and the other is its unknown estimated parameters. Since measurements are often burdened with errors, the construction of the model is carried out in the probabilistic scheme of the problem statement, and the estimates of unknown parameters are carried out by statistical methods using evaluation equations. For a nonlinear regression that is not intrinsically linear, the estimated equations with respect to the estimated parameter are not analytically solved. In this case, iteration methods are used, the effectiveness of which depends on the initial approximation. There is an iterative formula for generalized minimal-contrast estimation of non-linear one-parameter pair (one argument) regression. Its components are the implementations of the estimated regression parameter found analytically or numerically by the regression function at measured values of the dependent variable and the independent argument without taking into account the measurement errors. The average of these realizations with a certain approximation accuracy is a consistent esti-

mate, which was previously proved by the numerical characteristics of the realizations found. This estimate can be used as an initial estimate in an iterative parametric regression estimation formula. In this paper, the implementation of the estimated parameter with approximately zero variance is considered not only as an initial approximation, but also as a self-sufficient estimate, if its accuracy is satisfactory. It is an approximation of the estimated parameter of known accuracy proportional to the cube of the standard deviation of the initial data. The results of the simulation experiment for estimating regression parameters by the proposed approximation method and by means of a consistent assessment are consistent with the theoretical descriptions of the methods. Their comparison is in favor of approximation, if the volume of the original data is less than ten. In this case, the deviation from the true value of the estimated parameter is less than the deviation of the compared state estimate by a maximum of two orders of magnitude (188 times) by at least 1.5 times. Conditions of optimality of the method assumes its use in studies of rare phenomena, as well as in expensive experiments in the broad (economic and humanitarian) sense of the word, the effectiveness of the evaluation method can

be anticipated by checking to experience the fulfillment of the conditions of evaluation formation, which depend on the range of values of the argument of the regression function.

REFERENCES

1. Guseva E.V., Korchagin S.A. The joint use of mutually inverse functions in regression analysis and inverse problems solution. *Avtomatizatsiya, telemekhanizatsiya i svyaz' v neftyanoi promyshlennosti* [Automation, telemechanization and communication in the oil industry]. 2017. No 6. Pp. 35-40. (In Rus)
2. Kapsamun A.D., Ivanov D.A., Pavlyuchik E.N., Ivanova N.N., Vasileva E.A. Elements of calcium metabolism in the organism of dairy cows in winter and summer feeding rations. *Bulletin of Science and Practice*. 2018. No. 9. Pp. 119-126. (In Rus)
3. Polezhaev V.D., Polezhaeva L.N. Nonlinear paired regression models in the econometrics course. *Modern problems of science and education*. 2018. No 4. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=27855> (date of access 10.12.2019). (In Rus)
4. Benc D.S. Modelling of environmental and economic efficiency: A case of the Ural region. *Journal of new economy*. 2019. Vol. 20. No 4. P. 70-87. DOI: 10.29141/2073-1019-2019-20-4-4. (In Rus)
5. Nevitsyn V. Yu., Labutin A.N., Volkova G.V., Korsakova N. Uh. Up- ravenie kontsentratsiy tselevogo produkta v khimicheskom reaktore s primeneniem nelineynogo robustnogo algoritma [Control of the concentration of the target product in a chemical reactor with application of nonlinear robust algorithm]. *Sbornik dokladov Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Naukoemkie tekhnologii i innovatsii» Sbornik trudov konferentsii"* [Collection of reports of the International scientific and practical conference "knowledge-Intensive technologies and innovations", Belgorod, April 29, 2019]. Belgorod, 2019. Pt. 10. Pp. 89-93. (In Rus)
6. Van Roosbroeck W. Injected current transport in semi infinite semiconductor and determination of lifetimes and surface recombination velocities. *J. Appl. Phys.* 1955. Vol. 26. No. 1. Pp. 380-387.
7. Micheev N.N., Nikonorov I.M., Petrov V.I., Stepovich M.A. Opredelenie elektrofizicheskikh parametrov poluprovodnikov v rastrovom elektronnom mikroskope metodami navedennogo toka i katodoluminestsentsii [Determination of electrophysical parameters of semiconductors in a scanning electron microscope by methods of induced current and cathodoluminescence]. *Izvestiya AN SSSR. Seriya fizicheskaya* [Izvestia of the USSR Academy of Sciences. A series of physical]. 1990. Vol. 54. No 2. Pp. 274-280. (In Rus)
8. Bard Y. *Nonlinear parameter estimation*. New York etc.: Academic Press, 1974. 341 p.
9. Demidenko E.Z. *Lineynaya i nelineynaya regressiya* [Linear and nonlinear regression]. Moscow: Finans i Statistika, 1981. 302 p. (In Rus)
10. Ermakov S.M., Zhiglyavskiy A.A. *Matematicheskaya teoriya optimal'nogo eksperimenta* [Mathematical theory of optimal experiment]. Moscow: Nauka, 1987. 319 p. (In Rus)
11. Ayvazyan I.S., Enyukov I.S., Meshalkin L.D. *Prikladnaya statistika: issledovanie zavisimostey* [Applied statistics: research of dependences]. Moscow: Nauka. 1985. 487 p. (In Rus)
12. K. Hardle W. *Applied nonparametric regression*. Cambridge: Cambridge University Press, 1990. 333 p.
13. Shurygin A.M. *Prikladnaya stokhastika: robustnost', otsenivanie, prognoz* [Applied stochastics: robustness, estimation, forecast]. Moscow: Finansy i statistika, 2000. 224 p. (In Rus)
14. Seber G.A.F., Wild C.J. *Nonlinear regression*. New York etc.: John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, 1989. XX. 768 p.
15. Jureckova J., Sen P., Picek J. *Methodology in robust and nonparametric statistics*. Boca Raton; London; New York: CRC Press, 2013. 394 p.
16. Linke Yu. Yu., Borisov I.S. Constructing explicit estimators in nonlinear regression problems. *Theory of Probability and its Applications*. 2018. Vol. 63. No. 1. Pp. 29-56. (In Rus)
17. Getmanskaya I.V. Consistent Parameter Estimate for One-parameter Paired Regression. *Herald of the Bauman Moscow State Technical University. Series Natural Sciences*. 2006. No 3. Pp. 3-11. (In Rus)
18. Getmanskaya I.V. Optimizatsiya nelineynogo nesmeshchennogo otsenivaniya parametricheskoy regressii [Optimization of nonlinear unbiased estimation of parametric regression]. *Sbornik statey po materialam XXXVII mezhdunarodnoy zaochnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Nauchnaya diskussiya: voprosy matematiki, fiziki, khimii, biologii"* [Collection of articles based on the materials of the XXXVII international correspondence scientific and practical conference "Scientific discussion: questions of mathematics, physics, chemistry, biology"]. Moscow: Internauka, 2016. No. 2(30). Pp. 24-36. (In Rus)
19. Orlov A.I. Statistical simulations method in applied statistics. *Industrial Laboratory. Zavodskaya laboratoriya. Diagnostika materialov* [Industrial Laboratory. Diagnostics of Materials]. 2019. Vol. 85. No. 5. Pp. 67-79. DOI: 10.26896/1028-6861-2019-85-5-67-79 (In Rus)
20. Dolgov A.S., Levchenko M.M., Levchenko M.A. Unconventional methods of approximation of measurement results in automation of aircraft strength tests. *Instruments and Systems: Monitoring, Control, and Diagnostics*. 2018. No 11. Pp. 1-6. (In Rus)

INFORMATION ABOUT AUTHOR:

Getmanskaya I.V., PhD, Associate Professor of the Moscow technical University of communications and Informatics.



doi: 10.36724/2409-5419-2020-12-3-63-76

СОСТОЯНИЕ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ПЕРСПЕКТИВЕ РАЗВИТИЯ СРЕДСТВ ДОСТАВКИ НОСИТЕЛЕЙ СВЕДЕНИЙ ОГРАНИЧЕННОГО ДОСТУПА

МИРОШНИЧЕНКО
Евгений Леонидович¹

НОВОЖИЛОВ
Артем Сергеевич²

ВОЛКОВА
Альбина Александровна³

БУЛАВКИН
Александр Анатольевич⁴

АННОТАЦИЯ

Объект исследования – защита информации от несанкционированного доступа. *Предмет исследования* – средства защиты перевозимой информации от угрозы компрометации при доставке нарочным. *Цель исследования* – выработка предложений по совершенствованию средств доставки носителей сведений ограниченного доступа нарочными в Вооруженных Силах Российской Федерации. *Методология исследования* основывается на моделировании ситуаций перевозки носителей информации и системном подходе к методам и средствам защиты носителей составляющих государственную тайну. Обозначены предложения по совершенствованию средств доставки носителей сведений ограниченного доступа, в сущности двух перспективных направлений исследования. Во-первых, в разработке и внедрении в войска автоматизированной системы перевозки для имеющихся на сегодняшний день типов носителей информации ограниченного доступа. Во-вторых, в разработке и замене имеющихся на сегодняшний день типов носителей информации на изготовленные из саморазрушающихся при определенных условиях материалов. Проведен анализ технических решений для автоматизированной системы перевозки, в результате, которого определено универсальное средство уничтожения - горючая смесь, обеспечивающая реакцию горения по типу самораспространяющегося высокотемпературного синтеза, обосновано применение композитных жаропрочных материалов для защиты окружающей среды и нарочного в процессе уничтожения. Обозначены технические средства регистрации параметров, опосредовано характеризующих наличие факторов угрозы доставки. Определены основные рабочие элементы модели «СПУД», разработан демонстрационный образец спецхранилища системы и проведены практические испытания, результат которых подтверждает рациональность подходов в разработке и проектировании сущности системы. Областью применения разрабатываемого средства доставки могут быть специальные подразделения Вооруженных Сил Российской Федерации, обеспечивающие доставку носителей сведений ограниченного доступа, подразделения службы защиты государственной тайны всех видов войск, Федеральная служба охраны, Федеральная служба безопасности, Государственная фельдъегерская служба Российской Федерации, службы безопасности банков и частных фирм.

Сведения об авторах:

¹начальник научно-исследовательского центра Краснодарского высшего военного училища имени генерала армии С.М. Штеменко, г. Краснодар, Россия, mirash-mel@mail.ru

²младший научный сотрудник научно-исследовательского центра Краснодарского высшего военного училища имени генерала армии С.М. Штеменко, г. Краснодар, Россия, novozhilov-artem@bk.ru

³к.с.-х.н., старший научный сотрудник научно-исследовательского центра Краснодарского высшего военного училища имени генерала армии С.М. Штеменко, г. Краснодар, Россия, valbina@inbox.ru

⁴г. Краснодар, Россия, bu.alek@yandex.ru

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: доставка носителей информации; спецхранилище; нарочный; факторы угрозы; компрометация; автоматизированная система.

Для цитирования: Мирошниченко Е. Л., Новожилов А.С., Волкова А.А., Булавкин А.А. Состояние и предложения по перспективе развития средств доставки носителей сведений ограниченного доступа // Научное издание «Информатика, компьютерное инженерное и контрольное обеспечение безопасности». 2020. Т. 12. № 3. С. 63-76. doi: 10.36724/2409-5419-2020-12-3-63-76

Введение

Актуальность исследования продиктована несовершенством средств и способов доставки носителей сведений ограниченного доступа нарочными, что в свою очередь способствует развитию действий, приводящих к компрометации перевозимых носителей. Информация, защищаемая государством, всегда была и остается одним из важнейших объектов, интересующих многих военных специалистов и ученых, деятельность которых направлена на совершенствование и разработку новых подходов по ее защите.

Поэтому целью исследования данной статьи является выработка предложений по совершенствованию средств доставки носителей сведений, составляющих государственную тайну нарочными в Вооруженных Силах Российской Федерации (ВС РФ).

Объектом исследования является обеспечение защиты информации от несанкционированного доступа (НСД).

Предметом исследования является обеспечение защиты информации от НСД при доставке в спецхранилище нарочным.

Задачи исследования направлены на достижение теоретических и практических результатов в области проектирования и разработки новых средств доставки носителей информации, что создает фундамент для проведения исследований в области перспективных направлений по совершенствованию не только в средств доставки, но и также методов ее осуществления.

Результаты выполненной работы предполагают осуществить переход доставки НССГТ на автоматизированный уровень за счет изученных материалов и выведенными предложениями по совершенствованию средств доставки носителей информации.

