

## 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](http://www.hes.ru) и библиотеке [elibrary.ru](http://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](mailto:HT-ESResearch@yandex.ru). С требованиями можно ознакомиться на сайте: [www.H-ES.ru](http://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», 2019

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

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

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

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

#### JOURNAL H&ES RESEARCH INDEXING

All issues of the journal are in a free access on a site of the journal [www.hes.ru](http://www.hes.ru) and [elibrary.ru](http://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](mailto:HT-ESResearch@yandex.ru). The requirements are available on the website: [www.H-ES.ru](http://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 2019

**Учредитель:**

ООО «ИД Медиа Паблшер»

**Издатель:**

ДЫМКОВА С.В.

**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;

**ГОНЧАРЕВСКИЙ 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

**Казымлы Р.В.**

Вопросы оптимальной калибровки распределенной сети микротелескопов для наблюдения за орбитальными спутниками ..... 4

**Павлов Д.А., Шульженко А.Д.**

Методика применения двухуровневого полимодельного комплекса обработки данных дистанционного зондирования Земли ..... 10

**Козлов С.В., Кубанков А.Н.**

**Палагин А.В., Дегтярев А.А.**

Диапазон балансировочных углов октокоптера с избыточными степенями свободы ..... 18

## РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

**Глобин Ю.О., Финько О.А.**

Способ обеспечения имитостойчивой передачи информации по каналам связи ..... 30

## ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

**Бобрик И.П., Ветрюк Р.Ю., Шипунов А.С., Федосов А.С.**

Разработка автоматизированной системы формирования военно-технических исходных данных ..... 44

**Бочков А.П., Хомоненко А.Д., Барановский А.М.**

Оценка риска создания образцов технических систем в нечетких терминах ..... 54

**Вайнтрауб А.И., Остапченко Ю.Б., Шаповалов Е.Н.**

Показатели надежности операторов автоматизированных систем управления ..... 72

**Егурнов В.О., Соколов А.М., Некрасов М.И.**

Модель универсальной управляющей платформы системы противодействия робототехническим комплексам ..... 79



# CONTENTS

## AVIATION, SPACE-ROCKET HARDWARE

### Kazimli R.V.

Questions on optimum calibration of distributed net designated for observation of orbital satellites..... 4

### Pavlov D.A., Shulzhenko A.D.

Methodology for applying a two-level polymodel complex for processing data from remote sensing of the Earth..... 10

### Palagin A.V., Degtyarev A.A.

Range of octocopter balancing angles with excessive degrees of freedom..... 18

## RF TECHNOLOGY AND COMMUNICATION

### Globin Y.O., Finko O.A.

The way of ensuring resistant to imitation transmission information via communication channels..... 30

## INFORMATICS, COMPUTER ENGINEERING AND CONTROL

### Bobrik I.P., Vetryuk R.Yu., Shipunov A. S., Fedosov A.S.

The development of automated system forming military-technical initial data..... 44

### Bochkov A. P., Khomonenko A.D., Baranovsky A.M.

Risk assessment of creating technical system samples in fuzzy terms..... 54

### Vaintraub A.I., Ostapchenko Y.B., Shapovalov E.N.

Reliability indicators of operators of automated control systems..... 72

### Egurnov V.O., Sokolov A.M., Nekrasov M.I.

The model of the robotic complexes counteraction system universal managing platform..... 79

#### Founder:

"Media Publisher", LLC

#### Publisher:

DYMKOVA S.V.

#### 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;

**KIRPANEV A.V.**, PhD, Docent;

**KURNOSOV V.I.**, PhD, Full Professor,

Academician of the International Academy

of Informatization, law and order,

Member of the Academy of Natural

Sciences;

**MOROZOV A.V.**, PhD, Full Professor,

Actual Member of the Academy

of Military Sciences;

**MOSHAK N.N.**, PhD, Docent;

**PAVLOV A.N.**, PhD, Full Professor;

**PROROK V.Y.**, PhD, Full Professor;

**SEMENOV S.S.**, PhD, Docent;

**SINICYN E.A.**, PhD, Full Professor;

**SHATRANOV 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: 10.36724/2409-5419-2020-12-2-4-9

# ВОПРОСЫ ОПТИМАЛЬНОЙ КАЛИБРОВКИ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СЕТИ МИКРОТЕЛЕСКОПОВ ДЛЯ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ОРБИТАЛЬНЫМИ СПУТНИКАМИ

## КАЗЫМЛЫ

Рейхана Вагиф гызы

## АННОТАЦИЯ

Одним из важнейших вопросов обеспечения нормального функционирования орбитальных спутников различного назначения является осуществление наземного контроля за изменениями орбиты спутников. Такой контроль может быть осуществлен с помощью наземной распределенной сети микротелескопов. Рассмотрены вопросы оптимальной калибровки распределенной сети наблюдения за спутниками с помощью сети микротелескопов, установленных на борту беспилотных летательных аппаратов. Анализ известного метода калибровки множества наземных микротелескопов, составляющих наземную сеть измерительных устройств на фиксированной длине волны показал, что размещение всех микротелескопов на одинаковом расстоянии от исследуемого спутника, оснащенного одноволновым импульсным лазером, не позволяет использовать такое свойство лазеров с оптоволоконным кабелем как зависимость дивергенции лазера от длины волны для формирования оптимального режима работы. Определено, что в оптимальном режиме трехволнового метода калибровки микротелескопов, установленных на различных беспилотных летательных аппаратах, где количество микротелескопов, установленных на фиксированном аппарате прямо пропорционально дивергенции лазера с длиной волны равной длине волны приема указанных микротелескопов, а высота подъема конкретного летательного аппарата прямо пропорциональна величине длины волны работы микротелескопов данного беспилотника при условиях, если сумма используемых высот всегда остается постоянной величиной. В отличие от признака откалиброванности микротелескопов в известном методе, заключающегося в равенстве всех сигналов микротелескопов, в предложенном методе предлагается использовать признак наличия экстремума в значении выбранного функционала цели при проведении оптимизации условий калибровки распределенной сети микротелескопов.

## Сведения об авторе:

аспирант Национального аэрокосмического агентства, г. Баку, Азербайджан,  
reyhana.kazimli@gmail.com

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** микротелескоп; калибровка; оптимизация; распределенная сеть; беспилотный летательный аппарат..

**Для цитирования:** Казымлы Р. В. Вопросы оптимальной калибровки распределенной сети микротелескопов для наблюдения за орбитальными спутниками // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2020. Т. 12. № 2. С. 4-9. doi: 10.36724/2409-5419-2020-12-2-4-9

## Введение

Как отмечается в работах [1–4], требование повышения точности, или уменьшения неопределенности астрономических телескопических измерений вызывает необходимость проведения достоверной калибровки используемых наземных телескопических устройств.

Для калибровки телескопических приборов необходимо иметь в небе источник оптического радиационного излучения. При этом желательно иметь монохроматические источники, позволяющие калибровку на различных длинах волн, для чего наиболее подходящими являются перестраиваемые лазеры.

Согласно [1], такого лазерного источника на орбите пока нет. Однако, на низкоорбитальном спутнике CALIPSO, запущенном в 2006-м году был установлен монохроматической импульсный лазер на длине волны 532 нм с частотой импульсов 20–25 Гц [5].

Наличие такого откалиброванного источника в орбите позволяет определить ослабление, вносимое атмосферой на различных длинах волн и тем самым откалибровать группу наземных телескопов и камер, используемых для исследования небесных объектов.

Происходящие термоядерные процессы в звездах не позволяет использовать эти звезды в качестве стабильных источников потока оптической радиации из-за многих неопределенностей, имеющих место в режиме излучения этих звезд.

В целом, орбитальные спутники отражают солнечную оптическую радиацию, а также переотраженную от поверхности Земли оптическую радиацию Солнца. Однако, первое может быть использовано только в ИК-области [6], а второе вообще не может быть использовано в качестве стабильного источника для калибровки наземных телескопов.

Использование в этих целях внешних отражателей имеющих на спутниках для отражения лазерного луча, испускаемого с Земли также не позволяет осуществлять точную калибровку наземных телескопов из-за зависимости силы отраженного луча от угла попадания на поверхности отражателя. Единственным выходом из положения является установка на спутниках откалиброванных излучателей и дальнейшая разработка распределенной откалиброванной сети микротелескопов для наблюдения за спутниками. Настоящая статья посвящена вопросам оптимизации такой сети.

## 1. Существующий метод спутниковой калибровки наземных телескопов с использованием излучателей, установленных на спутниках

Согласно [1] вольфрамовая лампа накаливания мощностью 25 Вт, имеющая температуру нити 3000 К, генерирует оптическую радиацию мощностью 1 Вт в диапазоне длин волн 390–780 нм. Считается, что эта радиация с орбиты высотой 700 км распространяется во всех на-

правления изотропно и на Земле наблюдается с яркостью 12.5 звездных величин.

В общем случае, звездная величина  $m$  наблюдаемой яркости лампы мощностью  $P$  и мощностью излучаемой оптической радиации  $W$  определяется как [1]

$$m \approx -5,0 \log_{10} \left( \frac{\left( \ln \left( \frac{P}{1W} \right) \right)^3}{h} \right) + 5,9 \quad (1)$$

Очевидно, что и в этом варианте проведения калибровки от таких орбитальных источников будут присутствовать внешние мешающие факторы: свечение звезд, Луны, Солнца, неизотропность излучения и нестабильность излучения лампы, отраженная от спутника солнечная радиация и т. д.

Альтернативой устранению неизотропности излучения вольфрамовой лампы является использование лазерных источников. Дивергенция (расхождение) луча лазерных источников обычно составляет несколько миллирадиан и может быть уменьшена до нескольких микрорадианов. Магнитуда (звездная величина) лазера с Гауссовским распределением интенсивности в поперечном сечении луча, направленного на наземный телескоп определяется следующим выражением:

$$m \approx -2,5 \log_{10} \left( \frac{P}{h^2 d^2} \right) - 20,1 \quad (2)$$

где  $P$  — мощность лазера в милливаттах;  $h$  — высота орбиты в км;  $d$  — среднеквадратическое отклонение расхождения лазерного луча в миллирадианах. При этом допускается, что апертура телескопа мала по сравнению с с.к.о ширины луча на земле. Расхождение луча имеет две составляющие: расхождение луча самого источника (лазера) и расхождение луча из-за влияния атмосферы.

В условиях невозмущенной атмосферы вторая составляющая находится на уровне 5 мкрад и может быть исключена из рассмотрения [7].

В общем случае неопределенность на выходе телескопа может быть вызвана неопределенностью направленности луча на телескоп, а также старением фильтров. Для устранения погрешности направления на телескоп целесообразно использовать множество микротелескопов, установленных с некоторым шагом. Осуществляется суммирование сигналов микротелескопов, что позволяет несколько ослабить погрешность направленности луча.

Согласно [1], при использовании  $N$  количества микротелескопов суммарная неопределенность может быть уменьшена в  $\sqrt{N_{\text{раз}}}$ .

На рис. 1 приведена схема размещения микротелескопов с определенным интервалом.

Один из основных недостатков такого построения распределенной сети камер для наблюдения спутника CALIPSO является трудность различения света лазера на фоне отраженной оптической радиации Солнца от спутника на выходе фильтра, микротелескопа настроенного на 532 нм (исходная длине волны лазера). Для исключения такого явления нами предлагается мультиспектральный метод наблюдения за спутником, суть которого излагается ниже.

## 2. Мультиспектральный метод наблюдения за спутником

Нами предлагается снабдить спутники тремя лазерами  $R, G, B$  цветами излучаемого пучка света. При этом, если использовать оптоволоконный тип лазера, то дивергенция лазера согласно [8] определяется как

$$d = \frac{\lambda}{\pi R_0} \quad (3)$$

где  $\lambda$  — длине волны в мкм;  $R_0$  — исходный радиус лазерного пучка (в мм).

Очевидно, что при большой дивергенции луча, путем увеличения количества микротелескопов можно увеличить суммарный сигнал в сети. Вместе с тем, учет зависимости (3) в выражении (2) в предлагаемом мультиспектральном методе создает возможность использовать оптимальный вариант установки микротелескопов на беспилотных аппаратах, поднятых на разную высоту. Следовательно,

в предлагаемой схеме слежения за спутником появляется неявная функциональная зависимость:

$$h = h(\lambda) \quad (4)$$

Заметим, что ввод функциональной зависимости осуществляется в качестве первого шага реализации принципа уменьшения размерности, предложенного в работах [9,10]. Вторым шагом, согласно этому принципу, является наложение интегрального ограничения на вводимую функциональную зависимость. В качестве третьего шага указанный принцип предусматривает составление и решение задачи безусловной вариационной оптимизации методом Эйлера-Лагранжа [11].

Таким образом, предлагается схема многоспектральной регистрации трехцветного лазера установленного на спутнике с дальнейшим суммированием сигналов микротелескопов, установленных на различных БПЛА. Общая схема предлагаемого варианта слежения за спутником приведения на рис. 2.