1. Состояние и проблемные вопросы развития средств доставки носителей сведений ограниченного доступа

1.1 Средства и способы доставки носителей сведений ограниченного доступа

На сегодняшний день доставка носителей сведений составляющих государственную тайну (далее НССГТ) в Вооружённых Сил Российской Федерации (далее ВС РФ) руководствуется положениями утвержденных инструкций, следование которым позволяет исключить компрометацию носителей информации.

Под спецхранилищем для перевозки подразумевается печатываемый контейнер, папка, ящик, тубус, конверт и т. п., доставляемый одним или двумя нарочными в сопровождении вооруженной охраны, и в основном, представляют собой печатываемые металлические шкапулки или ящики размерами средних и больших размеров с массой от 10 до 15 кг. Практически все они не эргономичны и плохо приспособлены для переноски; имеют не эффективные

и не современные средства закрывания и опломбирования, что не соответствует современным условиям выполнения боевых задач.

Передача НССГТ осуществляется по разносным книгам, распискам, реестрам под личную роспись доставляющего и принимающего, заверенные печатью, с проставлением даты и времени получения корреспонденции¹. Нарочные осуществляют доставку НССГТ с привлечением вооруженной охраны и обеспечиваются специальным транспортом, либо отдельным купе вагона поезда, эти меры в свою очередь демаскирует перевозку, а также как показывает практика, не всегда применимы при решении определенных задач, а также не целесообразны с экономической точки зрения. Похожий подход в осуществлении доставки НССГТ применяется в странах бывшего СНГ²³.

1.2 Факторы угрозы доставки и способы противодействия им; вариант решения

Выделяют много угроз безопасности информации, однако главной угрозой, относящейся к доставке НССГТ, является ее компрометация, как логическое завершение последовательности событий и действий, которые способствовали возникновению и развитию данной угрозы. Все эти события и действия можно условно разделить на факторы, которые приводят к главной угрозе — компрометации, или сокращенно факторы угрозы.

Мы выделяем следующие пять факторов угрозы [1]:

- 1) Фактор угрозы № 1 — открытое нападение на нарочного, угрожающее его жизни и сохранности перевозимого содержимого.
- 2) Фактор угрозы № 2 — похищение спецхранилища посторонним лицом, самим нарочным или его утеря.
- 3) Фактор угрозы № 3 — несанкционированное вскрытие спецхранилища через грубое воздействие.
- 4) Фактор угрозы № 4 — потеря сознания у нарочного.
- 5) Фактор угрозы № 5 — смерть нарочного.

Предупреждение и противодействие указанным факторам угрозы осуществляется:

- организационными мерами по изоляции действий связанных с доставкой от окружающей ее обстановки (спецтранспорт, отдельное купе);
- возможностями и силами самого нарочного, а также вооруженной охраны, которые гарантируют надежность доставки.

¹Оформление, адресование и отправка исходящих СД // Публичная Электронная Библиотека. URL: https://studopedia.ru/10_120627_oformlenie-adresovanie-i-otpravka-ishodyashchih-sd.html (дата обращения 10.09.2019).

²Приказ Министерства обороны Республики Беларусь от 08.04.2002 N8 «Об утверждении Инструкции по делопроизводству в Вооруженных Силах Республики Беларусь» // Публичная Электронная Библиотека. URL: <http://levonevski.net/pravo/norm2009/num32/d32677/index.html> (дата обращения 10.09.2019)

³Постановление Правительства Эстонской Республики от 30.05.1995 N220 «Утверждение порядка охраны государственной тайны» // Публичная Электронная Библиотека. URL: http://estonia.news-city.info/docs/sistemstr/dok_ierhzz/page2.html (дата обращения 10.09.2019)



Таким образом, практическая задача по защите перевозимых носителей от НСД при возможных факторах угрозы полностью зависит от человеческого фактора. Учитывая современное развитие техники, действия нарочного и вооруженной охраны, направленные на нейтрализацию различных факторов угрозы при защите перевозимых НССГТ, являются неоправданными.

Опираясь на вышесказанное, существует необходимость оснащения специализированных подразделений ВС РФ современным спецхранилищем для перевозки НССГТ, оборудованным техническими средствами, позволяющими автоматизировано предупреждать различные факторы угрозы доставки; а также принимать решение по противодействию угрозе компрометации НССГТ, как с участием нарочного (посредством его команды), так и самостоятельно (посредством уникального алгоритма работы).

Такой подход к решению данной проблемы позволит:

- автоматизировать процесс доставки НССГТ;
- обеспечить объективность принятия решения по защите перевозимых НССГТ от НСД введу автоматического получения и обработки параметров, характеризующих факторы угрозы доставки за счет работы технических средств (ТС);
- способствовать переходу специальных подразделений на более совершенный уровень осуществления доставки НССГТ, что в свою очередь приведет к корректировки основных положений руководящих документов;
- снять ответственность за перевозимое содержимое с нарочного, что в свою очередь позволит исключить из процесса доставки понятие «защитить ценой своей жизни».

1.3 Прототипы и аналоги спецхранилищ для перевозки ценностей

На данный момент времени в ВС РФ нет информации о существовании спецхранилищ, оборудованных ТС, опосредованного определения различных факторов угрозы доставки и средством противодействия ей, но в гражданской сфере уже давно используются такие спецхранилища. Используемые технические средства в таких устройствах позволяют снижать вероятность возникновения угрозы компрометации содержимого спецхранилища при возникновении определенных ее факторов, при этом исключение компрометации содержимого в этих устройствах реализуется методами:

- уничтожения (деструкции) материалов носителей информации;
- физического стирания информации с записывающих устройств носителей информации;
- обесценивания содержимого.

Такие методы, как показывает практика, является надежными и эффективными, если они происходят в течение короткого промежутка времени.

Метод деструкции материала носителя в переносных устройствах хранения информации был предложен ещё Леонардо да Винчи, в изобретении под названием «Криптекс», открыть которое возможно только с помощью кодовой комбинации, составленной из букв на вращающихся дисках. Уникальность изобретения заключается в хрупкой капсуле с уксусной кислотой, которая разбивается при грубом вскрытии и растворяет хранимый носитель⁴.

Современными примерами подобных устройств являются: отечественное переносное спецхранилище «Б-50 ПК» и «Б-100 ПК», обеспечивающие перевозку бумажных НССГТ формата А4 или флоппи-дисков и экстренного их сжигания при возникновении угрозы посредством нажатия курьером на экстренную кнопку.

Метод физического стирания информации с записывающих устройств носителей информации реализован технически в устройствах для перевозки и уничтожения информации на магнитных носителях (HHD и SSD): «Информационный сейф «МАГМА-2», «Система уничтожения информации «РАСКАТ», «Кейс для транспортировки носителей информации «ТЕНЬ-У», «Устройство уничтожения информации с магнитных носителей «Прибой К700»⁵. Принцип уничтожения информации в них основан на использование физическом процессе перестройки структуры магнитного материала рабочих поверхностей записывающего устройства носителя за счет магнитного воздействия.

Следующий рассматриваемый тип устройств используется в банковской сфере: умный кейс — Smart Case 5000, VCC Euro Case и его более современная версия с увеличенным объемом емкости хранения Smart Case Euro 7000, разработанные швейцарской компанией VILLIGER Security Solution AG⁶, они представляют собой спецхранилища для перевозки инкассаторами денежных средств. Эти устройства оборудованы датчиком геоположения, экстренной кнопки, а также техническим средством (далее ТС) для защиты от «грубого» вскрытия. Эти устройства обесценивают перевозимое содержимое путем разбрызгивания перманентной краски на денежные купюры, ценные бумаги.

Уникальным техническим решением в защите устройства от несанкционированного вскрытия корпуса является многосетчатая структура электрических проводников, располагающихся внутри корпуса, электрические параметры которой регистрируются компьютеризированное устройство. При прорыве оболочки корпуса происхо-

⁴ Криптекс — изобретение да Винчи // Публичная Электронная Библиотека. URL: <https://vilinstore.net/Kripteksizobretenie-Da-Vinchi-i25088.html> (дата обращения 10.09.2019).

⁵ Техника для спецслужб. Средства экстренного уничтожения информации // Публичная Электронная Библиотека. URL: <http://www.bnti.ru> (дата обращения 10.09.2019).

⁶ Кейсы для перевозки банкнот инкассаторами Smart Case 5000 и Smart Case Euro 7000 // Публичная Электронная Библиотека. URL: <http://www.villiger-security.com/en/products/cit> (дата обращения 10.09.2019).

дит обрыв электрических проводников, вследствие чего подается сигнал тревоги. Наряду с многосетчатой структурой возможны варианты применения различных датчиков: датчик температуры, удара, наклона и т. д. (рис. 1) [2–4].

Сравнительная характеристика вышеописанных спецустройств приведена в табл. 1.

2. Предложения по перспективе развития средств доставки носителей сведений ограниченного доступа

Приведенные как пример устройства, возможно, применять в специальных подразделениях ВС РФ для перевозки НССГТ нарочными, соблюдая определенные условия:

- 1) Спецхранилище должно удовлетворять условиям перевозки всех типов перевозимых НССГТ.
- 2) НССГТ при угрозе их компрометации должны уничтожаться без возможности восстановления.
- 3) Активация запуска уничтожения перевозимого НССГТ должна производиться как по команде нарочного, так и автоматически без его участия.
- 4) В алгоритме работы устройства должна быть предусмотрена защита от ложного срабатывания.

5) Должны применяться готовые комплексные технические решения, позволяющие минимизировать количество датчиков для анализа и работы спецхранилища, чтобы сделать устройство наиболее простым в изготовлении и в обращении.

Выполнение этих условий позволит применять данные устройства для осуществления нарочными доставки существующих типов НССГТ (бумажные документы, машинные носители информации, ноутбуки, флэшки и т. д.).

Стоит дополнить, что исследования по совершенствованию средств доставки может производиться наряду с исследованиями по совершенствованию и типов носителей информации в ключе проработки вопроса о возможности замены существующих типов НССГТ на новые типы носителей, изготовленных из специальных материалов с саморазрушающейся структурой в определенных условиях. Такие материалы могут растворяться в воде или разрушаться в менее агрессивных средах, по сравнению со стандартными типами носителей информации.

Так в перспективе замене будут подлежать все аналоговые носители, такие как бумажные книги, документы, карты и т. п., а также пластиковые перфорированные ключи и оптические носители — CD- и DVD-диски.



Рис. 1. Спецхранилища для перевозки ценностей

Таблица 1

Сравнительная характеристика спецхранилищ для перевозки ценностей

Наименование	Область применения	Разрушающие вещество	Достоинства	Недостатки	Стоимость	Противодействие факторам угрозы
«Б-50 ПК» «Б-100 ПК»	Скрытная перевозка бумажных носителей информации	Горючая смесь	маскировка процесса уничтожения;	медленная скорость уничтожения (до 5 мин.) ручная активация (с помощью кнопки); подходит только для бумажных носителей; большой вес (9,5 кг.)	Снят с производства (стоимость на 2006 г. 100–150 тыс. руб.)	Обеспечивает защиту от факторов угроз № 1,2 Не обеспечивает защиту от факторов угрозы № 3,4,5,
«МАГМА-2» «РАСКАТ» «ТЕНЬ-У» «ПРИБОЙ К700»	Скрытная перевозка магнитных носителей информации	Магнитный импульс	маскировка процесса уничтожения; скорость уничтожения (0,5–8 сек.); низкая стоимость; малый вес (3–5 кг.);	подходит только для магнитных носителей; ручная активация (с помощью кнопки); малая вместимость;	Стоимость на 2006 г. 50–100 тыс. руб. в зависимости от количества перевозимых ЖМД (1-3)	Обеспечивает защиту от факторов угроз № 1,2 Не обеспечивает защиту от факторов угрозы № 3,4,5,
Smart Case 5000 VCC Euro Case Smart Case Euro 7000	Перевозка денежных банкнот и ценных бумаг	Перманентная краска	ручная и автоматическая активация (при попытке механического взлома); быстрая скорость срабатывания (0,1 сек.); большая вместимость;	подходит только для банкнот и ценных бумаг; большой вес (10–15 кг.); высокая стоимость	Стоимость 250–350 тыс. руб.	Обеспечивает защиту от факторов угрозы № 1, 2, 3 Не обеспечивает защиту от факторов угрозы № 4, 5

Как пример, на кораблях и подводных лодках Военно-морского флота Российской Федерации и в местах, где по каким-либо причинам невозможно произвести уничтожение термическим методом (сжиганием) — возможно применение носителей, напечатанных водорастворимыми чернилами на водорастворимой бумаге. Другим примером является пропитка листов бумаги книг и иных документов раствором перманганата калия с последующей просушкой, так как такие листы бумаги сгорают быстрее, чем обычно⁷.