## 3. Оптимизация предлагаемой распределенной сети наблюдения за спутниками

В первом приближении, если количество  $N$  микротелескопов, размещаемых на одном БПЛА взять равным

$$N = k_0 \cdot d = k_0 k_1 \lambda = k_2 \lambda, \quad (5)$$

где

$$k_1 = \frac{1}{\pi R_0}; k_2 = k_0 \cdot k_1 \quad (6)$$

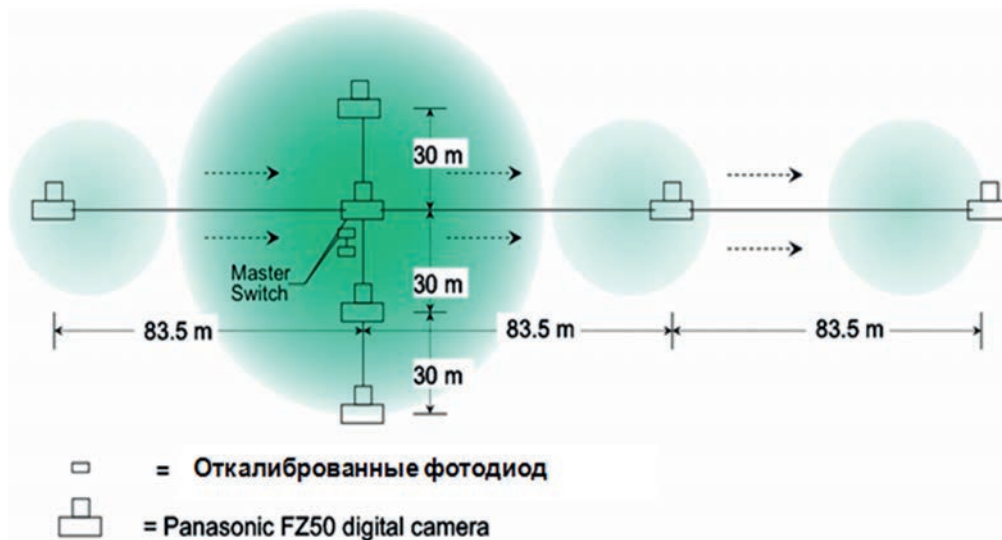
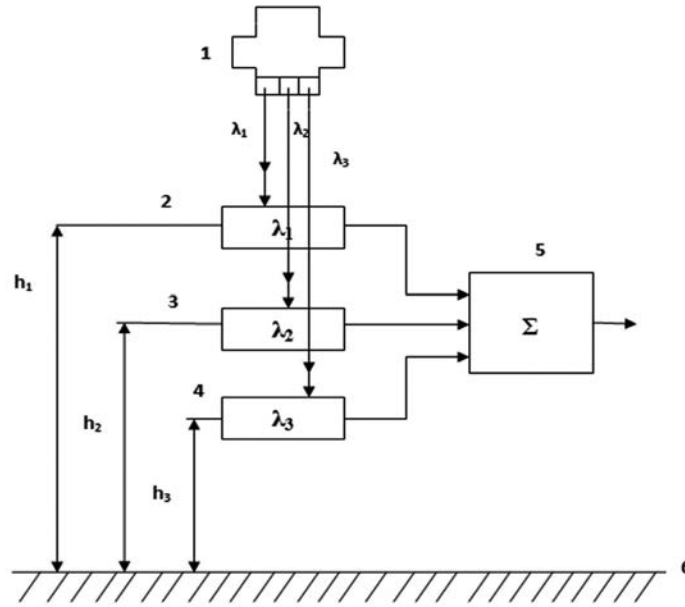


Рис. 1. Схема установки системы распределенных камер Panasonic FZ50, соединенных с коаксиальным кабелем для получения изображения четырех импульсов лазера, установленного на CALIPSO



**Рис. 2.** Общая схема предлагаемого многоспектрального метода наблюдения за спутником:

1 – наблюдаемый спутник; 2,3,4 – БПЛА на высотах соответственно  $h_1, h_2, h_3$ ; 5 – сумматор сигнала; 6 – земля

то магнитуду лазера с длиной волны  $\lambda$ , на высоте  $h$  расположения БПЛА с микротелескопами на борту, работающими на этой же длине волны определим как

$$F(\lambda) = -2,5 \cdot k_3 \lambda \log_{10} \frac{P}{h(\lambda)^2 \cdot k_1^2 \cdot \lambda^2} - 20,1 \quad (7)$$

Отметим, что в (7) атмосферное затухание из-за его малости при использовании высотных БПЛА не учитывается.

Интегрируя (7) на интервале  $0 \div \lambda$  получим:

$$F_1(\lambda) = C_1 - \int_0^{\lambda_m} k_2 \lambda \log_{10} \frac{P}{h(\lambda)^2 \cdot k_2^2 \cdot \lambda^2} d\lambda \quad (8)$$

Для выяснения оптимального вида функции  $h(\lambda)$  допустим, что существует многоальтернативная возможность выбора функции  $h(\lambda)$ . При этом всевозможные виды функции  $h(\lambda)$  должны удовлетворять условию:

$$F_2(\lambda) = C_1 - \int_0^{\lambda_m} h(\lambda) d\lambda = C_2 \quad (9)$$

С учетом выражений (8) и (9) можно сформировать следующее уравнение безусловной вариационной оптимизации:

$$F_0(\lambda) = C_1 - \int_0^{\lambda_m} k_2 \lambda \log_{10} \frac{P}{h(\lambda)^2 \cdot k_2^2 \cdot \lambda^2} d\lambda + \chi \left[ \int_0^{\lambda_m} h(\lambda) d\lambda - C_2 \right] \quad (10)$$

Решение оптимизационной задачи (10) с помощью уравнения Эйлера — Лагранжа дало следующий вид оптимальной функции

$$h(\lambda) = \frac{2\lambda \cdot C_2}{\lambda m^2} \quad (11)$$

При этом контроль величины  $\frac{\partial^2 F_0(\lambda)}{\partial [h(\lambda)]^2}$  показал, что при решении (11),  $F_0(\lambda)$  достигает максимального значения.

### Заключение

Таким образом показано, что в предлагаемом методе размещения микротелескопов, работающих на различных длинах волн, на различных высотах путем установки их на различных БПЛА в количестве, пропорциональном длине волны микротелескопов установленных на БПЛА можно достичь максимальной суммарной звездной величины (магнитуды) при условии подъема данного БПЛА на высоту, определяемой выражением (11). При этом, в отличие от

критерия закалиброванности наземных микротелескопов, заключающейся в равенстве их сигналов на выбранной длине волны, в предложенном методе признаком откалиброванности всех микротелескопов можно выбрать достижение максимума функционала  $F_0(\lambda)$ .

В заключение сформулируем основные выводы проведенного исследования:

1. Проведенный анализ показал, что размещение всех микротелескопов на одинаковом расстоянии от исследуемого спутника оснащенного одноволновым импульсным лазером не позволяет использовать такое свойство лазеров с оптоволоконным кабелем как зависимость дивергенции лазера от длины волны для формирования оптимального режима работы.

2. Определено, что в оптимальном режиме трехволнового метода калибровки микротелескопов, установленных на различных БПЛА, высота подъема конкретного БПЛА прямо пропорционально величине длины волны работы данного БПЛА в условиях, если сумма используемых высот всегда остается постоянной величиной.

3. В отличие от известного метода, где в качестве признака откалиброванности микротелескопов использовано равенство всех сигналов микротелескопов, в предложенном методе предлагается использовать признак наличия экстремума функционала цели проведенной оптимизации сигналов микротелескопов, в предложенном методе предлагается использовать признак наличия экстремума функционала цели проведенной оптимизации.

### Литература

1. *Albert J.* Satellite-mounted light sources as photometric calibration standards for ground-based telescopes // *The Astronomical Journal*. 2012. Vol. 143 No. 8. Pp. 1–16. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0004-6256/143/1/8/pdf> (дата обращения 05.04.2019)

2. *Albert J., Fostert K., Dupuis G., Battat J., Fransham K.,*

*Koopmans K., Jarret M.* Satellite-mounted light sources as photometric calibration standards for ground-based telescopes // *The Astronomical Journal*. Vol. 143. No. 1. URL: <https://doi.org/10.1088/0004-6256/143/1/8> (дата обращения 05.04.2019)

3. *Albert J., Burgett W., Rhodes J.* Telescope spectrophotometric and absolute flux calibration and national security applications, using a tunable laser on a satellite. 2006. URL: <https://arxiv.org/ftp/astro-ph/papers/0604/0604339.pdf> (дата обращения 05.04.2019)

4. *Albert J.E., Fagin H.M., Brown Y.J., Stubbs C.W., Kuklev N.A., Conley A.J.* Precision calibration via artificial light sources above the atmosphere // *Calibration and standardization of missions and large surveys in astronomy and astrophysics: Astronomic Society of the Pacific. Conference Series*. 2016. Vol. 503. URL: <https://arxiv.org/pdf/1207.1938.pdf> (дата обращения 05.04.2019)

5. *Winker D.M., Vaughan M.A., Omar A., Hu Y., Powell K.A., Liu Z., Hunt W.H., Young S.A.* Overview of the CALIPSO mission and CALIOP data processing algorithms // *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*. 2009. Vol. 26. Pp. 2310–2323.

6. *Price S.D., Paxson C., Murdocks T.L.* Absolute calibration using the MSX reference spheres // *Bulletin of the American Astronomical Society*. 2004. Vol. 36. Pp. 1457–1467.

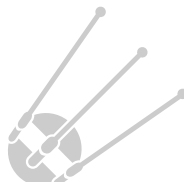
7. *Tatarski V.I.* Wave propagation in a turbulence medium. New York: McGraw-Hill, 1961. 285 p.

8. *Al-Aish T.A.K.* Design and Analysis of fiber lazer weapon System FLWS // *Advances in Physics Theories and Applications*. 2015. Vol. 47. Pp. 59–68.

9. *Асадов Х.Г.* Синтез оптимальных подсистем обработки измерительной информации на базе параллельных и параллельно-последовательных преобразователей // *Измерительная техника*. 2002. № 2. С. 19–21.

10. *Асадов Х.Г.* Применение принципа параметрического уменьшения размерности для синтеза одного подкласса информационных систем и планирования измерительного эксперимента // *Измерительная техника*. 2003. №. 6. С. 3–6.

11. *Эльсгольц Л.Э.* Дифференциальные уравнения и вариационное исчисление. М. Наука. 1969, 432 с.







## QUESTIONS ON OPTIMUM CALIBRATION OF DISTRIBUTED NET DESIGNATED FOR OBSERVATION OF ORBITAL SATELLITES

**KAZIMLI REYHANE VAQIF QIZI**

Baku, Azerbaijan, reyhana.kazimli@gmail.com

### ABSTRACT

One of major questions linked with provision of normal functioning of orbital satellites of various designation is carrying out of ground control over change of satellites orbit. Such a control can be implemented using ground distributed net of microtelescopes. Questions on optimum calibration of distributed net used for observation of satellites by help of net of microtelescopes installed at the board of unmanned aerial vehicles. The analysis of known method for calibration of set of ground microtelescopes forming the ground net of measuring devices at the fixed wavelength had shown that displacement of all microtelescopes at the equal distance from researched satellite equipped with monochromatic type pulse laser don't allow to use such property of optic fiber lasers as dependence of laser beam divergence on wavelength for development of optimum functioning regime. It is determined that at the optimum regime of realization of three wavelength method of calibration of microtelescopes, installed at the different unmanned aerial vehicles, where number of microtelescopes installed at the fixed unmanned vehicles is directly proportional on laser divergence with wavelength equal to wavelength operation of said microtelescopes where the flight elevation of unmanned vehicle is directly proportional on wavelength of microtelescope said unmanned vehicle upon condition if sum of used elevation heights is always constant. In difference from signature of calibrated telescopes in known method that is equality of all microtelescopes signals, in suggested method utilization of signature of presence of extremum in value of chosen target functional upon optimization of conditions of calibration is suggested.

### REFERENCES

1. Albert J. Satellite-mounted light sources as photometric calibration standards for ground-based telescopes. *The Astronomical Journal*. 2012. Vol. 143 No. 8. Pp. 1-16. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0004-6256/143/1/8/pdf> (date of access 05.04.2019)
2. Albert J., Fostert K., Dupuis G., Battat J., Fransham K., Koopmans K., Jarret M. Satellite-mounted light sources as photometric calibration standards for ground-based telescopes. *The Astronomical Journal*. Vol. 143. No. 1. URL: <https://doi.org/10.1088/0004-6256/143/1/8> (date of access 05.04.2019)
3. Albert J., Burgett W., Rhodes J. Telescope spectrophotometric and

**KEYWORDS:** microtelescope, calibration, optimization, distributed net, unmanned aerial vehicle.

- absolute flux calibration and national security applications, using a tunable laser on a satellite. 2006. URL: <https://arxiv.org/ftp/astro-ph/papers/0604/0604339.pdf> (date of access 05.04.2019)
4. Albert J.E., Fagin H.M., Brown Y.J., Stubbs C.W., Kuklev N.A., Conley A.J. Precision calibration via artificial light sources above the atmosphere. *Calibration and standardization of missions and large surveys in astronomy and astrophysics: Astronomic Society of the Pacific. Conference Series*. 2016. Vol. 503. URL: <https://arxiv.org/pdf/1207.1938.pdf> (date of access 05.04.2019)
  5. Winker D.M., Vaughan M.A., Omar A., Hu Y., Powell K.A., Liu Z., Hunt W.H., Young S.A. Overview of the CALIPSO mission and CAL-IP data processing algorithms. *J. Atmos. Ocean. Tech.* 2009. Vol. 26. Pp. 2310-2323.
  6. Price S.D., Paxson C., Murdocks T.L. Absolute calibration using the MSX reference spheres. *Bull. Amer. Astron. Soc.* 2004. Vol. 36. Pp. 1457-1467.
  7. Tatarski V.I. *Wave propagation in a turbulence medium*. New York: McGraw-Hill, 1961. 285 p.
  8. Al-Aish T.A.K. Design and Analysis of fiber laser weapon System FLWS. *Advances in Physics Theories and Applications*. 2015. Vol. 47. Pp. 59-68.
  9. Asadov H.G. Sintez optimal'nyh podsystem obrabotki izmeritel'noj informacii na baze parallel'nyh i parallel'no-posledovatel'nyh preobrazovatelej [Synthesis of optimal subsystems for processing measurement information based on parallel and parallel-serial converters]. *Izmeritel'naya tekhnika*. 2002. No. 2. Pp.19-21.
  10. Asadov H.G. Primenenie principa parametriceskogo umen'shenija razmernosti dlja sinteza odnogo podklassa informacionnyh sistem i planirovaniya izmeritel'nogo jeksperimenta [Application of the parametric dimension reduction principle for the synthesis of a single subclass of information systems and planning of a measurement experiment]. *Izmeritel'naya tekhnika*. 2003. No. 6. Pp.3-6.
  11. Jel'sgol'c L. Je. *Differencial'nye uravnenija i variacionnoe ischislenie* [Differential equations and calculus of variations]. Moscow: Nauka, 1969. 432 p.