Особенностью выбранного направления совершенствования носителей информации является то, что при их изготовлении необходимо использовать саморазлагающиеся материалы и при этом среда для уничтожения данных типов носителей будет менее агрессивной, чем среда для уничтожения носителей, изготовленных из стандартных материалов.

У этого направления есть и свои недостатки: недолговечность носителей, особые условия их эксплуатации, финансовые затраты на разработку, производство и замену имеющихся НССГТ.

Таким образом, перспектива совершенствования средств доставки НССГТ нарочными нами видится в проведении двух параллельных исследований:

– исследовании развития и внедрения в войска автоматизированной системы перевозки для имеющихся на сегодняшний день типов НССГТ;

– исследования развития и замены, имеющихся на сегодняшний день типов НССГТ в войсках на новые НССГТ, изготовленные из материалов с саморазрушающейся структурой.

Далее рассмотрим важные аспекты в проектировании устройства автоматизированного спецхранилища для разработки автоматизированной системы перевозки.

3. Выбор технических решений для автоматизированной системы перевозки НССГТ

3.1 Определение универсального средства экстренного уничтожения НССГТ

Для выбора технических решений автоматизированной системы перевозки НССГТ важным является определение универсальных способа и средств уничтожения перевозимых носителей.

Ниже представлена информация (табл. 2) по регламентированным способам уничтожения различных типов перевозимых НССГТ как в ВС РФ, так и за границей⁸.

⁷Information Security Program // Department of the Navy. 2006. 289 p.
⁸Manual DoDM 5200.01-V3. Information Security Program: Marking of Classified // Department of Defense. 2012. 117 p.

Таблица 2

Типы перевозимых НССГТ и способы их экстренного уничтожения

Наименование		Регламентированные способы уничтожения в ВС РФ
Аналоговые носители ССГТ	Бумажные носители (книги, документы карты и т.п.)	шредирование (измельчение); термический метод; затопление (ВМФ РФ);
	Пластиковые перфорированные носители (шифровальные блокноты)	шредирование (измельчение); термический метод; шредирование (измельчение) с последующим затоплением (ВМФ РФ);
Цифровые носители ССГТ	Магнитные носители (HHD- или SSD-диски гибкие жесткие диски, магнитная лента, флоппи-диски др.)	программные (перезапись); механическое воздействие (измельчение); пиротехнический способ (с помощью взрыва); термический (доведение до точки Кюри); физические (разрушение магнитного слоя диска с помощью магнитного воздействия);
	Оптические носители (CD-R, DVD-R, DVD-RW, DVD-RAM и др.)	шредирование (измельчение); термический метод (сжигание); шредирование (измельчение) с последующим затоплением (ВМФ РФ); пиротехнический способ (с помощью взрыва);
	Электронные носители (USB-Flash накопители, карты памяти и др.)	шредирование (измельчение); термический метод (сжигание); шредирование (измельчение) с последующим затоплением (ВМФ РФ); пиротехнический способ (с помощью взрыва);
	Технические устройства (ноутбуки, смартфоны и другая специальная техника малых габаритов)	механическое воздействие (измельчение); пиротехнический способ (с помощью взрыва); термический (доведение до точки Кюри); физические (разрушение магнитного слоя диска с помощью магнитного воздействия);

Еще одним надежным методом уничтожения носителей информации, но не используемым в ВС РФ и не представленном соответственно в табл. 2, является химический метод, подразделяемый на растворение и химическую реакцию.

В процессе растворения компоненты носителя информации помещают в раствор с химическим растворителем. В этом процессе ни растворитель, ни твердые компоненты не изменяются химически, когда как физическая форма, ориентация и другие свойства составляющих носителя информации необратимо изменяются. Примером разрушения путем растворения является воздействие на органическую связующую составляющую дисперсных носителей магнитной записи растворителя, такого как тетрагидрофуран.

Метод химической реакции используется для уничтожения носителей информации, путем изменения химического состава веществ уничтожителя и носителя информации. Примером такой химической реакции является коррозия металла кислотой.

Важным условием для желаемого разрушительного воздействия химическими методами является непосредственный контакт химического вещества и носителя информации, поскольку физическая структура носителя информации может создавать препятствия, для попадания

химических веществ на него. Например, дискеты размещаются в защитных кожухах, HHD-диски устанавливаются внутри герметично закрытых контейнеров, а бумага хранится в стопках, в результате чего полное уничтожение может занять значительное время [5].

Термический метод уничтожения информации является самым надежным и распространенным и основан на двух принципах.

1. Принцип физической деструкции носителя информации (полного изменения физического состояния носителя).

2. Принцип теплового воздействия — быстрый нагрев до точки Кюри. При таком воздействии физическая деструкция материала носителя информации может не происходить или происходить в незначительной степени — такой метод подходит для полупроводниковых и магнитных запоминающих устройств.

Термический метод обеспечивает деструкцию бумажных носителей информации (документов, книг и т.д.) при соблюдении ряда условий таких, как не плотноупакованные стопки листов бумаги с ограниченным количеством страниц и наличие дополнительного источника окислителя [5]⁹.

⁹ Shinn L. E. Emergency Destruction of Documents // Публичная Электронная Библиотека. URL: <https://www.nsa.gov/Portals/70/documents/news-features/declassified-documents/tech-journals/emergency-destruction.pdf> (дата обращения 10.09.2019).



Деструкция бумаги зависит от ее состава и происходит при температуре 450–550 °C¹⁰. Основными продуктами горения являются углекислый газ и вода.

Для уничтожения аналоговых пластиковых носителей информации таких как, шифр-блочки, а также оптических носителей информации (CD-R и DVD-R — дисков), термический метод наиболее подходит вследствие деструкции материалов этих носителей информации в условиях бескислородной среды, при температуре 250–350 °C.

Для магнитных носителей, таких как HDD, SSD, USB-Flash накопителей, ноутбуков, смартфонов и другой специальной техники малых габаритов термический метод уничтожения может оказывать двойное воздействие в зависимости от толщины корпусов элементов записывающих устройств, а именно это деструкция носителей или физическое изменение слоя магнитной записи (нагрев до точки Кюри). При первом варианте температура воздействия будет выше и задается составом и конструктивными особенностями типов НССГТ.

Ниже приведена сводная таблица (табл. 3) о примерном составе запоминающих устройств типов НССГТ и температурных условиях уничтожения, а также указаны возможные продукты горения, которые подлежат фильтрации (в скобках маркировка состава комбинированного фильтра)^{11,12,13}.

Для выбора универсального средства экстренного уничтожения НССГТ в спецхранилищах необходимо учитывать следующие условия:

- 1) Температура горения внутри спецхранилища должна составлять не менее 1500 °C, как гарантия деструкции любых типов НССГТ;
- 2) Температура горения внутри спецхранилища оставаться на заданном значении температуры не менее 1500 °C в течение времени достаточного для деструкции различных типов НССГТ с учетом их конструктивных особенностей;
- 3) Химический состав универсального средства экстренного уничтожения НССГТ должен подбираться с учетом химического состава элементов НССГТ («инертность средства уничтожения»);
- 4) Процесс горения универсального средства экстренного уничтожения НССГТ должен выделять минимальное количество продуктов горения;

5) Защита нарочного и окружающей среды в процессе уничтожения должна обеспечиваться за счет термозащитной оболочки, изготовленной из материала с жаропрочностью выше 1500 °C;

6) Взаимодействие материала термозащитной оболочки с химическими элементами средства уничтожения в результате процесса горения должно быть исключено, либо в результате их взаимодействия должно выделяться минимальное количество вредных продуктов;

7) Средство уничтожения по его эксплуатационным характеристикам должно отвечать требованиям безопасности, безотказностью работы и должно обладать продолжительным сроком хранения.

Заданным условиям удовлетворяют горючие смеси, обеспечивающие процесс горения по типу реакции самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС-реакция). Они подразделяются на четыре основных класса: системы металлотермического типа, безгазовые системы, газовыделяющие системы и фильтрационные системы. В качестве средства уничтожения НССГТ можно использовать первые два класса¹⁴.

К ним относится большая категория горючих смесей (СВС-смесей), компонентами которой являются металлы и металлоиды, а также их оксиды.

СВС-реакции могут проходить в бескислородной среде и обеспечивать температуру горения от 1300 °C до 3000 °C и более. Компоненты СВС-смесей можно подобрать с учетом «инертности» взаимодействия с элементами различных типов НССГТ и материалом термозащитной оболочки. Продолжительность реакции горения можно варьировать в выбранном диапазоне для обеспечения полного уничтожения носителей информации¹⁵.

Данные характеристики СВС-смесей позволяют подробнее изучить вопрос в аспекте их применения для изготовления универсального средства экстренного уничтожения НССГТ в спецхранилищах для перевозки.

Еще одним фактором определяющим выбор СВС-смесей в качестве универсального средства уничтожения НССГТ является бурное протекание реакции синтеза с выделением шлака, что обеспечивает дополнительную гарантию уничтожения носителей информации.

3.2 Термозащитная оболочка спецхранилища

Материал термозащитной оболочки должен обеспечивать кратковременную жаропрочность от 1500°C и более. В качестве материала термозащитной оболочки можно рассматривать: жаропрочные металлические сплавы и жа-

¹⁰ Девисилов В. А. Теория горения и взрыва // Практикум: учебное пособие. М.: ФОРУМ, 2012. 352 с.

¹¹ Виды бумаги // Публичная Электронная Библиотека. URL: <https://www.ikirov.ru/news/1765-cto-takoe-vidy-bumagi> (дата обращения 10.09.2019).

¹² Оптические носители информации (CD/DVD/Blu-ray) // Публичная Электронная Библиотека. URL: <https://pc4me.ru/opticheskie-nositeli-informatsii-cd-dvd-blu-ray.html#i-3> (дата обращения 10.09.2019).

¹³ Современные магнитные носители информации. Устройства магнитной записи и воспроизведения. Магнитооптические носители информации // Публичная Электронная Библиотека. URL: <http://danp.sinp.msu.ru/MagNanoS/L14.pdf> (дата обращения 10.09.2019).

¹⁴ Боборыкин С. Н., Рыжиков С. С. Термохимическое уничтожение носителей информации // Бюро научно-технической информации URL: <http://www.bnti.ru/showart.asp?aid=528&lvl=04.04> (дата обращения 15.09.2019).

¹⁵ Рогачев А.С., Мукасян А.С. Горение для синтеза материалов: введение в структурную макрокинетику. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2012. 400 с.

Таблица 3

Состав, температурные условия уничтожения и продукты горения носителей информации

Наименование типа НССГТ	Запоминающие устройства	Примерный состав	Температура горения или точка Кюри	Вредные продукты горения, которые подлежат фильтрации
Книги, документы, карты	Аналоговая запись	Волокна растительного происхождения (древесина), целлюлоза, красители.	Горение от источника огня - 250°C Деструкция при 450-550°C	Углекислый газ (угольный фильтр);
Пластиковые перфорированные носители, шифровальные блокноты	Аналоговая запись	Полимерные материалы.	Деструкция при 250-350°C	- акриламид (А+РЗ); - акриловая кислота (А); - оксид этилена (АХ); - перхлорэтилен (А); - плавиковая кислота (В+РЗ); - хлоропрен (АХ);
Оптические носители (CD-R DVD-R и др.)	Светочувствительные материалы	Полимерный материал, защитный лак, пленки никеля или алюминия, серебра, золота.	Деструкция полимерного материала при 300-400°C	
Магнитные носители USB-Flash накопители Ноутбуки, смартфоны и другая специальная техника малых габаритов	Полупроводниковые запоминающие устройства (RAM, ROM, PRROM, EPRROM, EEPROM и др.)	Пластиковые и металлические (алюминиевые и стальные) корпуса изделий; кремниевые платы, на которых расположены запоминающие устройства из полупроводников окисей металлов; нихромовые, металлические или поликремниевые проводники; диоды. В составе устройств могут находиться литиевые и никель-кадмиевые аккумуляторные батареи; ЖК-дисплеи экранов (кремний, пластик)	от 200°C до 1500°C	- азотная кислота (В); - аммиак (К); - ацетальдегид (АХ); - ацетилхлорид (В); - банзальдегид (А); - барий (РЗ); - диоксид кремния (РЗ); - дисульфид углерода (АХ); - кобальт (пыль и дым) (РЗ); - марганец (РЗ); - медь (РЗ); - метиламин (К); - метилбромид (АХ); - нитрат серебра (РЗ); - оксид алюминия (РЗ); - оксид железа (РЗ); - ртуть (пар) (Hg-РЗ); - свинец (пыль и дым) (РЗ); - фенол (А+РЗ); - формальдегид (В).
	Магнитные запоминающие устройства (HHD, SSD-носители и др.)	Тонкий металлический корпус; Диски с записанной информацией примерный состав которых: - гамма-оксид железа; - кобальт, модифицированный гамма оксидом железа; - диоксид хрома; - феррит бария; - сталь.	t плавления - 1500°C t. Кюри 590°C; t. Кюри 525°C; t. Кюри 117°C; t. Кюри 450°C; t. Кюри 770°C.	