### INFORMATION ABOUT AUTHOR:

Kazimli R.V., Postgraduate student of National Aerospace Agency.



doi: 10.36724/2409-5419-2020-12-2-10-17

# МЕТОДИКА ПРИМЕНЕНИЯ ДВУХУРОВНЕВОГО ПОЛИМОДЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

**ПАВЛОВ****Дмитрий Александрович<sup>1</sup>****ШУЛЬЖЕНКО****Анастасия Дмитриевна<sup>2</sup>****АННОТАЦИЯ**

Комплекс распределенной обработки данных дистанционного зондирования Земли представляет собой взаимодействующие на двух уровнях модели. На верхнем уровне исполнения находится планировщик распределения задач, который управляет задействованием моделей обработки (нижний уровень), технических и технологических ресурсов. Модели нижнего уровня представляют варианты обработки входных информационных пакетов разных типов. Их поведение может быть адаптировано к решению конкретных задач в указанных условиях. Взаимосвязь моделей осуществляется с помощью логической шины. Концепция создания комплекса направлена на повышение оперативности получения результирующих данных. Стоит отметить, что на текущей стадии разработки не уделяется внимание вопросам оценки и повышения качества самих данных. Акцент сделан на правилах межмодельного взаимодействия, которые являются связующими между уровнями комплекса. Также приведены правила их регулировки. Правильный выбор типа взаимодействия является залогом корректного результата. Описание используемых моделей будет рассмотрено в последующих работах как и оценки их и комплекса в целом. В данной работе представлены методологические основы для прикладных исследований совместного использования нескольких моделей распределенной обработки данных дистанционного зондирования Земли с возможностью гибкой настройки (адаптации) программной части в целях оперативного решения поступающих задач на основе выбора необходимых моделей и связующих их логических схем. При этом построение системы цифровой обработки данных дистанционного зондирования Земли должно быть реализовано с учетом особенностей аппаратных, программных и системообразующих решений. Проведение таких исследований проводится с целью построения высокопроизводительной цифровой системы обработки данных и для решения проблемы формирования требований к технической структуре системы цифровой обработки.

**Сведения об авторах:**

<sup>1</sup>к.т.н. преподаватель Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского, г. Санкт-Петербург, Россия, dpavlov239@mail.ru

<sup>2</sup>начальник лаборатории - с.н.с. Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского, г. Санкт-Петербург, Россия, anastasija\_dmitrievna@mail.ru

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** адаптивность; полимодельность; структурная динамика; информационное взаимодействие; режимы работы; дистанционное зондирование Земли; радиолокационные данные.

**Для цитирования:** Павлов Д.А., Шутьженко А.Д. Методика применения двухуровневого полимодельного комплекса обработки данных дистанционного зондирования Земли // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2020. Т. 12. № 2. С. 10-17. doi: 10.36724/2409-5419-2020-12-2-10-17



## Введение

Система цифровой обработки сигнала, как правило, строится в виде вычислительной сети топологии «звезда» (в более сложных случаях допускается использование варианта построения «сложная звезда»). Узлы имеют собственные технические (например, вычислительная мощность процессора узла, количество ядер и потоков, наличие на узле графического процессора, и его вычислительная мощность и размер буфера) и технологические характеристики (набор функций, которые могут быть на нем реализованы). Связь между узлами допускает реализацию различными стандартизованными протоколами и должна строиться при помощи гибкой логической схемы с целью адаптации комплекса под условия выполнения целевых задач. Это может быть достигнуто построением программной части в виде двухуровневого полимодельного комплекса распределенной обработки, на верхнем уровне которого формируются адаптированные к текущим условиям и задаче технологические цепи потоковой обработки (потоковый план оптимального использования вычислительных узлов и алгоритмов), на нижнем уровне производится непосредственная обработка согласно построенному плану (план пакетной обработки/передачи/хранения целевой информации). При этом взаимосвязь «верхнего» и «нижнего» уровней комплекса потенциально может быть реализована в различной степени сложности. Это обстоятельство находит отражение в методике, представленной в данной работе, и позволяет при последующей программной реализации комплекса обработки данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) использовать ее для обоснования наилучшей схемы межмодельного взаимодействия.

## Описание межмодельных взаимосвязей комплекса и способов их регуляции

Рассматриваемая архитектура полимодельного комплекса принципиально позволяет находить требуемый баланс между оптимальностью, точностью и временем выполнения, для достижения наилучшего целевого эффекта в штатных и заданных условиях за счет регуляции межмодельных взаимосвязей комплекса.

Основной взаимосвязью при полимодельной обработке данных ДЗЗ является регуляция размеров пакетов (дискретный информационный контейнер). Для данной взаимосвязи целесообразно выделить три случая:

1. Бесконечно малые пакеты. Этот случай характеризуется отсутствием задержек при прохождении пакетов по распределенной системе обработки и подробно изучен в работе [1]. Использование потокового планировщика для составления плана работ в этом случае является достаточным, однако, этот случай является идеальным и недостижимым в реальных условиях, т.к. даже самая быстрая об-

работка занимает время, минимум один такт, так же, как и распределенная обработка и передача пакетов между узлами создает очереди.

2. Пакеты фиксированного размера. В этом случае требуется проведение анализа задержек, возникающих при прохождении пакетов по технологическим цепям и, в особенности, при пересечении этих цепей — использовании общих технических средств, управляющих линий передачи информации и ресурсов. Помимо учета нестационарности, необходим заблаговременный учет ожидаемых задержек на интервалах постоянства структуры системы цифровой обработки (СЦО) и оптимального распределения технологических цепей с целью эффективного использования вычислительного ресурса в процессе реализации комплексного плана работ. В настоящее время активно ведутся исследования, направленные на создание механизмов заблаговременного определения рациональных размеров разнотипных информационных пакетов. Так, параллельная обработка радиоголограмм предполагает разбиение ее на субкадры преимущественно в зависимости от требуемого разрешения, а данные ДЗЗ оптического диапазона — от размера буфера видеокарты. При этом нелинейные зависимости между размерами разнотипных пакетов и временем, требуемым на их обработку, жестко привязаны к технической структуре комплекса, при изменении которой эти зависимости требуются переопределения.

3. Автоопределяемые размеры пакетов. Перспективный случай, к которому следует отнести такие малоисследованные способы определения размеров пакетов, как: автоопределение размеров пакетов потоковым планировщиком; динамический выбор из набора фиксированных размеров пакетов; определение размера пакета с условием его кратности какому-либо из набора фиксированных размеров и др. По мнению авторов одним из наиболее выверенных способов касательно обработки данных ДЗЗ является определение размеров пакетов в зависимости от метки типа пришедшей информации и в соответствии с технической структурой комплекса обработки, а также текущих режимов функционирования его элементов и подсистем.

Выбор способа определения размеров пакетов должен также зависеть от физического смысла обрабатываемых данных. Так, данные зондирования Земли радиосигналами подлежат распараллеливанию вплоть до записанных импульсов, характеризующих отраженный от земной поверхности сигнал. Данные оптического зондирования — разбиваются по квадратам подобно «разрезанию» фотографии. В этой связи имеет смысл регулировать «конвейерную» технологию обработки в зависимости от типа приходящей для обработки информации. Теоретически рассматриваются следующие способы регуляции:

1. Пакетный конвейер. В этом случае все информационные пакеты, циркулирующие в СЦО, подлежат

раздельной обработке/передаче и не имеют явных взаимосвязей между собой. Такой вариант регулировки («разрывность операций») рассматривался в работе [2].

2. Агрегированный конвейер. Представляет собой вариант регулировки, при котором происходит формирование укрупненных информационных пакетов одного типа, обработка/передача которых тем или иным способом происходит целиком («неразрывность операций») и только после окончания какой-либо неразрывной операции происходят последующие операции [3]. В этом случае требуется анализ комплексных задержек и коллизий, возникающих при осуществлении технологических цепей операций. В настоящее время ведутся исследования по применению такой регулировки в части распределенной обработки данных ДЗЗ, которые показали, что алгоритмы формирования радиолокационных изображений (РЛИ) очень хорошо распараллеливаются, но порядок распараллеливания какого-либо алгоритма, как правило, уникален. Например, алгоритм Range-Doppler Algorithm содержит следующие этапы:

- сжатие по дальности (быстрое преобразование Фурье (БПФ) или свертка);
- коррекция миграции;
- фокусировка;
- сжатие по азимуту,

где на первом и четвертом этапе осуществляется БПФ; на втором и третьем — интерполяция и перемножение с опорным сигналом. Причем первый и второй этапы выполняются со столбцами исходной голограммы, а третий и четвертый — с ее строками (или наоборот, в зависимости от того как располагается в памяти зарегистрированный сигнал). В этой связи распараллеливание алгоритма возможно проводить либо в рамках каждого из этапов (агрегирование пакета по логическому этапу), либо за счет некоторых дополнительных переменных (флагов состояний обработки) с целью агрегирования по некоторому числу обрабатываемых «за раз» элементов строк, после ожидания завершения обработки которых следует начинать обработку столбцов. Необходимость агрегирования пакетов касается и других применяемых алгоритмов. Например, при реализации самого простого и качественного (с точки зрения выходной информации) алгоритма Back Projection, требующего больших вычислительных затрат, выделяют следующие этапы:

- сжатие по дальности (БПФ или свертка);
- выборка отсчетов из сжатого по дальности сигнала в соответствии с законом миграции точечного отражателя;
- фокусировка и вычисление яркости пикселя РЛИ.

По сути второй и третий этапы выполняются последовательно внутри двух вложенных циклов по соответствующим координатам. Учитывая, что фокусировка — это простое перемножение с опорным сигналом,

а вычисление яркости пикселя осуществляется простым суммированием всех отсчетов в выборке, то допускается побочное распараллеливание: сжатие блока по дальности, в этом блоке производится выборка отсчетов, фокусировка, суммирование и вычисление яркости пикселя. После обработки последующих блоков производится комплексное суммирование.

3. Смешанный конвейер. Перспективный случай, совмещающий в себе оба способа. Предварительный анализ показал, что моделирование смешанного конвейера, по всей видимости, связано с ответом на вопрос «Сколько раз в интервале постоянства структуры СЦО происходит рассматриваемая операция» (в технологии обслуживания типа FIFO определяется длиной пакетной цепи).

При ограниченном энергоресурсе на планирование и осуществление операций распределенной обработки/передачи (особо актуально для перспективных спутниковых систем [5]) необходимо осуществлять регулировку интенсивности операций обработки/передачи, например, по следующим вариантам:

1. Автоматическое регулирование интенсивности. В этом случае принимается допущение о линейной зависимости расхода энергии и эффективности процесса обработки/передачи. Синтезированию адаптивных энергоэффективных/высокопроизводительных режимов посвящены работы [2,4,5].

2. Дискретный выбор режима интенсивности. Осуществляется путем выбора наиболее подходящего режима для текущего временного интервала постоянства структуры СЦО. Такой вариант выбора требуется в условиях нелинейной зависимости интенсивности операций и расхода ресурсов на их осуществление.

3. Гибридное регулирование. Объединяет оба подхода. Перспективный случай, требует проведения дальнейших исследований и обоснования оптимальности выбираемых «дискретных» и «непрерывных» энергоэффективных/высокопроизводительных режимов функционирования СЦО.

Работа пакетного планировщика может быть организована с применением известных (в т.ч. перспективных) методов и алгоритмов: детерминированных (принципы LIFO, FIFO, динамических оптимизационных моделей [6]; различные модификации алгоритма Дейкстры [7]; стохастических (применение датчика случайных чисел, различных алгоритмов на основе генетического и мультиагентного подходов и др.); нечетких (предполагается использование знаний экспертов о наилучших практиках распределенной обработки и формировании эвристических правил планирования в нечетком виде). При этом приоритетность пакетных операций может быть реализована в различной степени связности с потоковым планировщиком. Основными вариантами могут быть следующие:



1. Без зависимых приоритетов. Предполагается установление единого критерия для потокового и пакетного планировщика. Способ достижения наилучшего результата работы пакетного планировщика в этом случае определяется только порядком его работы. При этом использование потокового планировщика не требуется.

2. Обеспечение заданного значения критерия. Предполагается использование результатов работы потокового планировщика с целью определения предельного значения критерия. Работа пакетного планировщика в этом случае завершается при достижении этого значения.

3. Обеспечение перевода системы в требуемое конечное состояние. Предполагается использование результатов работы потокового планировщика с целью определения требуемого конечного состояния СЦО. Работа пакетного планировщика в этом случае должна быть направлена на достижение этого состояния (в зависимости от порядка работы). Возможен вариант выделения промежуточных состояний, относящихся к интервалам постоянства СЦО.

4. Обеспечение выполнения потокового плана. В этом случае пакетный планировщик использует всю полноту потокового плана и регулирует свою работу в целях достижения требуемых значений.

Построение потокового плана, согласно работам [1,2], гарантирует получение оптимального значения критерия при заданных ограничениях. Потоковый план и соответствующее ему конечное состояние СЦО при этом могут не являться единственными доставляющими оптимальное значение критерия. Именно поэтому у авторов нет полной уверенности в необходимости использования

одной лишь «жесткой» взаимосвязи потокового и пакетного планировщиков.

### Общий порядок регулировки межмодельных взаимосвязей двухуровневого полимодельного комплекса распределенной обработки

В связи с вышеизложенным, регулировка межмодельных взаимосвязей двухуровневого полимодельного комплекса распределенной обработки в целом (и распределенной обработки данных ДЗЗ в частности) является комплексной задачей с рядом нерешенных вопросов. В общем виде порядок организации ее решения может быть представлен в виде следующей схемы (см. рис.).

Здесь следует отметить, что свертка Лагранжа используется при решении задачи планирования на потоковом уровне и гарантирует оптимальность получаемых потоковых планов. В этой связи на ее основе рекомендуется формировать критерий оптимальности для пакетного планировщика; агрегированные ресурсные и временные ограничения в схеме не приведены и формируются потоковым планировщиком в рамках решения задачи планирования; а учет результатов работы потокового планировщика при планировании пакетным планировщиком может осуществляться различными способами:

- использование заданного значения критерия — целесообразно применять при практически полном или полном отсутствии «глубинных» взаимосвязей между используемыми математическими аппаратами потокового и пакетного планировщика, которое может привести к автономному использованию пакетного планировщика,

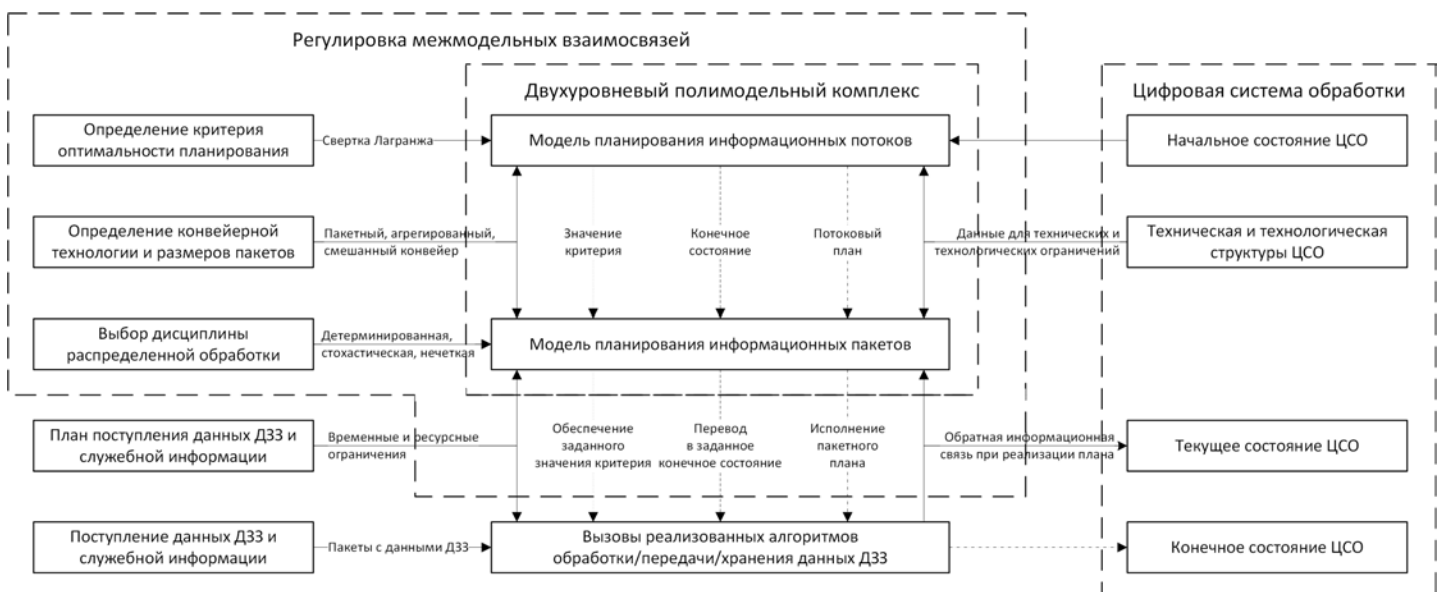


Схема регулировки межмодельных взаимосвязей комплекса обработки данных ДЗЗ

работающего с заданным извне критерием оптимальности или без такового вовсе;

- заданное конечное состояние — рассматривается авторами как одна из вариаций межмодельных связей, которая в ряде случаев способна обеспечить требуемых баланс показателей качества работы полимодельного комплекса. Допускается также использование промежуточных состояний в рамках структурной динамики ЦСО;

- потоковый план в целом — по мнению авторов такой учет целесообразен при малых размерах информационных пакетов, распределение которых по вычислительным узлам в соответствии с потоковым планом должно обеспечить наилучшие значения показателей качества работы пакетного планировщика.

#### **Методика применения двухуровневого полимодельного комплекса распределенной обработки данных дистанционного зондирования Земли**

В соответствии с общим порядком регулировки межмодельных взаимосвязей и порядком применения двухуровневого полимодельного комплекса распределенной обработки в различных сценариях разработана методика применения двухуровневого полимодельного комплекса распределенной обработки данных дистанционного зондирования земли, основное содержание которой относится к вопросам подготовки исходных данных и комплекса обработки в целом, параллельной обработки поступающих разнотипных данных ДЗЗ и синхронизации исполнения плана с пакетным планировщиком и может быть представлено следующей последовательностью шагов:

Шаг 1. Подготовка исходных данных:

- уточнение типа и структуры входных данных ДЗЗ. Таковыми могут быть данные оптического или радиозондирования, или видеосъемки, или другие. При уточнении необходимо провести сверку с технологической структурой, то есть, подтвердить, что хотя бы один из узлов системы владеет технологией обработки ожидаемых данных;

- уточнений технической структуры ограничений. Знание технической структуры в совокупности с технологической необходимо для составления плана ее задействования для обработки;

- уточнение установленного состава выходных данных. Жесткий формат выходных данных невозможен из-за разнотипности входных данных и многообразия перспективных задач;

- формирование перечня задач обработки данных ДЗЗ. Необходимо для формирования выборки моделей нижнего уровня комплекса, которые будут задействованы, и исключения лишних действий. Таким образом повышается оперативность получения данных.

Шаг 2. Построение потокового плана (кроме случая автономной работы пакетного планировщика):

- оценка возможностей ЦСО по решению поставленной задачи в существующих условиях. Анализируются возможные пути решения задачи;

- построение технологических цепей распределенной обработки данных ДЗЗ. В соответствии с наилучшим вариантом составляются цепочки итераций, которые необходимо провести, для достижения конечного результата.

Шаг 3. Регулировка межмодельных взаимосвязей с помощью комплекса:

- определение критерия оптимальности планирования для потокового и пакетного планировщика. Это может быть время, или полнота обработки, или ресурсоемкость, или другой;

- определение рациональных размеров пакетов и подходящей конвейерной технологии. Проводится для сведения к минимуму простоев вычислительных ресурсов;

- определение приоритетности пакетных операций (по критерию оптимальности/по значению критерия оптимальности/по конечному состоянию/по потоковому плану). Необходимо для проведения обработки в требуемой последовательности;

- выбор дисциплины распределенной обработки для пакетного планировщика. То есть, выбор наиболее удовлетворяющего варианта из предложенных.

Шаг 4. Осуществление пакетного планирования:

- уточнение возможностей ЦСО по решению поставленной задачи в существующих условиях;

- уточнение технологических цепей распределенной обработки;

- распределение задач по узлам и каналам связи в соответствии с технологическими цепями.

Аналогично с потоковым планированием.

Шаг 5. Ожидание поступления данных ДЗЗ

Обработка может быть спланирована, но не проведена, потому что, например, предполагаемый результат уже не удовлетворяет заказчика. Выполнение начинается при подтверждении плана и загрузки данных.

Шаг 6. Исполнение пакетного плана:

- непосредственное исполнение на узлах и в каналах связи. Выполняются действия по обработке, хранению и передаче данных;

- синхронизация с пакетным планировщиком. Работа в формате запрос-ответ для проведения следующей операции.

- при необходимости выполнение экстренных мероприятий по парированию отказов и срывов выполнения плана (перепланирование, технические работы и др.).

Шаг 7. Получение результатов обработки установленного состава заказчику.



Следует отметить, что при реализации методики на практике допустимы различные сценарии исполнения технологических цепей в зависимости от регулировки межмодельных связей и используемых технологий информационного взаимодействия элементов и подсистем ЦСО. Ряд направлений практической регулировки (особенно вопросы, связанные с регулировкой размеров агрегированных пакетов) в целях повышения производительности ЦСО в дальнейшем требуют проведения комплексного моделирования и практических экспериментов. На данном этапе исследований авторы могут лишь описать общий порядок применения комплекса обработки в таких сценариях, как:

- «пакетный конвейер»;
- «пакетный конвейер с комплексированием»;
- «агрегированный конвейер»;
- «агрегированный конвейер с комплексированием».

При реализации сценария «пакетный конвейер» следует воспользоваться потоковым планировщиком. Полученный потоковый план следует преобразовать в технологические цепочки для всех интервалов постоянства посредством декомпозиции агрегированных потоковых переменных на составляющие и их соединении в процессы, перемещающие потоки по ЦСО и осуществляющие их последовательное преобразование, разделение и/или объединение и/или комплексирование в новые потоки. После этого требуется сформировать последовательности программных вызовов в соответствии с технологическими цепями (в качестве реализации вызовов авторы предлагают использовать один из универсальных подходов к построению программной архитектуры — SOA и установить на разные сетевые порты с дополнительным указанием в каком узле и какой алгоритм будет вызван, аналогично тому, как это было сделано при создании сервис-ориентированного распределённого программного комплекса в рамках партнёрских проектов, выполняемых по программе Союзного государства «Мониторинг-СТ» [8,9]. После завершения последовательности вызовов, требуется запускать некоторое программное решение, которое должно сигнализировать о завершении цепочки. После того как все цепочки потокового плана завершены «верхний» уровень системы обработки (ожидающий завершения процесса) ждет прихода следующей (ожидаемой согласно плану) информации и т.д. пока не вся запланированная к обработке информация не поступит в ЦСО.

При реализации сценария «пакетный конвейер с комплексированием» порядок аналогичный с одним существенным отличием — после каждого алгоритма обработки в цепочке следует устанавливать программу «заглушку» с синхронизацией прихода всех пакетов, требуемых для комплексирования.

При реализации сценария «агрегированный конвейер» порядок аналогичен предыдущему за исключением

того, что «заглушка» должна осуществлять функцию запроса исполнения всего агрегированного пакета (заданного числа простых пакетов) прежде чем осуществить переход к следующему алгоритму обработки в цепочке.

При реализации сценария «агрегированный конвейер с комплексированием» функционал «заглушек» соответствует сразу двух предыдущим сценариям.

### Заключение

В статье приведена методика применения двухуровневого полимодельного комплекса распределенной обработки данных дистанционного зондирования Земли, который за счет регулировки межмодельных связей потенциально позволяет обеспечить наилучшие условия для осуществления эффективной распределенной обработки данных ДЗЗ в ЦСО. Однако, данное утверждение требует математического обоснования и практического подтверждения. Для понимания особенностей функционирования описаны способы межмодельного взаимодействия. Детальная проработка различных вариантов регулировки будет проведена в ходе комплексного моделирования. Уточняющие публикации будут подготовлены в процессе дальнейших исследований. Также, открытым остается вопрос о возможности формирования рекомендаций для построения физической системы обработки на основе знаний о входных данных и ресурсоемкости обработки для достижения максимальной эффективности системы. Это является перспективным направлением исследований.

### Литература

1. Павлов Д.А. Модель планирования гибкого перераспределения операций управления между элементами и подсистемами АСУ КА // Труды Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского. 2014. № 642. С. 149–152.
2. Павлов Д.А., Павлов А.Н., Мануйлов Ю.С., Слинко А.А. Планирование работ системы информационного взаимодействия кластера перспективных малых космических аппаратов дистанционного зондирования Земли с учетом оценки ее робастности // Труды XVI Российской конференции «Распределенные информационно-вычислительные ресурсы. Наука — цифровой экономике» (Новосибирск, 04–07 декабря 2017 г.). Новосибирск, 2017. С. 370–379.
3. Соколов Б.В., Охтилев М.Ю., Потрясаев С.А., Юсупов Р.М. Методы и алгоритмы адаптации моделей планирования промышленного производства // Сборник трудов 5-й международной научно-практической конференции «Имитационное и комплексное моделирование морской техники и морских транспортных систем» (Санкт-Петербург, 10 июля 2019 г.). Москва: Перо, 2019. С. 166–172.
4. Басыров А.Г., Казанцев Д.И., Карытко А.А., Шаменков Н.А. Конфигурирование вычислительных

систем на основе виртуализации ресурсов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2017. № 12–2. С. 331–345.

5. Басыров А.Г., Шульгин А.Н. Применение технологии энергосберегающих параллельных вычислений в автономных вычислительных системах на отечественной элементной базе // Интеллектуальные технологии на транспорте. 2017. № 2 (10). С. 29–34.

6. Кулаков А.Ю., Кулаков Ф.М., Павлов А.Н., Потрысаев С.А., Соколов Б.В. Модельно-алгоритмическое обеспечение планирования реконфигурации бортовой аппаратуры маломассоразмерных космических аппаратов // Материалы 11 российской мультikonференции по проблемам управления «Информационные технологии в управлении» (ИТУ-2018) (Санкт-Петербург, 02–04 октября 2018 г.). Санкт-Петербург, 2018. С. 123–130.

7. Кулаков Ю.А., Воронников В.В. Формирование оптимальных маршрутов в мобильных сетях на основе модифи-

цированного алгоритма дейкстры // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Серія: Інформатика, управління та обчислювальна техніка. 2012. № 56. С. 13–19.

8. Zelentsov V., Yusupov R., Potryasaev S. Intellectual information platform for creation of new applications and services based on integrated use of ers and ancillary data // Geoinformatics research papers. 2017. Vol. 5. BS1002. P. 103.

9. Зеленцов В.А., Потрысаев С.А., Соколов Б.В., Скобцов В.Ю., Кореняко С.А., Ким Д.С., Вакульчик Е.Н., Кульбак Л.И., Николаеня Е.Д., Лапцкая Н.В., Саксонов Р.В. Сервис-ориентированный распределённый программный комплекс для оценивания и многокритериального анализа показателей надёжности и живучести бортовой аппаратуры малых космических аппаратов: российский и белорусский сегменты // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. 2017. Т. 16. № 4. С. 118–129.

## METODOLOGY FOR APPLYING A TWO-LEVEL POLYMODEL COMPLEX FOR PROCESSING DATA FROM REMOTE SENSING OF THE EARTH

**DMITRII A. PAVLOV**

St. Petersburg, Russia, dpavlov239@mail.ru

**ANASTASIA D. SHULZHENKO,**

St. Petersburg, Russia, anastasija\_dmitrievna@mail.ru

**KEYWORDS:** adaptability; polymodelity; structural dynamics; informational interaction; operating modes; Earth remote sensing; radar data.