жаропрочные покрытия к ним или композитные жаропрочные материалы на полимерных и металлических основах.

Жаропрочные сплавы металлов марок: ЭИ652, ЭИ435, ЭК109, ЭП886, ЭИ867, ЭП109 — применяются в авиации и выдерживают рабочую температурную нагрузку от 1000°C до 1200°C и кратковременную до 1400–1500 °C¹⁶.

Композиционные сплавы металлов на основе моноалюминида никеля, упрочненного частицами оксидов алюминия, скандия, иттрия, лантана обладают высокими жаропрочностными характеристиками и выдерживают температуру вплоть до 1500 °C [6], а молибденовые сплавы до 1500–1700 °C и кратковременный параметр жаропрочности до 2000 °C.

Существует возможность увеличить параметр кратковременной жаропрочности таких материалов за счет нанесения на них жаропрочных покрытий, таких как: оксиды, силициды, бориды, нитриды или карбиды неорганических соединений или металлов с высокой температурой плавления, например: карбид титана или хрома; нитрид или карбонитрид титана, оксид алюминия, вольфрама и другие¹⁶ [7, 8].

¹⁶Авиационные материалы справочник в девяти томах. / Том 3. Жаропрочные стали и сплавы. Сплавы на основе тугоплавких металлов. Часть 1. Деформируемые жаропрочные стали и сплавы: под ред. Р.Е. Шалина. М.: ОНТИ. 1989. 452 с.

¹⁷Солнцев С. С. Защитные покрытия металлов при нагреве: Справочное пособие. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. 248 с.

Композитные жаропрочные покрытия, представляют собой материалы на основе силикатных, высококремнеземных, кварцевых и других стекол, оксидной и бескислородной керамики, углеродостеклокерамические композиты, стеклокерамические, реакционно-отверждаемы и окситермогенные покрытия, а также керамические материалы.

Они обладают параметром жаропрочности до 2000°C, что является основным условием при выборе материала для изготовления термозащитной оболочки. Примеры таких композитных материалов являются соединения карбидов и силикатов кремния, молибдена, титана, ванадия, гафния, обеспечивающих жаропрочность в 1800–1900 °C¹⁸ [11–13].

3.3 Технические средства (ТС) автоматизированного контроля и предупреждения факторов угрозы

Подробно об обосновании выбора технических средств и решений для автоматизированного контроля и предупреждения факторов угрозы доставки изложено в работе [1], обобщенная информация приведена в табл. 4.

¹⁸Авиационные материалы справочник в девяти томах / Том 7. Часть 1. Полимерные композиционные материалы: под ред. А. Т. Туманова. М.: ОНТИ. 1976. 235 с.

Таблица 4

Показатели, опосредовано характеризующие факторы угрозы доставки и технические решения для их регистрации

Опосредованные параметры факторов угрозы, воздействующие на нарочного			Опосредованные параметры факторов угрозы, не связанные с воздействием на нарочного	
Нападение на нарочного с целью хищения спецхранилища	Потеря сознания нарочного	Смерть нарочного	Хищение спецхранилища злоумышленником, самим нарочным или его утеря	Несанкционированное вскрытие оболочки спецхранилища
- учащение сердцебиения и дыхания, потливость, сужение сосудов; - повышение систолического давления; - повышение содержания кислорода в крови; - увеличению и уменьшению значений сигнала ЭКГ	- брадикардия (понижение ЧСС); - ортостатическое падение систолического давления; - снижение биоэлектрической активности скелетной мускулатуры	- прекращение работы сердца	- контроль местонахождения спецхранилища - контроль нахождения спецхранилища в заданной зоне вблизи нарочного; - контроль приема-передачи сигнала от датчиков, размещенных у нарочного	- параметры внутренней среды спецхранилища; - искусственные параметры оболочки спецхранилища
Технические средства и решения регистрации указанных параметров				
Физиологические датчики Техническое средство удаленного запуска			GPS-трекеры; Датчики удаленности	- датчики температуры, давления, освещенности. - многосетчатая структура электрических проводников внутри оболочки спецхранилища

4. Система перевозки и уничтожения документов «СПУД»

4.1 Модель системы перевозки и уничтожения документов «СПУД»

Модель системы перевозки и уничтожения документов (рис. 2) включает три основных элемента:

1) ТС, размещенные у нарочного и регистрирующие опосредованные параметры факторов угрозы, воздействующих на него:

- физиологические датчики;
- ТС контроля удаленности;
- ТС удаленного запуска.

2) Спецхранилище, с функциональными блоками:

- блок анализа;
- термозащитная оболочка;
- средство уничтожения;

и ТС, регистрирующие опосредованные параметры факторов угрозы, воздействующих на спецхранилище:

- ТС контроля несанкционированного вскрытия спецхранилища;
- ТС контроля маршрута доставки.

3) Диспетчерский пункт, контролирующей местонахождение системы.

Информация о взаимодействии функциональных блоков системы и об алгоритме работы представлены в научных материалах [1, 12] и патентах на изобретение и полезную модель [13, 14].

4.2 Демонстрационный образец спецхранилища СПУД

Демонстрационный образец спецхранилища СПУД, сконструированный в соответствии с моделью системы, общий вид которого представлен на рис. 3. Образец обладает техническими характеристиками и алгоритмом работы соответствующим сущности модели, описанной в публикации [1].

Демонстрационный образец выполнен на базе ударопрочного кейса со степенью защиты IP-68 и обладает высокими эргономическими и эксплуатационными характеристиками. Спецхранилище как основной элемент системы управляется через ноутбук, на котором размещена виртуальная платформа модуля управления спецхранилищем и виртуальный диспетчерский пункт.

Демонстрационный образец оборудован:

1) Физиологическим датчиком, регистрирующим физиологический параметр.

2) ТС контроля удаленности спецхранилища от нарочного в виде виртуального модуля управления и смартфона, выполняющего роль датчика.

3) ТС запуска средства уничтожения, выполненное в виде кнопки на поверхности спецхранилища.

4) Блоком анализа для управления всеми ТС спецхранилища.

5) ТС контроля несанкционированного вскрытия спецхранилища.



Рис. 2. Элементы системы перевозки и уничтожения документов «СПУД»



- 6) ТС контроля маршрута доставки.
- 7) Реле запуском средства уничтожения.
- 8) Аккумуляторной батареей (АКБ).
- 9) Термозащитной оболочкой, изготовленной из композитного материала.
- 10) Средством уничтожения, в состав которого входит СВС-смесь.
- 11) Средством фильтрации.

В качестве средства уничтожения была выбрана СВС-смесь с температурой горения в пределах 1400–1600°С. Для опытных испытаний в качестве уничтожаемых носителей информации были выбраны книга формата А5 в тонком переплете 50 страниц — 1 шт. и HDD-диск 2,5 дюйма — 1 шт.

В результате эксперимента было достигнуто:

- 1) Полное уничтожение за 20 секунд бумажного и магнитного носителей информации, без возможности восстановления информации.
- 2) Композитный материал термозащитной оболочки обеспечил полную защиту окружающей среды в процессе уничтожения.
- 3) Продукты сгорания нейтрализовались специальными фильтрами.

Общими выводами в результате практических испытаний демонстрационного образца спецхранилища системы является обоснованное направление в разработке и проектировании модели системы, что в свою очередь позволит достичь основной практической задачи исследования.

Заключение

В результате исследования были получены следующие положения, направленные на совершенствование средств доставки НССГТ в ВС РФ:

1) Основываясь на обзоре современного состояния развития средств доставки носителей сведений ограниченного доступа, были обозначены предложения по их совершенствованию, а именно:

- разработка и внедрение в войска автоматизированной системы перевозки для имеющихся на сегодняшний день типов НССГТ;
- разработка и замена имеющихся на сегодняшний день типов НССГТ в войсках на новые НССГТ, изготовленные из материалов с саморазрушающиеся при определенных условиях структурой.



Рис. 3. Общий вид демонстрационного образца системы СПУД

2) Проведен анализ технических решений для автоматизированной системы перевозки НССГТ, при котором:

- определен в качестве универсального средства уничтожения НССГТ — горючая смесь с типом СВС-реакции;
- для защиты окружающей среды и нарочного от процесса горения предложено применение композитных жаропрочных материалов;
- обозначены технические средства регистрации параметров, опосредовано характеризующих наличие факторов угрозы доставки.

3) Сформулированы основные рабочие элементы модели системы перевозки и уничтожения документов «СПУД».

4) Проведены испытания демонстрационного образца системы «СПУД», которые показывают рациональность подходов в разработке и проектировании сущности системы.

Областью применения разрабатываемого средства доставки могут быть специальные подразделения Вооруженных Сил Российской Федерации, обеспечивающие доставку носителей сведений ограниченного доступа, подразделения службы защиты государственной тайны всех видов войск, Федеральная служба охраны, Федеральная служба безопасности, Государственная фельдъегерская служба Российской Федерации, службы безопасности банков и частных фирм.

Литература

1. Булавкин А.А., Тимонов Д.А., Волкова А.А., Новожилов А.С. Система перевозки и уничтожения документов (СПУД) // Итоги науки. Выпуск 38. Избранные труды Всероссийской конференции по новым технологиям. М.: РАН, 2018. Гл. 4. С. 59–82.
2. Patent (EU) EP 1749285 B1. System and device for detecting object tampering / Kerr R. S., Tredwell T. J. Declared 27.05.2004. Published 07.02.2007. Bulletin № 2009/13. 12 p.
3. Patent (USA) US20040178880 A1. Secure cargo transport system / Meyer M., Zambre Y. Declared 14.03.2003. Published 16.09.2004. Bulletin № 10/387522. 15 p.

4. Patent (USA) US8717163 B2. System and method for monitoring a closed container / Easley L. G., Martin R. L. Declared 03.09.2003. Published 17.02.2011. Bulletin № 12/890492. 20 p.

5. Slusarczyk M. M. G., Mayfield W. T., Welke S. R. Emergency destruction of information storing media. Institute for Defense Analyses, 1987. 192 p.

6. Каблов Е. Н. Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года // Авиационные материалы и технологии. 2012. № 4. С. 7–17.

7. Ткаченко Л. А., Шаулов А. Ю., Берлин А. А. Защитные жаропрочные покрытия углеродных материалов // Неорганические материалы. 2012. Том 48. № 3. С. 261–271.

8. Будиновский С. А., Мубояджян С. А., Гаямов А. М., Степанова С. В. Ионно-плазменные жаростойкие покрытия с композиционным барьерным слоем для защиты от окисления сплава ЖС36-ВИ // МиТОМ. 2011. № 1. С. 34–40.

9. Campbell F. C. Structural composite materials. ASM International, 2010. 629 p.

10. Zmij V. I., Rubenkyi S. G., Shepelev A. G. Complex protective coatings for graphite and carbon-carbon composite materials // Materials Sciences and Applications. 2015. № 6. Pp. 879–888.

11. Mileiko S. T. Internal crystallization method to produce oxide fibres and heat resistant composites // Recrystallization in Materials Processing. IntechOpen, 2015. Pp. 125–168. URL: <https://www.intechopen.com/books/recrystallization-in-materials-processing/internal-crystallisation-method-to-produce-oxide-fibres-and-heat-resistant-composites> (дата обращения 20.10.2019)

12. Булавкин А.А., Волкова А.А., Живоглядова Л.В., Новожилов А.С. Система обеспечения безопасности транспортировки носителей конфиденциальной информации // Специальная техника. 2017. № 3. С. 27–30.

13. Патент РФ 2652557. Система перевозки и уничтожения документов (носителей информации) / Булавкин А.А., Волкова А.А., Новожилов А.С., Живоглядова Л.В. Заявл. 23.01.2017. Опубл. 26.04.2018. Бюл. № 12. 11 с.

14. Патент РФ 182977 U1. Хранилище для транспортировки носителей сведений с ограниченным доступом или денежных средств, оборудованное средством контроля целостности оболочки от несанкционированного доступа / Булавкин А.А., Волкова А.А., Новожилов А.С., Живоглядова Л.В. Заявл. 26.03.2018. Опубл. 06.09.2018. Бюл. № 25. 1 с.



STATUS AND PROPOSALS FOR THE FUTURE DEVELOPMENT OF DEVICES OF DELIVERY OF CARRIERS OF LIMITED ACCESS INFORMATION

EVGENY L. MIROSHNICHENKO

Krasnodar, Russia, mirash-mel@mail.ru

ARTEM S. NOVOZHILOV

Krasnodar, Russia, novozhilov-artem@bk.ru

ALBINA A. VOLKOVA

Krasnodar, Russia, valbina@inbox.ru

ALEXANDER A. BULAVKIN

Krasnodar, Russia, bu.alek@yandex.ru

KEYWORDS: delivery of carriers of information; special case; courier; factors of threats; compromise; automated system.

ABSTRACT

The object of research is to ensure the protection of information from unauthorized access. The subject of the study is to ensure the protection of information from the threat of compromise when delivered into the special case by courier. The purpose of the study is to develop proposals for improving the devices of delivery of carriers of information of limited access by courier in the Armed Forces of the Russian Federation. The methodology of research is based on modeling of situations of transportation of information carriers and a systematic approach to methods and means of protection of state secrets. Proposals were outlined to improve the means of delivery of carriers of limited access information, in fact two promising studies. The first area of research is the development and implementation of an automated system in the army of transportation of types of carriers of information of limited access that are used today in the army. The second direction of research is the development and replacement of types of carriers of information to the new ones made of materials with self-destructive structure under certain conditions. The analysis of technical solutions for the automated transportation system. It was determined a universal remedy for the destruction of carriers of information is a combustible mixture, providing the combustion reaction according to the type of self-propagating high-temperature synthesis. To protect the environment and courier from the combustion process justified the use of composite heat resistant materials. Technical means of recording parameters indirectly characterizing the presence of delivery threat factors were identified. The main working elements of the model of the system of transportation and destruction of documents are formulated. The tests of the demonstration sample of the special case were carried out, which show the rationality of approaches in the development and design of the system. Application of the developed delivery system can be a special unit of the Armed Forces of the Russian Federation provides delivery of carriers of information of limited access unit of the service of protec-

tion of state secrets of the Army, Federal guard service, Federal security service, the State courier service of the Russian Federation, security agencies of banks and private firms.

REFERENCES

1. Bulavkin A.A., Timonov D.A., Volkova A.A., Novozhilov A.S. Sistema perevozki i unichtozhenija dokumentov (SPUD). [System for the transport and destruction of documents (SPUD)]. *Itogi nauki. Vypusk 38. Izbrannye trudy Vserossiyskoy konferentsii po novym tekhnologiyam* [Results of science. Issue 38. Selected proceedings of the all-Russian conference on new technologies]. Moscow: RAN Publ., 2018. Chapter 4. Pp. 59-82.. (In Rus)
2. Patent (EU) EP 1749285 B1. System and device for detecting object tampering. Kerr R.S., Tredwell T.J. Declared 27.05.2004. Published 07.02.2007. Bulletin № 2009/13. 12 p.
3. Patent (USA) US20040178880 A1. Secure cargo transport system. Meyer M., Zambre Y. Declared 14.03.2003. Published 16.09.2004. Bulletin № 10/387522. 15 p.
4. Patent (USA) US8717163 B2. System and method for monitoring a closed container. Easley L.G., Martin R.L. Declared 03.09.2003. Published 17.02.2011. Bulletin № 12/890492. 20 p.
5. Slusarczuk M.M.G., Mayfield W.T., Welke S.R. *Emergency destruction of information storing media*. Institute for Defense Analyses, 1987. 192 p.
6. Kablov E.N. Strategic directions of development of materials and technologies of their processing for the period up to 2030. *Aviacionnye materialy i tehnologii* [Aviation materials and technologies]. 2012. № 4. Pp. 7-17. (In Rus)
7. Tkachenko L.A., Shaulov A. Yu., Berlin A.A. High-temperature protective coatings for carbon fibers. *Inorganic Material*. 2012. Vol 48. No. 3. Pp. 213-221.

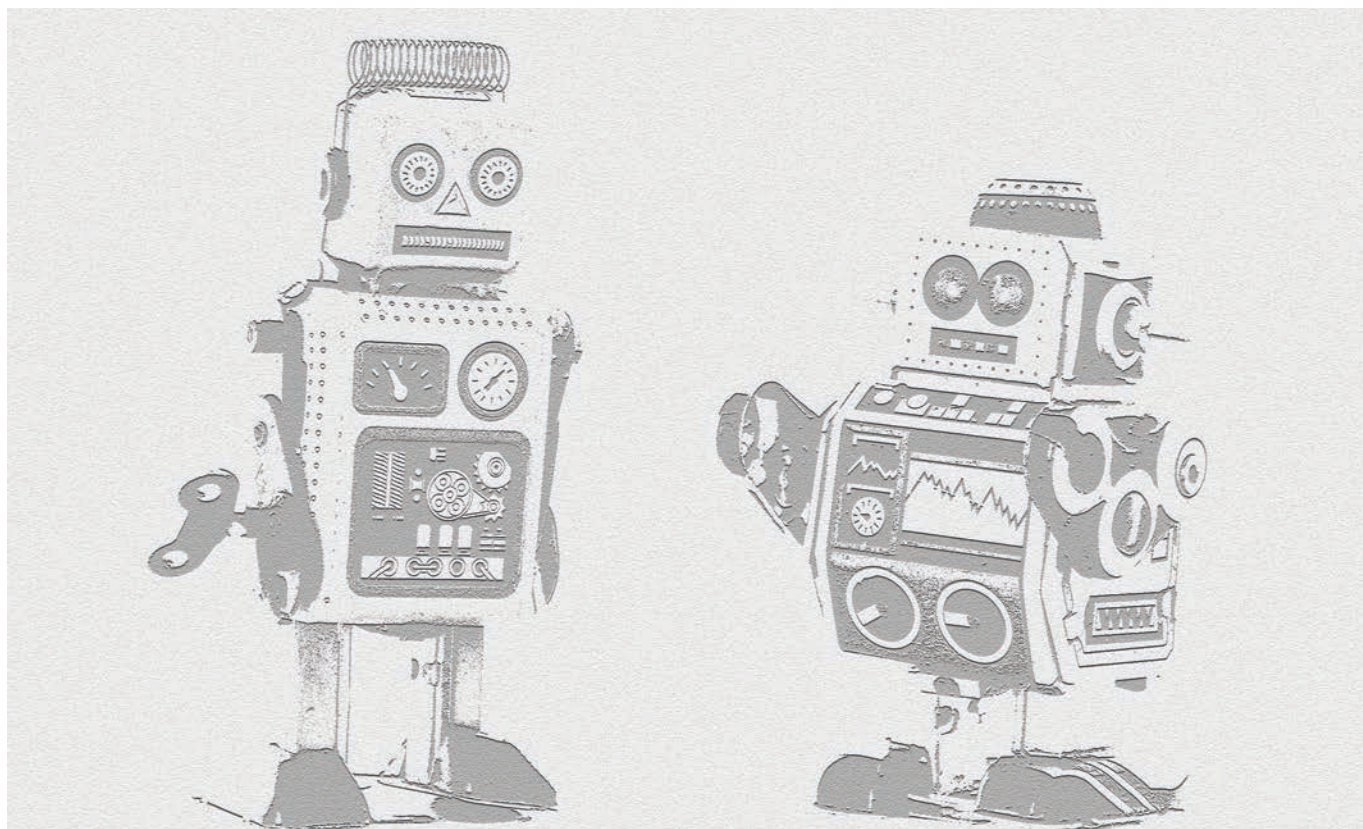
8. Budinovskii S.A., Muboyadzhyan S.A., Gayamov A.M., Stepanova S.V. Ion-plasma heat-resistant coatings with composite barrier layer for protecting alloy ZHS36-VI from oxidation. *Metal science and heat treatment*. 2011. Vol. 53. No. 1-2. Pp. 32-48.
9. Campbell F.C. *Structural composite materials*. ASM International, 2010. 629 p.
10. Zmij V.I., Rubenkyi S.G., Shepelev A.G. Complex protective coatings for graphite and carbon-carbon composite materials. *Materials Sciences and Applications*. 2015. № 6. Pp. 879-888.
11. Mileiko S.T. Internal crystallization method to produce oxide fibres and heat resistant composites. *Recrystallization in Materials Processing*. 2015. Pp. 125-168.
12. Bulavkin A.A., Volkova A.A., Zhivoglyadova L.V., Novozhilov A.S. System for ensuring the security of transportation of confidential information carriers. *Specialnaja tehnika* [Special equipment]. 2017. № 3. Pp.27-30. (In Rus)
13. Patent RF 2652557. *Sistema perevozki i unichtozhenija dokumentov (nositelej informacii)* [System for transportation and destruction of documents (information carriers)]. Bulavkin A.A.,

- Volkova A.A., Novozhilov A.S., Zhivoglyadova L.V. Declared 23.01.2017. Published 26.04.2018. Bulletin № 12. 11 p. (In Rus)
14. Patent RF 182977 U1. Hranilishhe dlja transportirovki nositelej svedenij s ogranichennym dostupom ili denezhnyh sredstv, oborudovannoe sredstvom kontrolja celostnosti obolochki ot nesankcionirovannogo dostupa [Storage media transfer restricted information or money equipped shell integrity monitoring means from unauthorized access]. Bulavkin A.A., Volkova A.A., Novozhilov A.S., Zhivoglyadova L.V. Declared 26.03.2018. Published 06.09.2018. Bulletin № 25. 1 p. (In Rus)

INFORMATION ABOUT AUTHORS:

Miroshnichenko E.L., Head of the Research Center of the Krasnodar higher military school named after army General S. M. Shtemenko; Novozhilov A.S., Research Assistant of the Research Center Krasnodar higher military school named after army General S. M. Shtemenko; Volkova A. A., PhD of Agricultural Sciences, Senior Research Officer of the Research Center of the Krasnodar higher military school named after army General S. M. Shtemenko.

For citation: Miroshnichenko E.L., Novozhilov A.S., Volkova A. A., Bulavkin A.A. Status and proposals for the future development of devices of delivery of carriers of limited access information. *H&ES Research*. 2020. Vol. 12. No. 3. Pp. 63-76. doi: 10.36724/2409-5419-2020-12-3-63-76 (In Rus)





doi: 10.36724/2409-5419-2020-12-3-77-83

ЗАДАЧА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕСУРСА В ИНФОРМАЦИОННОМ КОНФЛИКТЕ: ФОРМАЛИЗАЦИЯ И ПУТИ РЕШЕНИЯ

МИХАЙЛОВ
Роман Леонидович

АННОТАЦИЯ

Активное использование информационной сферы в ходе конфликтов различного рода актуализирует вопросы оптимального распределения имеющихся ресурсов, под которыми в работе понимается совокупность объектов информационного пространства противостоящей стороны, между задействуемыми подсистемами наблюдения и воздействия в составе конфликтующих сторон. Использование оптимальных стратегий данного распределения позволит обеспечить достижение превосходства или же, при неблагоприятных обстоятельствах, минимизацию ущерба, даже в условиях, когда количественные и качественные характеристики распределяемых ресурсов уступают аналогичным характеристикам ресурсов противостоящей стороны. Целью работы является формализация научной задачи распределения ресурса между подсистемами воздействия и наблюдения, адекватно отражающей вклад данных подсистем в достижение информационного превосходства в конфликте в условиях ограниченности распределяемых ресурсов различных типов. Элементами новизны представленного решения являются формализованные стратегии оптимального распределения совокупности объектов информационного пространства одной стороны между подсистемами наблюдения и воздействия другой стороны в их информационном конфликте. Использование представленного решения позволяет обосновать стратегии распределения объектов информационного пространства между подсистемами наблюдения и воздействия в интересах достижения одной из сторон превосходства во времени принятия решения в цикле управления, а также осуществлять априорный расчет набора средств наблюдения и воздействия для участия в информационном конфликте в условиях, когда оперативное пополнение группировки данных средств не представляется возможным. Практическая значимость представленного решения состоит в модификации математического обеспечения для проведения оперативных расчетов в интересах лица, принимающего решение, касаясь целеуказания средствам наблюдения и воздействия в информационном конфликте и динамического их перенацеливания.