### ABSTRACT

The complex of distributed data processing of remote sensing of the Earth consists of the models interacting on two levels. The task distribution scheduler who controls the use of the processing models (lower level) of technical and technological resources is at the upper level of the execution. The models of the lower level represent the processing options for the input information packets of various types. Their behavior can be adapted for solution the specific problems in the context of the condition pointed out in the article. The interconnection of models is carried out by using a service-oriented architecture (SOA). The concept of its creation is aimed at the effectiveness increase of the resulting data receipt. It is worth nothing that at the current stage of development attention is not paid to the problems of evaluating and improving the quality of the data. So, in the article the emphasis is on the rules of intermodal interaction which are the

link between the levels of the complex. The rules for their adjustment are also given. The proper choice of the interaction type is the key to the correct result. A description of the models used will be given in subsequent work, as well as their estimate and the assessment of the complex as a whole. This work presents the methodological basis for the applied research of the combined use of several models of distributed data processing of remote sensing of the Earth. At gives the possibility of flexible adjustment of the software part in order to solve the incoming tasks effectively by means of the choice of necessary models and their logical circuits. At the same time, the construction of a digital data processing system (DDPS) of remote sensing of the Earth should be implemented taking into account the special features of hardware, software and system-forming solutions. Such investigations are carried out in order to create a high-performance digital data





processing system and to solve the problem of forming requirements for the DDPS technical structure.

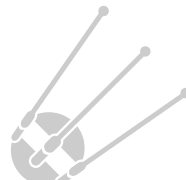
#### REFERENCES

1. Pavlov D.A. Planning model of flexible redistribution of control operations between elements and subsystems of the ACS of the spacecraft. *Proceedings of the Mozhaisky Military Space Academy*. 2014. No. 642. Pp. 149-152. (In Rus)
2. Pavlov D.A., Pavlov A.N., Manuilov Yu. S., Slinko A.A. Planning of the System of Information Interaction Cluster of Promising Small Satellites of Earth Remote Sensing with the Account of Evaluation of its Robastness. *Proceedings of the XVI Russian Conference "Distributed Information and Computing Resources. Science – the digital economy"*, Novosibirsk, December 04-07, 2017. Novosibirsk, 2017. Pp. 370-379. (In Rus)
3. Potryasaev S.A., Sokolov B.V., Okhtilev M. Yu., Potryasaev S.A., Yusupov R.M. Methods and algorithms for adaptation of industrial production planning models. *Proceedings of the 5th international scientific-practical conference "Simulation and integrated modeling of marine technology and marine transport systems"*, Saint Petersburg, July 10, 2019. Moscow: Pero, 2019. Pp. 166-172. (In Rus)
4. Basyrov A.G., Karytko A.A., Kazantsev D.I., Shamenkov N.A. Configuring the computing systems based on resource virtualizationresearch computing virtualization-based. *Izvestiya TulGU* [News of the Tula state university. Technical sciences]. 2017. No. 12-2. Pp. 331-345. (In Rus)
5. Basyrov A.G., Shulgin A.N. Application of energy-saving parallel computing technology in Autonomous computing systems based on domestic element base. *Intelligent transport technologies*. 2017. No. 2 (10). Pp. 29-34. (In Rus)
6. Kulakov A.Y., Kulakov F.M., Pavlov A.N., Potryasaev S.A., Sokolov B.V. Model-algorithmic support for planning reconfiguration of onboard equipment of small-mass space vehicles. *Materialy 11 rossiyskoy mul'tikonferentsii po problemam upravleniya "Informatsionnye tekhnologii v upravlenii"* [Proc. of the 11th Russian multi-conference on management issues "Information technologies in management" (ITU-2018), Saint Petersburg, 02-04 October 2018]. St Petersburg, 2018. Pp. 123-130. (In Rus)
7. Kulakov Yu.A., Vorotnikov VV Forming of optimum routes in mobile networks on the basis of the modified algorithm of Deykstry. *Bulletin of NTUU "KPI". Informatics, Management and Computer Science*. 2012. No 56. Pp. 13-19. (In Rus)
8. Zelentsov V., Yusupov R., Potryasaev S. Intellectual information platform for creation of new applications and services based on integrated use of ers and ancillary data. *Geoinformatics research papers*. 2017. Vol. 5. BS1002. P. 103.
9. Potryasaev S.A. Service-oriented distributed software package for evaluating and multi-criteria analysis of reliability and survivability indicators of onboard equipment of small spacecraft: Russian and Belarusian segments / Zelentsov VA, Potryasaev SA, Sokolov BV, Skobtsov V. Yu., Korenyako S.A., Kim D.S., Vakulchik E.N., Kulbak L.I., Nikolaenya E.D., Lapitskaya N.V., Saksonov R.V. *VESTNIK of Samara University. Aerospace and Mechanical Engineering*. 2017. Vol. 16. No. 4. Pp. 118-129. (In Rus)

#### INFORMATION ABOUT AUTHOR:

Pavlov D.A., PhD, Lecturer of the Mozhaisky Military Space Academy; Shulzhenko A.D., Laboratory Chair – Senior Research Officer of Military Institute of Research of the Mozhaisky Military Space Academy.

**For citation:** Pavlov D.A., Shulzhenko A.D. Metodology for applying a two-level polymodel complex for processing data from remote sensing of the Earth. *H&ES Research*. 2020. Vol. 12. No. 2. Pp. 10-17. doi: 10.36724/2409-5419-2020-12-2-10-17 (In Rus)





doi: 10.36724/2409-5419-2020-12-2-18-28

## ДИАПАЗОН БАЛАНСИРОВОЧНЫХ УГЛОВ ОКТОКОПТЕРА С ИЗБЫТОЧНЫМИ СТЕПЕНЯМИ СВОБОДЫ

**ПАЛАГИН**

**Антон Владимирович<sup>1</sup>**

**ДЕГТЯРЕВ**

**Александр Александрович<sup>2</sup>**

### АННОТАЦИЯ

Рассмотрена статическая балансировка многороторного аппарата типа октокоптер с конструкцией отличающейся от классической за счет непараллельного расположения осей воздушных винтов. Двигатели рассматриваемого аппарата с установленными на валах винтами закреплены на радиальных балках и повернуты вокруг балок поочередно влево вправо через один. Получившаяся конструкция позволяет осуществлять независимое управление аппаратом по угловым и пространственным координатам. Произведен расчет балансировочных углов крена и тангажа в статике. В качестве критерия дополняющего систему уравнений статического баланса рассмотрен критерий минимума потребляемой двигателями мощности. С использованием численных методов нелинейной оптимизации построены диаграммы доступных балансировочных углов при различных коэффициентах тяговооруженности, обоснован выбор оптимального значения коэффициента тяговооруженности. Предложена модификация критерия минимума потребляемой мощности, позволяющая увеличить диапазон доступных балансировочных углов в котором отсутствует насыщение двигателей по управлению. Проведено сравнение исходного и модифицированного критерия. Проведен расчет диапазонов балансировочных углов для случая полета с одним отказавшим мотором и продемонстрирована способность аппарата рассматриваемой конструкции продолжать выполнение задания при одиночных отказах. Исследована возможность построения аппарата с использованием двигателей одного направления вращения практически важная при использовании поршневых двигателей внутреннего сгорания с конструктивно обусловленным направлением вращения. Показана возможность создания многороторной платформы не содержащей дополнительных механизмов ориентации и позволяющей за счет поворота корпуса осуществлять позиционирование жестко скрепленной полезной нагрузки. Рассмотренная конструкция с отклоненными на  $20^\circ$  осями воздушных винтов при коэффициенте тяговооруженности  $k = 2,4$  позволяет осуществлять отклонения по крену и тангажу на углы до  $13^\circ$ .

### Сведения об авторах:

<sup>1</sup>сотрудник Центрального научно-исследовательского института химии и механики, г. Москва, Россия, palagin@gmail.com

<sup>2</sup>к.ф.-м.н., сотрудник Центрального научно-исследовательского института химии и механики, г. Москва, Россия, mail@cniihm.ru

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** многороторная платформа; октокоптер; избыточные степени свободы; полет при отказах.

**Для цитирования:** Палагин А.В., Дегтярев А.А. Диапазон балансировочных углов октокоптера с избыточными степенями свободы // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2020. Т. 12. № 2. С. 18-28. doi: 10.36724/2409-5419-2020-12-2-18-28



**Введение**

Классический квадрокоптер [1] состоит из четырех силовых установок размещенных в одной плоскости. В наиболее массовых конструкциях используются электродвигатели и воздушные винты фиксированного шага закрепленные непосредственно на валах двигателей. Двигательные установки располагаются симметрично относительно центра масс аппарата (рис. 1). Оси воздушных винтов параллельны вертикальной оси аппарата.

Направление вращения моторов различное, — используются два двигателя правого и два двигателя левого вращения. Вектор тяги каждого воздушного винта направлен по вертикальной оси аппарата. Если частота вращения всех двигателей одинакова управляющий момент отсутствует. Управляющие моменты формируются за счет изменения оборотов двигателей и позволяют обеспечить заданное угловое положение аппарата. Для управления пространственным положением в горизонтальной плоскости аппарат наклоняется в сторону требуемого направления движения, проекция вектора силы тяги на горизонтальную плоскость приводит к ускорению аппарата в заданном направлении. Так как при этом производится наклон всего аппарата, то

для обеспечения стабилизации полезной нагрузки, например, такой как камера, требуется дополнительный карданный подвес. Динамика углового и пространственного положения аппарата сильно связана. Так порыв ветра, приводящий к смещению аппарата от точки стабилизации в горизонтальной плоскости, вынуждает систему управления осуществить наклон аппарата для создания управляющей силы и компенсации возникшего отклонения.

Конструкция с четырьмя двигателями является наиболее простой, не требующей дополнительных приводов, помимо основных двигателей, для управления полетом. Производители выпускают специальные серии электродвигателей с малыми моментами инерции и высокими удельными мощностями, позволяющими обеспечить требуемую динамику разгона и торможения воздушных винтов.

Конфигурации с меньшим числом двигателей также возможны, но требуют дополнительных приводов для поворота роторов и используются реже. Так, вариант с тремя двигателями требует поворота как минимум одного, обычно, хвостового двигателя. Для управления двухроторным аппаратом требуются поворотные механизмы для обоих двигателей (рис. 2).

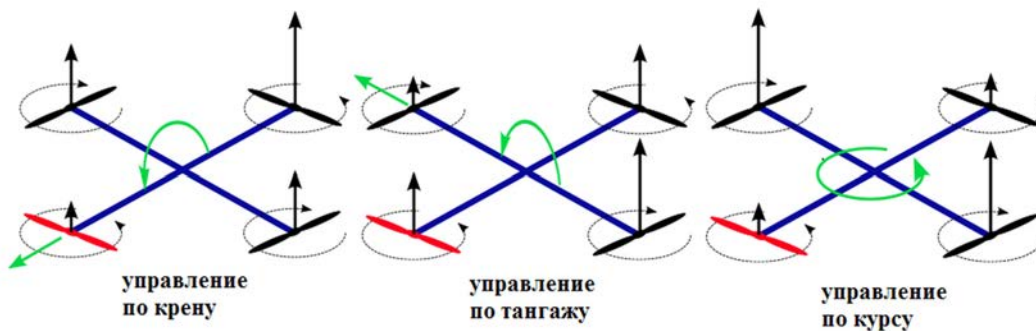


Рис. 1. Принцип управления квадрокоптера

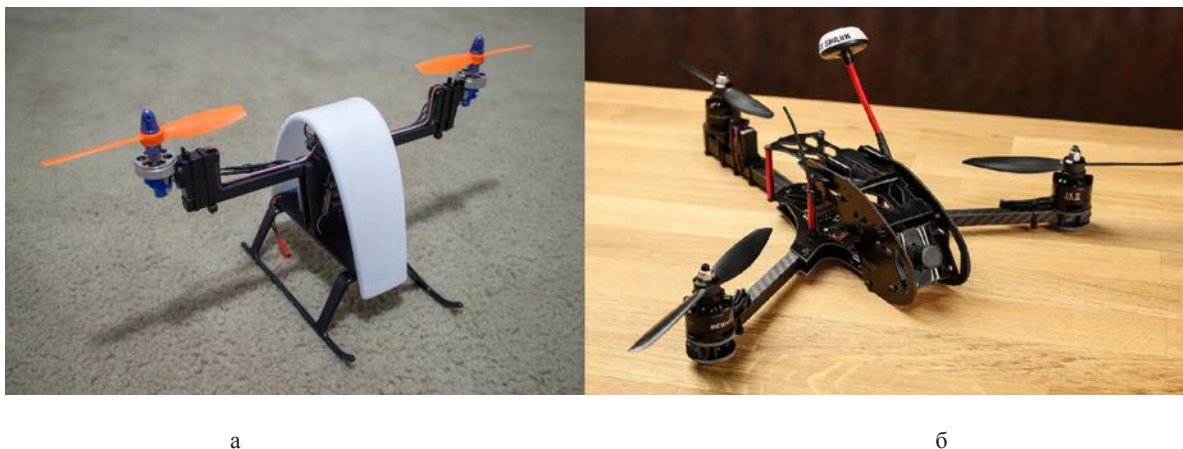


Рис. 2. Бикоптер[6] и трикоптер[2,3]

Компоновки с числом роторов 6, 8 и более позволяют создавать аппараты больших взлетных масс, обладают пониженными вибрациями и большей живучестью. При должном запасе тяги, аппараты с 6 и большим количеством двигателей способны продолжать полет при отказе одного двигателя.

Относительно новым направлением развития многороторных платформ являются аппараты с избыточными степенями свободы. Если классическое расположение роторов в одной плоскости позволяет обеспечить четыре управляющих воздействия: величина вектора силы тяги и три управляющих момента, то аппараты с избыточными степенями свободы могут управлять как величиной вектора силы тяги, так и её направлением, обеспечивая шесть управляющих воздействий: три компонента вектора силы тяги и три момента.

В проекте Omnicopter (рис. 3а) используется 6 реверсивных электродвигателей. Примененная структура позволяет обеспечить раздельное управление угловым и пространственным положением. Аппарат способен перемещаться по пространственной траектории, одновременно, выполняя независимое вращение вокруг всех трех осей. Такая конструкция аппарата позволяет обеспечить ориентацию полезной нагрузки (видеокамеры), без применения дополнительной карданной подвески.