Сведения об авторе:

к.т.н., научный сотрудник Череповецкого
высшего военного инженерного ордена
Жукова училища радиоэлектроники,
г. Череповец, Россия,
mikhailov-rom2012@yandex.ru,

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: информационный конфликт; подсистема наблюдения; подсистема воздействия; оптимальное распределение ресурсов; радиомониторинг; радиоэлектронное подавление.

Для цитирования: Михайлов Р.Л. Задача распределения ресурса в информационном конфликте: формализация и пути решения // Научно-технические технологии в космических исследованиях Земли. 2020. Т. 12. № 3. С. 77-83. doi: 10.36724/2409-5419-2020-12-3-77-83

Введение

Информационные конфликты различных систем в различных сферах, от конкуренции в малом бизнесе до межгосударственных (межблоковых), стали неотъемлемой чертой современного мирового сообщества. Характерной чертой подобных конфликтов является антагонистическая противоположность показателей эффективности противостоящих сторон и, соответственно, критериев достижения поставленных ими целей [1, 2]. Одним из условий достижения соответствующих целей различными сторонами является оптимальное распределение имеющихся ресурсов (материальных, людских, временных, административных и т.п.) между их различными подсистемами, задействованными в конфликте. Это позволяет одной из сторон в случае, если противостоящая сторона не использует оптимальный подход к использованию ресурсов, обеспечить достижение превосходства или же, при неблагоприятных обстоятельствах, минимизацию ущерба, даже в условиях, когда количественные и качественные характеристики распределяемых ресурсов уступают аналогичным характеристикам ресурсов противостоящей стороны [3, 4].

Применительно к информационным конфликтам в сфере обороны страны и обеспечения правопорядка, большое значение имеет решение задачи распределения ограниченного ресурса стороны между ее подсистемами воздействия и наблюдения в самой общей постановке научной задачи. Подсистема воздействия используется для нанесения ущерба противостоящей стороне. Примерами подобной подсистемы являются совокупность средств радиоэлектронного подавления (РЭП), информационно-технического воздействия, программного воздействия и т.п. Предназначением подсистемы наблюдения является вскрытие и анализ действий противостоящей стороны и, как следствие, снижение эффективности применения ею вышеуказанных средств воздействия. В качестве данных подсистем рассматриваются совокупность средств радиомониторинга (РМ), артиллерийской разведки, противовоздушной обороны, технических средств охраны, компьютерной разведки и т.п. Совместное применение указанных подсистем конфликтующей стороной позволяет комплексно решать ею задачу достижения превосходства в информационном конфликте, однако эффективность использования каждой из указанных подсистем в отдельности в большинстве случаев прямо зависит от количества выделяемого ресурса того или иного рода, при этом количество ресурса в большинстве реальных ситуаций носит ограниченный характер.

Таким образом, данная работа имеет целью формализацию задачи распределения ограниченного ресурса между подсистемами воздействия и наблюдения, адекватно отражающей вклад данных подсистем в достижение информационного превосходства в конфликте. В первую

очередь, в рамках проводимого диссертационного исследования под распределяемым ресурсом принимаются объекты информационного пространства (ОИП) инфокоммуникационной системы специального назначения (ИКС СН) противостоящей стороны, но, в то же время, с разрабатываемых позиций возможно описание конфликтов за ресурс в различных областях.

Анализ исследований в предметной области

Фундаментальными исследованиями в области оптимального распределения ресурса являются работы О. Г. Алексеева, В. Г. Анисимова, Е. Г. Анисимова, Е. А. Берзина, Л. С. Гурина, Я. С. Дымарского, А. Д. Меркулова.

Кроме того, в ряде современных работ предложены новые подходы к решению задач оптимального распределения ресурса. Так, данная задача в работе [5] решалась применением графовых динамических моделей. Развитием данного исследования стала работа [6], в которой описана пороговая модель ресурсной сети.

В работе [7] исследуются проблемы распределения ограниченного ресурса между группами в условиях максимизации общего благосостояния, основанного на функциях полезности в группах. При этом методы распределения заданного ресурса опираются на роулсеанский и утилитаристский критерии общественного благосостояния.

Решение задачи оптимального распределения временного ресурса, отвлекаемого от вычислительного ресурса информационно-телекоммуникационной системы и обеспечивающего совместное использование разных по типу средств защиты информации, представлено в работе [8]. При распределении временного ресурса в рамках решения этой задачи обосновано использование вероятностного подхода. Схожие задачи решались в работах [9, 10], посвященных динамическому распределению ресурса между защитой системы, состоящей из нескольких однотипных модулей, и созданием новых модулей.

Работы [11–13] посвящены изучению динамической экономической системы, состояния которой в каждый момент времени задаются целыми неотрицательными точками плоскости. Рассмотрены два различных вида производства, в каждом из которых состояние системы изменяется на некоторый случайный вектор с целыми компонентами. Под управлением понимается выбор в каждый момент времени одного из имеющихся видов производства. В качестве целевого показателя эффективности управления в данных работах используется минимизация вероятности выхода из квадранта, при этом получены двусторонние оценки для данной показателя.

В работе [14] рассмотрена задача распределения ограниченного однородного целочисленного ресурса для случая, когда параметры целевой функции задачи заданы на основе переменных теории нечетких множеств. При



этом обосновано применение итерационной вычислительной процедуры ее решения.

Различные аспекты функционирования детерминированных систем обслуживания с двумя и тремя очередями и одним обслуживающим устройством исследуются в работе [15]. Предполагается, что обслуживающее устройство в каждый момент времени обслуживает только одно требование. Ставится задача выбора моментов переключения устройства с одной очереди на другую. Введены понятие цикла работы системы обслуживания и понятие о стационарном режиме работы детерминированной системы обслуживания. Для каждой из систем выяснены необходимые и достаточные условия стационарности работы.

В работе [16] обобщены полученные другими исследователями результаты и предложены модели и методы распределения ресурсов с использованием как системного, так и теоретико-игрового подходов. Отмечено, что решение ресурсных задач связано с двумя основными аспектами: проблемой выбора и проблемой распределения ресурсов, в рамках которых происходит назначение каждому элементу организационно-технических систем (ОТС) определенных видов и объемов конкретных ресурсов. Необходимость решения этих задач связана с тем, что на практике большинству систем для достижения поставленных перед ними целей требуются различные ресурсы, количество которых ограничено. При этом возникают конфликты при распределении ресурсов как между ОТС, так и между подсистемами в их составе, которые можно обозначить понятием «ресурсный конфликт». Такой конфликт при условии ограниченности ресурсов наиболее типичен для реальных ОТС. Таким образом, показано, что ресурсный конфликт выступает существенным фактором функционирования ОТС и одним из побудительных мотивов динамики их развития. Несоответствие между целями системы и ее ресурсами, которые необходимы для их достижения, определяет проблему выбора и распределения ресурсов, а именно — синтез ресурсного компромисса в ОТС.

Как указано ранее, в рамках данной работы рассматривается постановка и формализация частной задачи распределения ограниченного числа ОИП инфокоммуникационной системы специального назначения (ИКС СН) противостоящей стороны между подсистемами наблюдения и воздействия «своей» стороны. Для ее решения необходимо рассматривать совокупность ОИП как общий ограниченный ресурс указанных подсистем, необходимый им для достижения своих локальных целей в ходе конфликта. Целью подсистемы наблюдения, в общем виде, является перехват сообщений, циркулирующих по каналам связи между ОИП, в целях обеспечения лиц, принимающих решения (ЛПР), своей стороны информацией о целях и действиях противостоящей стороны. В то же время средства подсистемы воздействия функционируют в целях срыва

(затруднения) процесса управления силами и средствами, в том числе исполнительными элементами, противостоящей стороной путем подавления соответствующих каналов связи между ОИП. Таким образом, подсистема наблюдения выполняет функции повышения адекватности информации о складывающейся обстановке, необходимой для принятия управленческих решений, а подсистема воздействия, в свою очередь, препятствует управленческим процессам противостоящей стороны. В интересах достижения своих целей каждая из этих подсистем заинтересована в использовании как можно большего количества ресурса (числа ОИП противостоящей стороны), однако один и тот же ОИП не может одновременно служить объектом информационных контактов для средств наблюдения и воздействия. В этой связи актуальным является определение оптимальной стратегии распределения ограниченного ресурса ОИП противостоящей стороны в интересах эффективного функционирования указанных подсистем «своей» стороны в информационном конфликте.

Ранее подобная задача рассматривалась в работах Макаренко С.И [17, 18]. При этом в работе [17] ресурс подсистемы РМ (наблюдения) описывается как первичный для функционирования подсистемы РЭП (воздействия) и собственно конфликт за ресурс между подсистемами РМ и РЭП не рассматривается. В более обобщенной постановке задачи, рассмотренной в работе [18], описаны процессы наблюдения и воздействия на ИКС СН, однако конфликтный характер взаимодействия этих совместно-функционирующих процессов относительно ОИП ИКС СН не учитывался.

В более ранних работах автора [19–21] описаны формы, которые может принимать конфликт за ресурс (ограниченное число ОИП ИКС СН противостоящей стороны) между подсистемами воздействия и наблюдения в составе единой ОТС. Формализован процесс динамической координации данных подсистем с позиции повышения эффективности функционирования ОТС более высокого уровня. Вместе с тем, формализация соответствующей научной задачи не проводилась, что и подчеркивает актуальность настоящей работы.

Формализация научной задачи

В общем виде задача распределения ОИП между подсистемами наблюдения и воздействия формализуется отображением:

$$\langle \{Mod\}, \{Mk\} \rangle : R \times Q \times S \times Time \times Z \rightarrow V, \quad (1)$$

где $\{Mod\}$ – множество моделей, описывающих процесс распределения ОИП противостоящей стороны между подсистемами наблюдения и воздействия, $\{Mk\}$ — множество методик распределения ОИП противостоящей

стороны между подсистемами наблюдения и воздействия, R — множество средств наблюдения и воздействия в составе соответствующих подсистем, Q — множество ОИП противостоящей стороны, S — множество характеристик и условий, сопутствующих информационным контактам средств наблюдения и воздействия с ОИП противостоящей стороны, Z — множество целей, которые должны быть достигнуты в результате информационных контактов средств наблюдения и воздействия с ОИП противостоящей стороны, $Time$ — множество моментов времени в течение цикла управления, V — множество решений о распределении ОИП противостоящей стороны между подсистемами наблюдения и воздействия.

Представленное отображение каждому набору условий принятия решения ($r \in R, q \in Q, s \in S, t_k \in Time, z \in Z$) ставит в соответствие некоторое решение $v \in V$ из множества допустимых.