В аппарате Volirox используется конструкция классического гексакоптера, дополненная приводами, позволяющими вращать балки с закрепленными моторами (рис. 3б).

Для ряда практических задач потребенный диапазон углов не превышает 15–20°, что позволяет использовать конструкции многороторного аппарата, у которого двигатели установлены жестко, но оси вращения отклонены от вертикали. Потеря грузоподъемности в горизонтальном режиме при этом не превышает 7% ( $1 - \cos 20^\circ$ ). Аппарат

такой конструкции рассмотрен в работе [4]. Важным преимуществом такого решения является возможность их создания на базе готовых коммерчески доступных многороторных платформ.

Задача настоящей работы заключается в анализе диапазона балансирующих углов крена и тангажа аппарата-окоптера с двигателями установленными под углом к вертикальной оси аппарата.

### Конструкция аппарата

Аппарат должен обеспечивать полет с грузом до 6 кг. Груз — остронаправленный источник света сконструирован в цилиндрическом контейнере d80x800. В режиме висения аппарат должен иметь возможность отклонения по крену и тангажу до 10°. При разработке аппарата ставилась цель максимального использования готовых комплектующих, выпускаемых для многороторных аппаратов классических схем.

В конструкции аппарата планируется использовать моторы, моторы, воздушные винты и регуляторы аналогичные применяемым на платформе DJI S1000 (рис. 4).

### Геометрия аппарата

Рассматриваемый аппарат имеет симметричную конструкцию. Восемь моторов равномерно распределены по окружности при помощи радиальных балок одинаковой длины (рис. 5).

Положение каждого двигателя задается координатами центра:

$$p_i = R \begin{pmatrix} \cos(45^\circ i - 22,5^\circ) \\ \sin(45^\circ i - 22,5^\circ) \\ 0 \end{pmatrix} \quad (1)$$



Рис. 2. Бикоптер[6] и трикоптер[2,3]



Рис. 4. Октокоптер DJI S1000

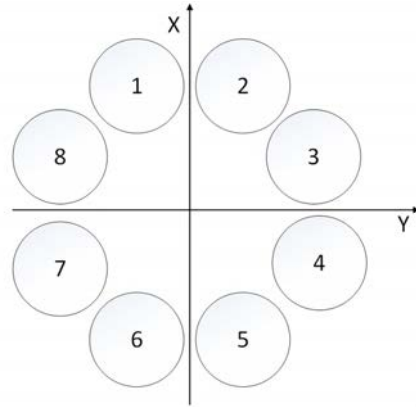


Рис. 5. Расположение двигателей

где  $i = 1..8$  — номер двигателя,  $R$  — радиус окружности по которой размещены двигатели.

Положение оси вращения двигателя  $v_i$  задается поворотом мотора вокруг балки на заданный угол  $\alpha_i$  от вертикального положения. Мотора поворачиваются на один и тот же угол  $\alpha_{mot}$  в разные стороны, «через один»:

$$a = \{+1, -1, +1, -1, +1, -1, +1, -1\} * \alpha_{mot} \quad (2)$$

Направление вращения роторов  $s_i$  так же задается «через один»:

$$s = \{+1, -1, +1, -1, +1, -1, +1, -1\} \quad (3)$$

#### Математическая модель аппарата в режиме висения

В режиме висения должны выполняться условия равновесия для твердого тела:

$$\begin{cases} \sum_i \mathbf{F}_i(u_i) - mg = 0 \\ \sum_i \mathbf{M}_i(u_i) = 0 \end{cases} \quad (4)$$

где  $\mathbf{F}_i$  сила тяги  $i$ -того двигателя,  $\mathbf{M}_i$  момент действующий на аппарат в результате работы  $i$ -того двигателя.

$\mathbf{F}_i$  и величину реактивного момента  $\mathbf{M}_{реактивный\ i}$  определим как линейную функцию от подаваемого на мотор управления  $u_i$ :

$$\mathbf{F}_i = F_{max} \mathbf{v}_i u_i \quad (5)$$

$$\mathbf{v}_i = M_{rot}(\mathbf{V}_i, a_i) \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} \quad (6)$$

Т.к. ось мотора не проходит через центр масс то возникает момент от силы тяги мотора:

$$\mathbf{M}_{Fi} = \mathbf{F}_i \times \mathbf{p}_i \quad (7)$$

$$\mathbf{M}_i = \mathbf{M}_{Fi} + \mathbf{M}_{реактивный\ i} \quad (8)$$

$$\mathbf{M}_{реактивный\ i} = M_{max} s_i \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} u_i \quad (9)$$

Матрица поворота  $M_{rot}$  задает вращение вокруг вектора  $\mathbf{v}$  на угол  $a$  согласно выражению (10):

$$M_{rot}(\vec{v}, a) = \begin{pmatrix} \cos a + v_1^2(1 - \cos a) & v_1 v_2(1 - \cos a) - v_3 \sin a & v_1 v_3(1 - \cos a) + v_2 \sin a \\ v_2 v_1(1 - \cos a) + v_3 \sin a & \cos a + v_2^2(1 - \cos a) & v_2 v_3(1 - \cos a) - v_1 \sin a \\ v_3 v_1(1 - \cos a) - v_2 \sin a & v_1 v_2(1 - \cos a) - v_1 \sin a & \cos a + v_3^2(1 - \cos a) \end{pmatrix} \quad (10)$$

Примем допустимый диапазон сигнала управления:

$$0 \leq u_i \leq 1 \quad (11)$$

В рассматриваемой системе уравнений не учитываются аэродинамические эффекты приводящие к взаимному влиянию воздушных винтов друг на друга, а так же эффекты вызываемые боковым ветром. Подробно взаимное влияние непараллельно установленных воздушных винтов рассмотрено в [10].

Система уравнений содержит 6 уравнений и 8 неизвестных и является недоопределенной. Для получения однозначного решения добавим условие на минимальную суммарную мощность, потребляемую приводами.

Воспользуемся выражениями, связывающими тягу пропеллера  $F$  и потребляемую мощность  $Q$  с оборотами  $n$  (6):

$$F = C_T \rho n^2 D^4 \quad (12)$$

$$Q = C_q \rho n^3 D^4 \quad (13)$$

где  $C_T$   $C_q$  — коэффициенты тяги и мощности воздушного винта, соответственно,  $D$  — диаметр воздушного винта  $\rho$  — плотность воздуха.

Выразив  $n$  из (12) и подставив полученное значение в (13) получаем:

$$Q = C_q \rho \left( \frac{F}{C_T \rho D^4} \right)^{\frac{3}{2}} D^4 = k F^{\frac{3}{2}} \quad (14)$$

Тогда, с учетом, критерий минимума мощности запишется в виде:

$$\min \left( \sum_i u_i^{3/2} \right) \quad (15)$$

Задача вычисления управления, потребного для статической балансировки аппарата в заданном угловом положении, сводится к оптимизации нелинейной функции при нелинейных ограничениях (равенствах) и линейных ограничениях (двухсторонних неравенствах). Полученная точка равновесия может быть использована как точка линеаризации при синтезе LQR алгоритма управления [11].

### Результаты моделирования

Для решения задач данного класса существует множество математических методов. Воспользуемся готовой программной реализацией методов многомерной нели-

нейной оптимизации из программного пакета MATLAB — функцией `fmincon`.

Проведем расчеты управления, необходимого для балансировки аппарата на различных углах крена. При расчетах использовались следующие значения параметров:

$$M_{\max} = 0,4H^*m, R = 0,8 \text{ м}, m=8\text{кг}.$$

Значение  $F_{\max}$  для выражения (5) вычислялось через коэффициент тяговооруженности  $k$  по формуле:

$$F_{\max} = \frac{kmg}{\sum_i v_{iz}}, \quad (16)$$

где  $g$  — ускорение свободного падения,  $m$  — масса аппарата.

При росте крена одни моторы будут увеличивать режим, а другие — уменьшать. После достижения верхнего или нижнего предела дальнейший режим работы мотора меняться не будет.

На рис. 6 приведен граничный случай, когда достижение ограничения по максимальной мощности моторами 1,2 и минимальной мощности моторами 6,7 происходит одновременно. Для исходных данных использованных в граничное значение коэффициента тяговооруженности близко к  $k = 2,4$ , точное определение значения не проводилось.

Для малой тяговооруженности  $k=2$  аналогичный график приведен на рис. 7.

Область возможных значений балансировочных углов разбивается на две зоны. В первой зоне монотонно увеличивается режим 4-х моторов, одновременно уменьшается режим остальных 4-х моторов, а во второй зоне два мотора выходят на максимальный режим и при дальнейшем росте угла управление должно обеспечиваться за счет оставшихся ненасыщенными по управлению 6-тью моторами (рис. 7).

При большом коэффициенте тяговооруженности насыщение моторов по управлению происходит на разгружаемых моторах (рис. 8).

Для малых значений тяговооруженности ( $k < 2,4$ ), при переходе из зоны «8 моторов» в зону «6 моторов» наблюдается изломы на графиках потребного управления (рис. 7). Для большой тяговооруженности,  $k > 2,4$ , переход между зонами происходит без изломов соответствующих кривых (рис. 8).

Характер кривых потребного управления определяется критерием и, как видно из приведенных графиков, для случая малой тяговооруженности выбранный критерий нуждается в модификации, так как в исходном виде он приводит к возникновению изломов потребного управления,

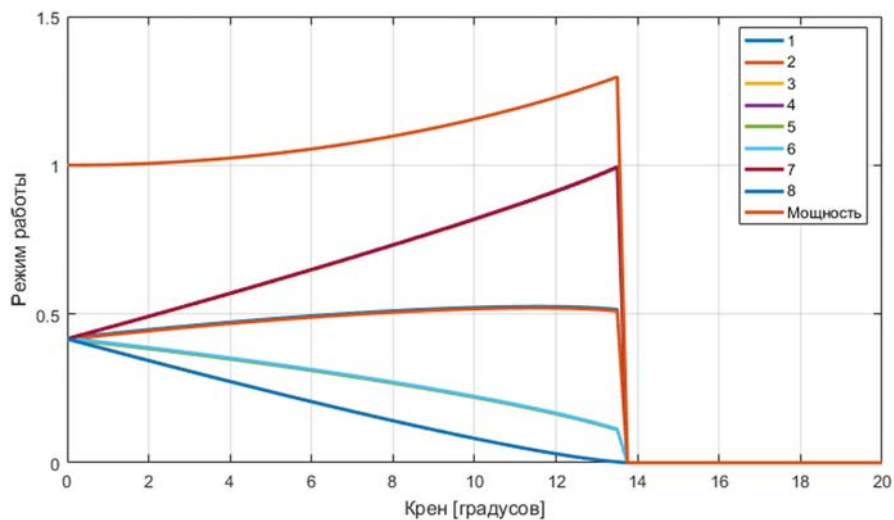


Рис. 6. Управление моторов при коэффициенте тяговооруженности  $k=2,4$

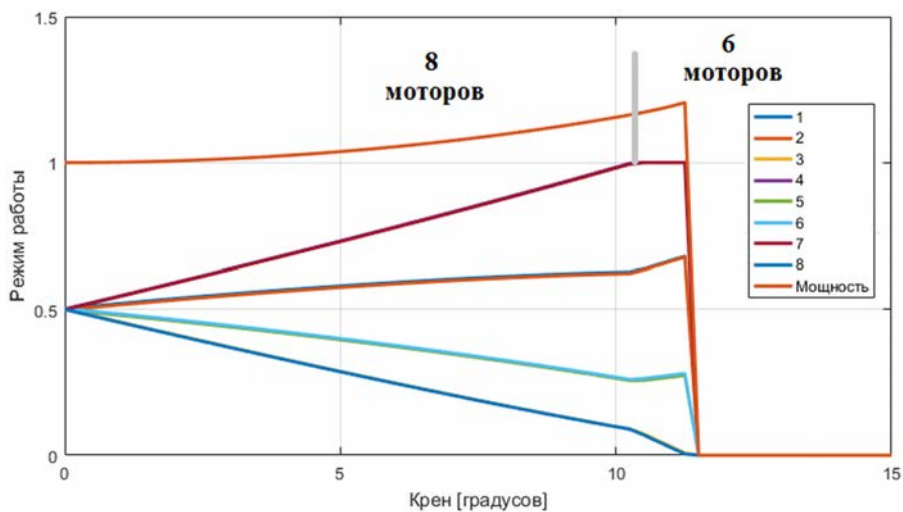


Рис. 7. Управление моторов при коэффициенте тяговооруженности  $k = 2$

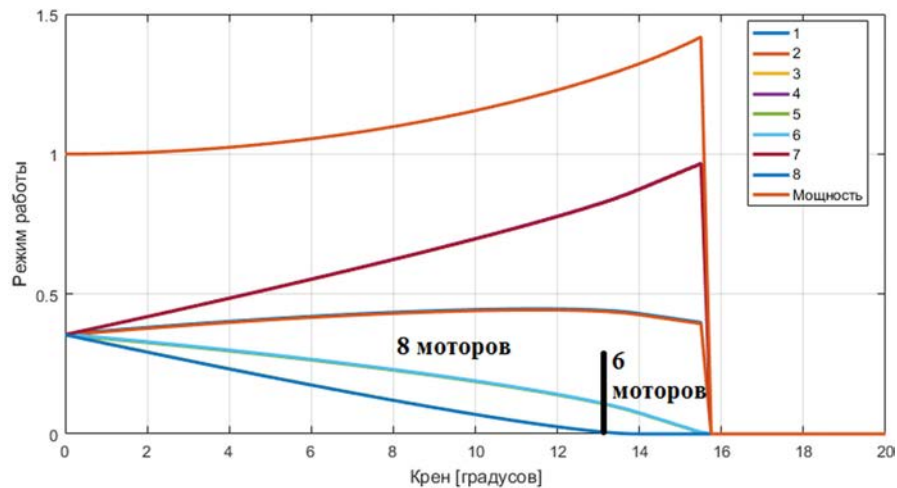


Рис. 8. Управление моторов при коэффициенте тяговооруженности  $k=3$

затрудняющих контроль над угловым и пространственным положением аппарата.

На рис. 9 представлены зоны доступных балансируемых углов в виде двумерных диаграмм. Разными цветами помечены зоны с разным числом не достигших насыщения по управлению моторов.

Самая большая по площади зона, обозначенная коричневым цветом соответствует работе всех восьми моторов в ненасыщенном режиме. В примыкающей к ней зеленой зоне один из моторов достиг насыщения, остальные 7 продолжают управляться. В синей зоне управление возможно за счет шести моторов, в голубой — пяти. Розовые области диаграммы, соответствующие управлению за счет четырех моторов.

В табл. 1 приведены относительные площади зон. За 100% принята площадь зоны работы восьми моторов для коэффициента тяговооруженности  $k = 3$ . Из приведенных данных видно, что при  $k = 2.4$  зона, в которой все моторы работает в управляемом диапазоне  $0 < u < 1$ , достигает своей максимальной площади и при дальнейшем росте  $k$  далее не увеличивается.

Таблица 1

Относительные площади областей возможных балансируемых углов, %

Число ненасыщенных моторов $0 < u < 1$	$k=2$	$k=2,4$	$k=3$	$k=5$	$k=10$
8	58	100	100	93	80
7	15	2,2	13,5	13,8	14,5
6	3,9	3,5	21	24	28
5	0	0,9	5,1	8	15,4
4	0	0	0	0,3	1,2
Сумма	76,9	106,6	139,6	139,1	139,1

При дальнейшем увеличении тяговооруженности появляется возможность обеспечить балансировку при больших углах за счет работы в зонах, в которых один или несколько моторов сбавляют режим до минимума.

Снижение площади зоны работы восьми моторов при дальнейшем росте  $k$  вызвано применением критерия минимальной потребляемой мощности (17). Можно достичь увеличения зона работы восьми моторов без насыщения модифицировав критерий таким образом, чтобы предотвратить насыщение разгружаемых моторов:

$$\min \left( \sum_i |u_i - 0,05|^{3/2} \right) \quad (17)$$

На диаграмме, представленной на рис. 10, наглядно показано, что при одинаковой тяговооруженности модифицированный критерий позволяет увеличить площадь зоны балансируемых углов, в пределах которой обеспечивается управление всеми восемью моторами.

Полученные в результате расчета относительные значения площадей представлены в табл. 2.

Таблица 2

Относительные площади областей возможных значений балансируемых углов

Число моторов $0 < u < 1$	$k=5$ Критерий минимальной мощности, %	$k=5$ Модифицированный критерий, %
8	93	114
7	13,8	7,6
6	24	10
5	8	7,3
4	0,3	0,3
Сумма	139,1	139,2

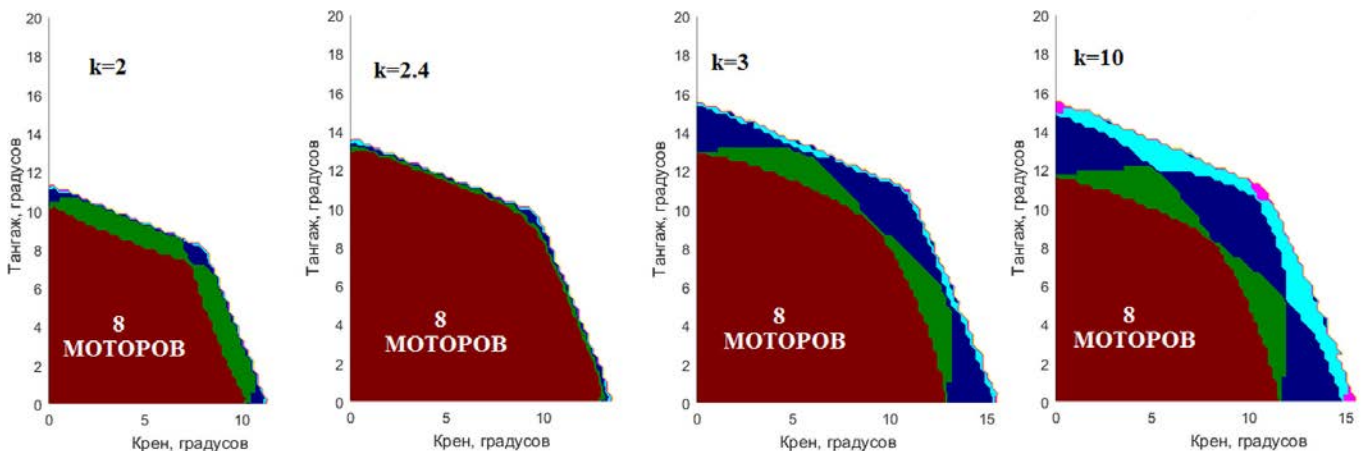


Рис. 9. Зоны доступных балансируемых углов при различных значениях коэффициента тяговооруженности



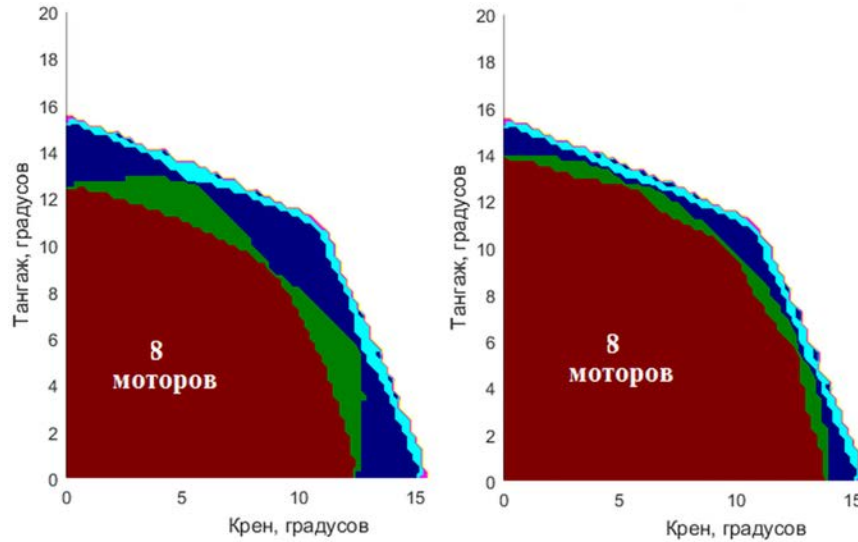


Рис. 10. Сравнение рабочих зон для  $k=5$  с критерием (слева) и критерием (справа)

### Функционирование при отказах

В работе [9] было показано, что гексакоптер классической конструкции не способен продолжать полет при отказе одного двигателя, однако при расположении двигателей с отклонением от вертикальной оси у аппарата появляется возможность продолжать полет только с пятью работающими моторами. Октокоптер также способен функционировать при отказе моторов.

Приведем результаты расчетов доступных балансируемых углов при отказе одного мотора для октокоптера с избыточными степенями свободы. Как видно из приведенных на рис. 11 диаграмм, рассматриваемая конструкция способна к продолжению полета при отказе одного мотора. При этом площадь зоны доступных балансируемых

углов существенно снижается, и использование полезной нагрузки может оказаться невозможным, но возможен возврат, снижение и посадка обычным образом.

### Использование моторов с одним направлением вращения

В аппаратах классической схемы курсовое управление реализовано за счет применения винтов с разным направлением вращения, дающими реактивный момент разных знаков (см. рис. 1). У рассматриваемого аппарата возникающий за счет выкоса винтов момент  $M_z$  значительно превосходит по величине реактивный момент от вращения винта, что позволяет использовать в конструкции винты одного направления вращения.

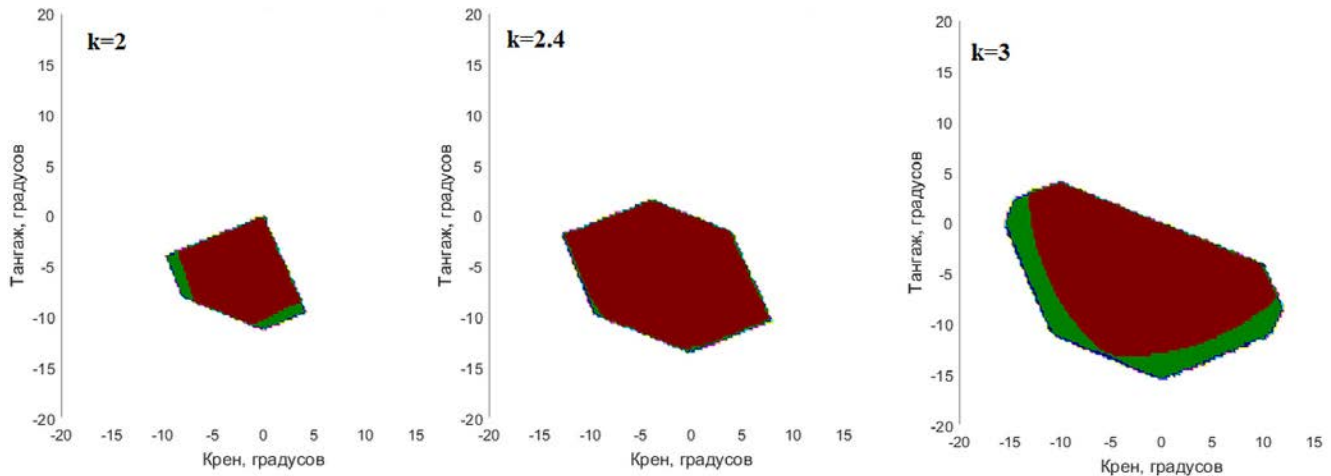


Рис. 11. Зона доступных балансируемых углов при отказе одного двигателя

Возможность использования винтов одного направления вращения важна при разработке аппаратов большой размерности, использующих поршневые двигатели внутреннего сгорания (ДВС) в качестве силовой установки. Большинство ДВС выпускается с конструктивно заданным направлением вращения и его изменение может быть принципиально невозможно.

На рис. 12 приведен расчет областей балансировки для коэффициента тяговооруженности  $k = 3$  для случаев однонаправленного и разнонаправленного направления вращения винтов. В случае применения однонаправленных винтов форма рабочей зоны искажается, но функционирование аппарата остается возможным.

### Заключение

Показана возможность создания аппарата с избыточными степенями свободы на основе октокоптера классической конструкции путем установки воздушных винтов с поворотом на небольшой угол вокруг оси балки. Все моторы поворачиваются на один угол, но в различных направлениях, «через один».

Для угла поворота моторов  $20^\circ$  предлагаемая конфигурация летательного аппарата обеспечивает достижение углов  $\pm 10^\circ$  градусов по крену и тангажу.

Как показали расчеты, коэффициент тяговооруженности для поворота моторов на  $20^\circ$  должен быть близок к 2.4. При меньшем коэффициенте тяговооруженности по границе доступного диапазона углов возникает зона, где управление потребует дополнительных усилий при разработке алгоритмов автопилота. Большой коэффициент тяговооруженности, хотя и приводит к увеличению зоны до-

пустимых углов в 1.4 раза по сравнению с  $k = 2.4$ , однако увеличение рабочей зоны происходит за счет добавления областей в которых работает только часть из имеющихся моторов, что должно учитываться в алгоритмах работы системы управления. При необходимости увеличения рабочего диапазона углов следует увеличивать углы поворота моторов.

При выполнении работы использовались готовые методы многомерной нелинейной оптимизации из пакета Matlab, не пригодные в таком виде для реализации на бортовом вычислителе. Выбор численного метода пригодного для решения оптимизационной задачи бортовыми средствами и его реализация под конкретную аппаратную платформу требуют дополнительных исследований.

В аппарате рассматриваемой структуры, в отличие от классического октокоптера, могут быть использованы двигательные установки с воздушными винтами вращающимися в одном направлении, что упрощает создание аппаратов большой грузоподъемности, требующих применения поршневых двигателей внутреннего сгорания с конструктивно заданным направлением вращения.

### Литература

1. *Tayebi A., McGillvray S.* Attitude stabilization of a VTOL quadrotor aircraft // IEEE Trans. Contr. Syst. Technol. 2006. Vol. 14. No. 3. Pp. 562–571.
2. Flipping Bi-Copter!!! // RCGroups. 2015. URL: [www.rcgroups.com/forums/showthread.php?2370677-Flipping-Bi-Copter-!!!](http://www.rcgroups.com/forums/showthread.php?2370677-Flipping-Bi-Copter-!!!) (дата обращения 29.10.2019).
3. *Lin E., Tan B., Goh J., Mok N., Vengadashalopathy L., Yoong T., Srigrarom S.* Development of UGS Tilt-rotor Surveillance

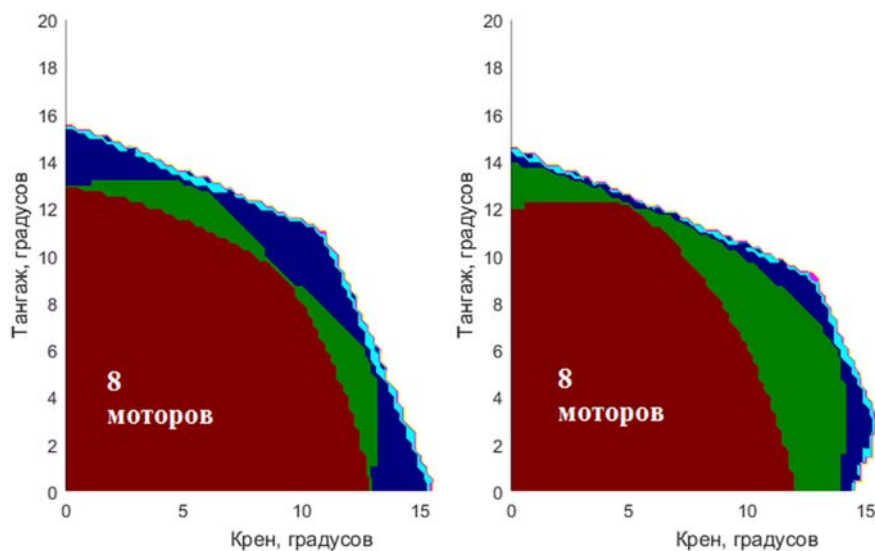


Рис. 12. Сравнение конструкции с разнонаправленным вращением (слева) и однонаправленным (справа) направлением вращения при  $k = 3$



Tricopter UAV // *Journal of Applied Science and Engineering*. 2015. Vol. 18. No. 2. Pp. 177–186.