Уточним постановку задачу распределения ОИП в виде концептуальной модели. Введем следующие обозначения:

$R = \|R_i\|, i = 1, 2$ — количество средств наблюдения (R_1) и воздействия (R_2) в составе соответствующих подсистем;

$Q = \|q_m\|, m = \overline{1, M}$ — количество ОИП в составе ИКС СН противостоящей стороны;

M — количество групп ОИП в составе ИКС СН противостоящей стороны;

$v = \|v_{ij}\|, i = 1, 2, j = \overline{1, J}$ — матрица распределения средств наблюдения и воздействия по ОИП противостоящей стороны;

v_{ij} — количество средств наблюдения ($i=1$) или воздействия ($i=2$), выделенных для информационных контактов с j -тым ОИП противостоящей стороны;

$J = \sum_{m=1}^M q_m$ — общее количество ОИП противостоящей стороны;

$\Delta T_{\text{реш}} = T(v)$ — значение преимущества во времени принятия решения в цикле управления вследствие осуществления информационных контактов средств наблюдения и воздействия с ОИП противостоящей стороны;

$T(v) = \|T_{ij}(v)\|, i = 1, 2, j = \overline{1, J}$ — преимущество во времени принятия решения в цикле управления вследствие осуществления информационных контактов средств наблюдения ($i=1$) и воздействия ($i=2$) с j -тым ОИП противостоящей стороны в соответствии с матрицей распределения v ;

$v^k = \|v_{ij}^k\|, i = 1, 2, j = \overline{1, J}, k = \overline{1, K}$ — решение матрицы распределения v в виде последовательности частных решений;

$t_0 \leq t_1 < t_2 \dots < t_k \leq Time$ — отдельные моменты времени в течение цикла управления $t_k \in Time$;

$k = \overline{1, K}$ — общее количество моментов времени t_k принятия решений о распределении ОИП противостоящей стороны v^k ;

$T_H(v) = \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^{Q_H^k} T_{1j}(v), k = \overline{1, K}, j = \overline{1, Q_H^k}$ — суммарное преимущество во времени принятия решения в цикле управления, обеспечиваемое средствами наблюдения при информационных контактах с ОИП стороны в соответствии с матрицей распределения v ;

$T_B(v) = \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^{Q_B^k} T_{2j}(v), k = \overline{1, K}, j = \overline{1, Q_B^k}$ — суммарное преимущество во времени принятия решения в цикле управления, обеспечиваемое средствами наблюдения при информационных контактах с ОИП стороны в соответствии с матрицей распределения v ;

$Q_H^k = \sum_{j=1}^J v_{1j}^k$ — ОИП противостоящей стороны распределенные подсистеме наблюдения для информационных контактов в момент времени t_k ;

$Q_B^k = \sum_{j=1}^J v_{2j}^k$ — ОИП противостоящей стороны распределенные подсистеме воздействия для информационных контактов в момент времени t_k .

С учетом введенных обозначений, решение поставленной задачи распределения ОИП противостоящей стороны между подсистемами наблюдения ($i=1$) и воздействия ($i=2$) может быть представлено в виде следующей итерационной задачи математического программирования.

Определить вариант решения v^k о распределении имеющихся на момент времени t_k средств наблюдения ($i=1$) и воздействия ($i=2$) $r^k = \|R_i^k\|, i = 1, 2$ по вскрытым к этому времени ОИП противостоящей стороны $Q^k = \|q_m^k\|, m = \overline{1, M}$, обеспечивающий выполнение условий:

$$T(v^{*k}) = \max T(w(v^k)), k = \overline{1, K}, \quad (2)$$

$$\Delta T_{ij} = T(v^k) \geq u_i^k, i = 1, 2, k = \overline{1, K}, \quad (3)$$

при ограничениях

$$\sum_{j=1}^J v_{ij}^k \leq R_i^k, i = 1, 2, k = \overline{1, K}, \quad (4)$$

где $\Delta T_{ij} = T(v^k)$ — приращение функции $T(v^k)$ при условии назначения средства i -того типа (наблюдения или воздействия) для информационных контактов с j -тым ОИП противостоящей стороны; u_i^k — показатель целесообразности использования средства i -того типа (наблюдения или воздействия) на k -том этапе цикла управления.



Условие (2) выражает требования к максимальной эффективности имеющихся на k -том цикле управления средств наблюдения и воздействия для информационных контактов с ОИП противостоящей стороны. Условие (3), в свою очередь, препятствует локальной оптимизации решения на k -том этапе цикла управления в ущерб глобальному оптимуму эффективности за время функционирования в целом. Оно представляет собой критерий для выбора одной из альтернатив: либо применение средства наблюдения (воздействия) для информационных контактов с некоторым вскрытым с момента времени t_k ОИП противостоящей стороны, либо резервирование средства наблюдения (воздействия) для его использования на последующих этапах. Ограничение (4) означают, что на k -том этапе цикла управления для информационных контактов с ОИП противостоящей стороны не может быть задействовано больше средств наблюдения и воздействия, чем имеется в наличии на этот момент.

В зависимости от значения M — количества групп ОИП в составе ИКС СН противостоящей стороны предлагается разделить модели и методики распределения однородных и неоднородных ОИП. Физический смысл подобного разделения означает, что на начальном этапе информационного конфликта, когда отсутствуют достоверные сведения о характеристиках и параметрах функционирования ОИП противостоящей стороны их необходимо рассматривать как совокупность однородного ресурса для подсистем наблюдения и воздействия ($M=1$). В дальнейшем, по мере развития информационного конфликта значимые для классификации характеристики и параметры ОИП будут вскрываться и, соответственно, их будет возможно классифицировать в отдельные группы и рассматривать как неоднородный ресурс ($M>1$). Решение подобной задачи применительно к однородному ресурсу приведено в работе [22], в которой получены формализованные стратегии оптимального распределения совокупности ОИП противостоящей стороны между подсистемами наблюдения и воздействия в условиях информационного конфликта. Кроме того, показано, что в ходе информационного конфликта оптимальным является первоначальное распределение ОИП подсистеме воздействия с последующим их перераспределением подсистеме наблюдения в соответствии с рассчитанными оптимальными стратегиями. В случае если на начальном этапе количество обнаруженных сторонами информационного конфликта ОИП неравнозначно, то оптимальным для стороны, имеющей превосходство по данному показателю, является распределение ОИП подсистеме воздействия, а для противостоящей стороны — подсистеме наблюдения.

Заключение

В целом представление распределения ОИП между подсистемами наблюдения и воздействия в виде представ-

ленной итерационной задачи позволяет учесть наиболее существенные особенности формирования решения в динамике информационного конфликта и при этом использовать для формализации его выработки относительно простой математический аппарат статической оптимизации. Решение поставленной задачи распределения ОИП противостоящей стороны как неоднородного ресурса является одним из дальнейших направлений исследований автора.

Литература

1. Козирацкий Ю.Л., Будников С.А., Гревцев А.И., Иванцов А.В., Кильдошневский В.М., Козирацкий А.Ю., Куцев С.С., Лысков В.Ф., Паринов М.Л., Прохоров Д.В. Модели информационного конфликта средств поиска и обнаружения: Монография. М.: Радиотехника, 2013. 232 с.
2. Макаренко С.И., Михайлов Р.Л. Информационные конфликты — анализ работ и методологии исследований // Системы управления, связи и безопасности. 2016. № 3. С. 95-178. URL: <http://sccs.intelgr.com/archive/2016-03/04-Makarenko.pdf> (дата обращения 15.03.2020)
3. Донской Ю.Е., Беседин П.И., Ботнев А.К. Превосходство в управлении — обязательный фактор реализации основных закономерностей оперативного искусства // Военная Мысль. 2017. № 11. С. 28–31.
4. Троценко К.А. Информационное противоборство в оперативно-тактическом звене управления // Военная мысль. 2016. № 8. С. 20–25.
5. Жияякова Л.Ю. Графовые динамические модели и их свойства // Автоматика и телемеханика. 2015. № 8. С. 115–139.
6. Жияякова Л.Ю. Распределение ресурса между аттракторами в регулярных несимметричных ресурсных сетях // Управление большими системами. 2016. Вып. 60. С. 82–118.
7. Короткова Ю.В. Метод распределения ограниченного ресурса между различными группами на основании их функции полезности // Экономика и математические методы. 2010. Т. 46. № 2. С. 89–99.
8. Кочедыков С.С., Кравченко А.С., Родин С.В., Перминов Г.В., Душкин А.В. К вопросу об информационной структуре процесса распределения временного ресурса между разнотипными средствами защиты от несанкционированного доступа // Фундаментальные исследования. 2015. № 5. С. 89–93.
9. Буре В.М., Карелин В.В., Елфимов А.Н. Об одной задаче управления детерминированной системой обслуживания // Вестник Санкт-Петербургского университета. 2015. № 4. С. 100–112.
10. Буре В.М., Карелин В.В. О задаче динамического распределения ресурса между защитой системы и дублированием ее модулей // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 10. 2015. № 3. С. 34–40.
11. Панопт Э.О. Об одной задаче управления случайными блужданиями на плоскости // Проблемы информатики. 2014. № 3. С. 12–26.
12. Панопт Э.О. Об одной модели оптимального распределения неделимого ресурса // Дискретный анализ и исследование операций. 2005. № 1. С. 55–73.
13. Панопт Э.О. Об оптимальном управлении при распределении неделимого ресурса // Дискретный анализ и исследование операций. 2009. № 1. С. 64–79.
14. Серая О.В. Нечеткая задача рационального распределения целочисленного ресурса // Восточно-европейский журнал передовых технологий. 2009. № 1/3 (37) С. 37–40.

15. Полякова Л.Н., Карелин В.В., Буре В.М., Хитров Г.М. Точные штрафные функции в задаче управления одной системой массового обслуживания // Вестник Санкт-Петербургского университета. 2015. № 1. С. 75–82.

16. Величко С.В., Сербулов Ю.С., Лемешкин А.В. Информационные технологии выбора и распределения ресурсов технологических систем: Монография. Воронеж: Изд-во ВИВТ, 2006. 244 с.

17. Макаренко С.И. Динамическая модель двунаправленного информационного конфликта с учетом возможностей сторон по наблюдению, захвату и блокировке ресурса // Системы управления, связи и безопасности. 2017. № 1. С. 60–97.

18. Макаренко С.И. Динамическая модель системы связи в условиях функционально-разноразовного информационного конфликта наблюдения и подавления // Системы управления, связи и безопасности. 2015. № 3. С. 122–185.

19. Михайлов Р.Л. Анализ научно-методического аппарата

теории координации и его использования в различных областях исследований // Системы управления, связи и безопасности. 2016. № 4. С. 1–29. URL: <http://sccs.intelgr.com/archive/2016-04/01-Mikhailov.pdf> (дата обращения 15.03.2020).

20. Михайлов Р.Л. Модель динамической координации подсистем наблюдения и воздействия в информационном конфликте в виде иерархической дифференциальной игры трех лиц // Научные технологии. 2018. Т. 19. № 10. С. 44–51.

21. Михайлов Р.Л. Базовая модель координации подсистем наблюдения и воздействия информационно-телекоммуникационной системы специального назначения в информационном конфликте // Системы управления, связи и безопасности. 2019. № 4. С. 437–350.

22. Михайлов Р.Л., Поляков С.Л. Модель оптимального распределения ресурсов и исследование стратегий действий сторон в ходе информационного конфликта // Системы управления, связи и безопасности. 2018. № 4. С. 323–344.

THE PROBLEM OF RESOURCE ALLOCATION IN THE INFORMATION CONFLICT: FORMALIZATION AND SOLUTIONS

ROMAN L. MIKHAILOV

Cherepovets, Russia, mikhailov-rom2012@yandex.ru

KEYWORDS: information conflict, surveillance subsystem, impact subsystem, optimal resource allocation, radio monitoring, electronic warfare.

ABSTRACT

Relevance. The active use of the information sphere in the course of conflicts of various kinds actualizes the issues of the optimal allocation of available resources, which means the totality of objects of opposing side information space between involved surveillance and impact subsystems. The use of optimal strategies for this allocation will ensure the achievement of superiority or, under unfavorable circumstances, minimization of damage, even in circumstances, where the quantitative and qualitative characteristics of the resources being distributed are inferior to those of the opposing side. The aim of this paper is the mathematical formalization of the task of optimal allocation of limited resources between the surveillance and impact subsystems, which adequately reflects the contribution of these subsystems to the achievement of information superiority in a conflict under the conditions of limited resources of various types. The elements of novelty of the presented solution are formalized strategies for the optimal allocation of a set of objects of the information space of the opposing side between the subsystems of surveillance and impact under conditions of information conflict. Using of the presented solution allows

justifying strategies for the allocation of objects of the information space between the surveillance and impact subsystems in order to achieve decision time superiority during the control cycle, as well as carry out a priori calculation of the order of observation tools and effects to participate in the information conflict in conditions, where the operational replenishment of assets alignment is impossible. The presented solution is proposed to be implemented in the form of mathematical software for carrying out operational calculations for the benefit of the decision maker regarding targeting to observation tools and effects in the information conflict and their dynamic redirection.

REFERENCES

1. Budnikov S.A., Grevtsev A.I., Ivantsov A.V., Kil'diushvskii V.M., Koziratskii A. Iu., Koziratskii Iu.L., Kushchev S.S., Lysikov V.F., Parinov M.L., Prokhorov D.V. *Modeli informatsionnogo konflikta sredstv poiska i obnaruzheniia. Monografiia* [Model of Information Conflict of Search and Discovery. Monograph]. Moscow: Radiotekhnika Publ., 2013. 232 p. (In Rus)



2. Makarenko S. I., Mikhailov R. L. Information Conflicts - Analysis of Papers and Research Methodology. *Systems of Control, Communication and Security*. 2016. No. 3. Pp. 95-178. URL: <http://sccs.intelgr.com/archive/2016-03/04-Makarenko.pdf> (date of access 15.03.20). (In Rus)
3. Donskov Yu.E., Besedin P.I., Botnev A.P. Superiority in Control is an Obligatory Factor in Realising the Basic Laws of Operational Art. *Military Thought*. 2017. No. 11. Pp. 28-31. (In Rus)
4. Trotsenko K.A. Information Warfare at the Operational-Tactical Level of Control. *Military Thought*. 2016. No. 8. Pp. 20-25. (In Rus)
5. Zhilyakova L.Y. Dynamic Graph Models and Their Properties. *Automation and Remote Control*. 2015. Vol. 76. No. 8. Pp. 1417-1435. (In Rus)
6. Zhilyakova L.Y. Allocation of Resource Among Attractor-Vertices in Nonsymmetric Regular Resource Networks. *Large-Scale Systems Control*. 2016. No. 60. Pp. 82-118. (In Rus)
7. Korotkova Yu.V. Method of Distribution of the Organic Growth between Different Groups according to their Utility Function. *Economics and the Mathematical Methods*. 2010. Vol. 46. No. 2. Pp. 89-99. (In Rus)
8. Kochedykov S.S., Kravchenko A.S., Rodin S.V., Perminov G.V., Dushkin A.V. To the Question of Information of the Structure Time Allocation of Resources between Different Types of Means of Protection Against Unauthorized Access. *Fundamental research*. 2015. No. 5. Pp. 89-93. (In Rus)
9. Bure V.M., Karelin V.V., Elfimov A.N. On a Control Problem of a Deterministic System Service. *Vestnik SPbSU. Applied Mathematics. Computer Science. Control Processes*. 2015. No. 4. Pp. 100-112. (In Rus)
10. Bure V.M., Karelin V.V. On the Resource Allocation between Protection of the System and Constructing Redundant Components. *Vestnik SPbSU. Applied Mathematics. Computer Science. Control Processes*. 2015. No. 3. Pp. 34-40. (In Rus)
11. Rapoport E.O. Ob odnoj zadache upravleniya sluchajnymi bluzhdaniyami na ploskosti [On a Problem of Controlling Random Walks on a Plane]. *Problems of Informatics*. 2014. No. 3. Pp. 12-26 (In Rus)
12. Rapoport E.O. Ob odnoj modeli optimal'nogo raspredeleniya nedelimoogo resursa [About One Model of Optimal Allocation of an Indivisible Resource]. *Journal of Applied and Industrial Mathematics*. 2005. No. 1. Pp. 55-73. (In Rus)
13. Rapoport E.O. About Optimal Control of Allotment of Impartible Resource. *Journal of Applied and Industrial Mathematics*. 2009. No. 1. Pp. 64-79. (In Rus)
14. Seraya O.V. Nechetkaya zadacha racional'nogo raspredeleniya celochislennogo resursa [The Fuzzy Problem of Rational Distribution of an Integer Resource]. *Eastern-European Journal of enterprise technologies*. 2009. Vol. 1. No. 3. Pp. 37-40. (In Rus)
15. Polyakova L.N., Karelin V.V., Bure V.M., Chitrow G.M. Exact Penalty Functions in the Problem of a Queuing System. *Vestnik SPbSU. Applied Mathematics. Computer Science. Control Processes*. 2015. No. 1. Pp. 75-82 (in Rus)
16. Velichko S.V., Serbulov Iu. S., Lemeshkin A.V. *Informatsionnye tekhnologii vybora i raspredeleniia resursov tekhnologicheskikh sistem. Monografiia* [Information Technology Acquisition and Resource Allocation Process Systems]. Voronezh, Voronezh Institute of High Technologies Publ., 2006. 244 p. (In Rus)
17. Makarenko S.I. Dynamic Model of the Bi-directional Information Conflict to Take into Account Capabilities of Monitoring, Capturing and Locking of Information Resources. *Systems of Control, Communication and Security*. 2017. No. 1. Pp. 60-97. (In Rus)
18. Makarenko S.I. Dynamic Model of Communication System in Conditions the Functional Multilevel Information Conflict of Monitoring and Suppression. *Systems of Control, Communication and Security*. 2015. No. 3. Pp. 122-185. (In Rus)
19. Mikhailov R. L. An Analysis of the Scientific and Methodological Apparatus of Coordination Theory and its Use in Various Fields of Study. *Systems of Control, Communication and Security*. 2016. No. 4. Pp. 1-29. URL: <http://sccs.intelgr.com/archive/2016-04/01-Mikhailov.pdf> (date of access 15.03.20). (In Rus)
20. Mikhailov R.L. Model of Dynamic Coordination of Subsystems of Surveillance and Impact in the Information Conflict as a Hierarchical Differential Game of Three Sides. *Journal Science Intensive Technologies*. 2018. Vol. 19. No 10. Pp. 44-51. (In Rus)
21. Mikhailov R.L. Base Model of Coordination of Surveillance and Impact Subsystems as the Parts of Special Information and Telecommunication System during the Information Conflict. *Systems of Control, Communication and Security*. 2019. No. 4. Pp. 437-350. doi: 10.24411/2410-9916-2019-10418. (In Rus)
22. Mikhailov R.L., Polyakov S.L. Model of Optimal Division of Sides Resources During Information Conflict. *Systems of Control, Communication and Security*. 2018. No. 4. Pp. 323-344. (In Rus)

INFORMATION ABOUT AUTHOR:

Mikhailov R.L., PhD, research officer of the Cherepovets Higher Military Engineering School of Radio Electronics.

ТРЕБОВАНИЯ К ПРЕДСТАВЛЕНИЮ МАТЕРИАЛОВ

Редакция журнала H&ES Research принимает к публикации статьи на русском и английском языках. Предоставляемая рукопись должна быть актуальной, обладать новизной, отражать постановку задачи, содержать описание основных результатов исследования, выводы, а также соответствовать указанным ниже правилам оформления. Текст должен быть тщательно вычитан автором, который несет ответственность за научнотеоретический уровень публикуемого материала.

Статья предоставляется в электронном виде, единым файлом, имеющим следующую структуру: заглавие статьи, сведения об авторах, аннотация, ключевые слова, текст статьи (включая иллюстрации, таблицы и формулы), пристатейный список литературы, англоязычный блок. Также представляется отдельная папка с экспортированными изображениями рисунков в формате TIFF, EPS по требованиям указанным в п.7.

К статье прилагается экспертное заключение о возможности опубликования статьи в открытой печати и две рецензии кандидатов или докторов наук по профилю планируемой публикации материалов (сканированные копии в электронном виде).

Все материалы высылаются электронной почтой в адрес журнала: HT-ESResearch@yandex.ru.

1. **Статья подготавливается** в редакторе MS Word. Шаблон статьи можно скачать на сайте журнала www.h-es.ru.

2. **Данные об авторе:** фамилия, имя, отчество, ученая степень, звание, должность и полное название организации – места работы, город, страна, адрес электронной почты и почтовый адрес каждого автора полностью.

3. **Объем аннотации** 200–250 слов. Аннотация должна быть информативной (не содержать общих слов), без сокращений, структурированной, отражать основное содержание статьи: предмет, цель, методологию проведения исследований, результаты исследований, область их применения, выводы. Приводятся основные теоретические и экспериментальные результаты, фактические данные, обнаруженные взаимосвязи и закономерности. Выводы могут сопровождаться рекомендациями, оценками, предложениями, гипотезами, описанными в статье. Предложения должны начинаться словами: показано, получено, исследовано, предсказано и т.д. и т.п.

4. **Ключевые слова:** от 5 до 7 слов (словосочетаний), разделенных точкой с запятой.

5. **Объем статьи** без аннотации – от 15 до 30 тыс. знаков с пробелами. Рисунки и таблицы в объеме статьи не учитываются.

6. **Формульные выражения** выполняются в редакторе Math Type. Формулы нумеруются в круглых скобках, источники – в прямых. Нумерация формул и приведение в списке источников, на которые нет ссылок по тексту, не допускается. Длина формулы в одну строчку 8–9 см.

Простые формулы и буквенные обозначения величин следует писать в строку обычным текстом. В формулах использовать только буквы латинского и греческого алфавита!

Размеры шрифтов (Size) предварительно перед набором первой формулы установить (в MathType) следующие: кегль основной – 10, крупный индекс – 7, мелкий индекс – 5, крупный символ – 12, мелкий символ – 8. Формулы, не содержащие специальных математических символов, должны быть набраны в тексте (в формате Word). Греческие обозначения, скобки (квадратные и круглые) и цифры всегда набираются прямым шрифтом. Латинские буквы набираются курсивом

как в формулах, так и в тексте, кроме устойчивых форм (max, min, cos, sin, tg, log, exp, det ...).

Нельзя использовать сканированные формулы! Все формулы должны быть набраны вручную!

7. **Рисунки и таблицы** в статье должны быть пронумерованы и снабжены подписями, в тексте статьи должны иметься ссылки на каждый рисунок и таблицу (рис.1 и табл.1). Если рисунок или таблица единственные в статье, то их не нумеруют.

Рисунки должны быть четкими, с хорошо проработанными деталями. Избегать текстовых надписей на иллюстрациях. Заменять их цифровыми обозначениями, которые поясняются в подписи или в основном тексте. Все рисунки прилагаются в виде отдельных файлов в формате TIFF, EPS с разрешением не менее 300 dpi для оригинального размера в печатном издании (для больших рисунков ширина от 14 до 20 см, для маленьких от 7 до 9 см).

8. **Список литературы:** от 15 до 50 наименований. Из них самоцитирований не должно быть более 25%. В числе источников желательное не менее 50 % иностранных источников (для статей на английском языке – 15% российских). Состав источников должен быть актуальным и содержать не менее 8 статей из научных журналов не старше 10 лет, из них 4 – не старше 3 лет.

Ссылки должны быть только на статьи, патенты, книги и статьи из сборников трудов. В списках литературы не размещать ГОСТы, рекомендации, диссертации, авторефераты и другую нормативную и непериодическую документацию. Эти данные можно указывать в теле статьи в скобках или в виде постраничных сносок (если автор непременно хочет указать нормативный документ или сослаться на свою диссертацию). Список литературы оформляется в соответствии с ГОСТ 7.052008. **Образец оформления списка литературы размещен на сайте журнала www.h-es.ru.**

9. **На английском языке** предоставляется: название статьи, фамилия, имя, отчество, информация об авторах (должность, ученая степень, ученое звание, место работы), город, страна и электронный адрес всех авторов полностью, аннотация, ключевые слова и списки литературы.

Все названия издательств и журналов должны быть транслитерированы, а не переведены. Названия организаций в списках литературы (Труды Академии...) должны быть четко выверены с данными организации и иметь официальное английское наименование, которое указано на их сайте или также транслитерированы. Образец оформления списка литературы размещен на сайте журнала www.h-es.ru.

10. Структура статьи на английском языке

Introduction (введение)

Materials and methods (материалы и методы).

Results and Discussions (результаты и обсуждение).

Conclusions (вывод)

Acknowledgements (благодарности, необязательный раздел)

References (ссылки на использованную литературу)

На русском языке предоставляется: название статьи, фамилия, имя, отчество, информация об авторах (должность, ученая степень, ученое звание, место работы), город, страна и электронный адрес всех авторов полностью, аннотация, ключевые слова и списки литературы.

Внимание! Редакция оставляет за собой право отклонить представленные материалы, оформленные не по указанным правилам.