4. Jiang G., Voyles R. Hexrotor uav platform enabling dextrous interaction with structures-flight test // *Proc of the 2013 IEEE international symposium on safety, security, and rescue robotics (SSRR)* (Linköping, Sweden, 21–26 Oct. 2013). IEEE, 2013. Pp. 1–6.

5. Brescianini D., D'Andrea R. An omni-directional multirotor vehicle // *Mechatronics*. 2018. Vol. 55. Pp. 76–93.

6. Mini Tricopter thoughts — need feedback // *RCExplorer*. 2015. URL: [www.rcexplorer.se/blog/2015/08/mini-tricopter-thoughts-need-feedback/](http://www.rcexplorer.se/blog/2015/08/mini-tricopter-thoughts-need-feedback/) (дата обращения 29.10.2019).

7. Kamel M., Verling S., Elkhatib O., Sprecher C., Wulkop P., Taylor Z., Siegwart R., Gilitschenski I. The Voliro Omnidirectional Hexacopter: An Agile and Maneuverable Tilttable-Rotor Aerial

Vehicle // *IEEE Robotics & Automation Magazine*. 2018. Vol. 25. Issue: 4. Pp. 34–44.

8. Von Mises R. *Theory of Flight*. New York, Dover publications, 1959, 630 p.

9. Michieletto G., Ryll M., Franchi A. Fundamental Actuation Properties of Multirotors: Force–Moment Decoupling and Fail–Safe Robustness // *IEEE Transactions on Robotics*. 2018. No. 34. Pp. 702–715. URL: <https://doi.org/10.1109/TRO.2018.2821155> (дата обращения 29.10.2019).

10. Lei Y., Wang J. Aerodynamic Performance of Quadrotor UAV with Non-Planar Rotors // *Applied Sciences*. 2019. Vol. 9. No. 14. Pp. 2779.

11. Du T., Schulz A., Zhu B., Bickel B., Matusik W. Computational multicopter design // *ACM Trans. Graph*. 2016. Vol. 35. No. 6. Pp. 1–10.

## RANGE OF OCTOCOPTER BALANCING ANGLES WITH EXCESSIVE DEGREES OF FREEDOM

**ANTON V. PALAGIN**

Moscow, Russia, palagin@gmail.com

**ALEXANDER A. DEGTYAREV**

Moscow, Russia, mail@cniihm.com

**KEYWORDS:** octocopter, excessive degrees of freedom, failure flight.

### ABSTRACT

Static balancing of a multi-rotor octocopter type drone with a design different from the classical one due to the non-parallel arrangement of the axes of the propellers is considered. The motors of the drone are mounted on the radial beams and rotated around the beams alternately left to right through one. The resulting design allows independent control of the device by angular and spatial coordinates. The calculation of the balancing angles of roll and pitch in statics. As a criterion for supplementing the system of equations of static balance, the criterion of the minimum power consumed by motors is considered. Using numerical methods of nonlinear optimization, diagrams of the available balancing angles are constructed for various thrust-to-weight ratios. The choice of the optimal value of the thrust-to-weight ratio is substantiated. A modification of the criterion of minimum power consumption is proposed, which allows to increase the range of available balancing angles in which there is no saturation of the control motors. The initial and modified criteria are compared. The ranges of the balancing angles for the flight with one failed motor were calculated and the ability of the drone to continue the task in case of single failures was demonstrated. The possibility of constructing an apparatus using engines of one direction of rotation was investigated.

### REFERENCES

1. Tayebi A., McGilvray S. Attitude stabilization of a VTOL quadrotor aircraft. *IEEE Trans. Contr. Syst. Technol.* 2006. Vol. 14. No. 3. Pp. 562–571.
2. Flipping Bi-Copter!!! *RCGroups*. 2015. URL: [www.rcgroups.com/forums/showthread.php?2370677-Flipping-Bi-Copter-!!!](http://www.rcgroups.com/forums/showthread.php?2370677-Flipping-Bi-Copter-!!!) (date of access 29.10.2019).
3. Lin E., Tan B., Goh J., Mok N., Vengadashalpathy L., Yoong T., Srigrarom S. Development of UGS Tilt-rotor Surveillance Tricopter UAV. *Journal of Applied Science and Engineering*. 2015. Vol. 18. No. 2. Pp. 177–186.
4. Jiang G., Voyles R. Hexrotor uav platform enabling dextrous interaction with structures-flight test. *Proc of the 2013 IEEE international symposium on safety, security, and rescue robotics (SSRR)*, Linköping, Sweden, 21–26 Oct. 2013. IEEE, 2013. Pp. 1–6.
5. Brescianini D., D'Andrea R. An omni-directional multirotor vehicle. *Mechatronics*. 2018. Vol. 55. Pp. 76–93.
6. Mini Tricopter thoughts – need feedback. *RCExplorer*. 2015. URL: [www.rcexplorer.se/blog/2015/08/mini-tricopter-thoughts-need-feedback/](http://www.rcexplorer.se/blog/2015/08/mini-tricopter-thoughts-need-feedback/) (date of access 29.10.2019).
7. Kamel M., Verling S., Elkhatib O., Sprecher C., Wulkop P., Taylor Z.,

Siegwart R., Gilitschenski I. The Voliro Omniorientational Hexacopter: An Agile and Maneuverable Tilttable-Rotor Aerial Vehicle. *IEEE Robotics & Automation Magazine*. 2018. Vol. 25. Issue 4. Pp. 34-44.

8. Von Mises R. *Theory of Flight*. New York, Dover publications, 1959, 630 p.

9. Michieletto G., Ryll M., Franchi A. Fundamental Actuation Properties of Multirobotors: Force-Moment Decoupling and Fail-Safe Robustness. *IEEE Transactions on Robotics*. 2018. No. 34. Pp. 702-715. URL: <https://doi.org/10.1109/TRO.2018.2821155> (date of access 29.10.2019).

10. Lei Y., Wang J. Aerodynamic Performance of Quadrotor UAV with Non-Planar Rotors. *Applied Sciences*. 2019. Vol. 9. No. 14. Pp. 2779.

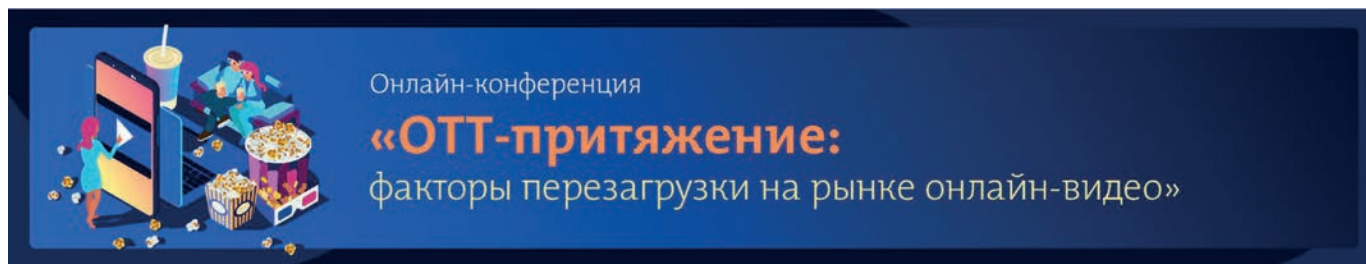
11. Du T., Schulz A., Zhu B., Bickel B., Matusik W. Computational multicopter design. *ACM Trans. Graph.* 2016. Vol. 35. No. 6. Pp. 1-10.

#### INFORMATION ABOUT AUTHORS:

Palagin A.V., employee of the Central research institute of chemistry and mechanics;

Degtyarev A.A., PhD, employee of the Central research institute of chemistry and mechanics.

**For citation:** Palagin A.V., Degtyarev A.A. Range of octocopter balancing angles with excessive degrees of freedom. *H&ES Research*. 2020. Vol. 12. No. 2. Pp. 18-28. doi: 10.36724/2409-5419-2020-12-2-18-28 (In Rus)



## OTT В ЭПОХУ САМОИЗОЛЯЦИИ: КАЧЕСТВЕННЫЙ СКАЧОК

**23 апреля «Телеспутник» совместно с ИАА TelecomDaily провел онлайн-конференцию «OTT-притяжение: факторы перезагрузки на рынке онлайн-видео»: участники рынка обсудили пути развития рынка OTT, ситуацию с резким обострением конкуренции и влияние пандемии коронавируса на отрасль. Мероприятие вызвало большой интерес – его посмотрело более 900 человек.**

Стратегическим партнером конференции выступил мультиплатформенный оператор цифровой среды «Триколор». Генеральный партнер – онлайн-кинотеатр ivi, платиновый партнер – оператор «Ростелеком», золотой партнер – компания Huawei. Мероприятие прошло при технической поддержке компании CDNvideo.

Открыла программу конференции сессия **«Кто хочет стать миллионером: что ждет рынок онлайн-видео в России»**. Эксперты обсудили вопросы развития рынка легальных видеосервисов в условиях сложившейся ситуации с распространением коронавируса COVID-19 и всеобщей самоизоляции.

Участники сошлись во мнении, что в период карантина просмотр видеоконтента перешел в разряд первостепенных потребностей. Поэтому вырочка видеосервисов от подписок и платных просмотров, так или иначе, будет расти, а очевидные потери, скорее, стоит ожидать в сегменте рекламы.

По словам директора департамента ТВ и контента J'son & Partners Consulting Дмитрия Колесова, онлайн-кинотеатры по объему доходов в 2019 году заняли 61% рынка онлайн-видео, за ними следуют социальные сети, а также агрегаторы и инфосервисы. Все эти сегменты даже с учетом экономического кризиса будут продолжать стремительно раз-

виваться, поэтому аналитики J'son & Partners Consulting не отказываются от своих прогнозов, сделанных в начале апреля этого года, подчеркнул Колесов.

В 2020 году рынок онлайн-видео ждут существенные изменения, заявил в своем докладе генеральный директор ИАА TelecomDaily Денис Кусков. Ситуация с коронавирусом позволила онлайн-кинотеатрам значительно расширить аудиторию, что приведет к еще большему росту, чем прогнозировалось ранее, отметил он.

Более пессимистичные прогнозы касаются сегмента видеорекламы. «Мы уже видим, что бюджеты на том же YouTube резко снизились. Многие

блогеры сейчас говорят, что производство видео идет в минус и не окупается, что уж говорить об онлайн-кинотеатрах. С учетом других факторов, при реализации негативного сценария роста рынка ждать не стоит», – предупредил главный аналитик РАЭК Карен Казарян.

Участники второй сессии под названием **«Пока все дома: как временный бесплатный доступ к контенту влияет на бизнес онлайн-видеосервисов»** обсудили практики работы с абонентами в условиях карантина. Главы сервисов Megogo и Tvigle Виктор Чеканов и Евгения Петрова подтвердили, что количество пользователей за последнее время стремительно выросло. Однако в целом глобальный рынок развлечений испытывает серьезный кризис. И пока неизвестно, выдержит ли это испытание рекламная модель монетизации, хорошо работавшая в 2019 году.

У ivi взрывной рост абонентской базы наблюдался особенно в первую неделю, отметил директор по стратегической аналитике онлайн-кинотеатра Иван Гринин. Сейчас, по его словам, показатели уже не такие высокие, а на смену популярным в первые недели фильмам об эпидемиях приходит более привычный контент.

По словам заместителя генерального директора по контентной политике «Триколора» Николая Орлова, киносерийный контент сейчас лидирует, особенно по длительному смотрению. В период карантина оператор обеспечил бесплатный доступ к части телеканалов детского пакета, и рост аудитории в этом сегменте был очень значительный, отметил спикер.



Директор департамента интегрированных решений и бизнеса для видео компании Huawei Ван Хуасинь затронул проблему возросшей нагрузки на сети операторов связи. По его словам, в России с ней справляются гораздо лучше, чем в Европе, поэтому у отечественных онлайн-сервисов нет причин для беспокойства.

Участники сессии **«Сам себе режиссер: где же взять столько уникального контента, сколько хотят OTT-сервисы»**, прошедшей при активной поддержке Ассоциации продюсеров кино и телевидения, рассказали о производстве оригинального контента для видеосервисов. По мнению экспертов, уже снятых новых фильмов и сериалов видеосервисов хватит на несколько ближайших месяцев, после чего проблема дефицита контента может прямо отразиться на выручке всех игроков.

Сейчас все без исключения видеосервисы стали думать о производстве новых форматов контента, который не требует больших финансовых затрат и ресурсов, отметил вице-президент по медиа МТС Игорь

Мишин. Он добавил, что рынок потребления контента никогда не вернется к образцу 2019 года – во время карантина огромное число людей освоило новые для себя навыки взаимодействия с цифрой средой, и это приведет к качественному скачку для всей индустрии.

В период кризиса особенно актуально делать партнерские проекты. Сотрудничество с другими компаниями для производства контента – это наиболее комфортная для нас модель, поделился руководитель контентного направления «Ростелекома» Александр Косарим. Он пояснил, что партнерами могут быть как телеканалы, так и онлайн-площадки.

В целом участники конференции подтвердили актуальность темы трансформации рынка OTT, обсудили все основные сценарии дальнейшего развития отрасли и подтвердили тезис, что, несмотря на кризис, рынок продолжит стремительно развиваться.

**Организаторы:** TMT Conference, «Телеспутник» и IAA TelecomDaily. **Стратегический партнер:** мультиплатформенный оператор цифровой среды Триколор. **Генеральный партнер:** онлайн-кинотеатр ivi. **Платиновый партнер:** «Ростелеком». **Золотой партнер:** Huawei. **Технический партнер:** CDNvideo. **Информационные партнеры:** Adindex, TVkinoradio, Mediavision, ICT-Online, ICT2GO, «Вестник связи», DailyComm, «Мобильные телекоммуникации», Medajobs, NAG.RU, ТТЦ «Останкино», DVBpro, «Техника кино телевидения», I-methods, H&ES Research.

**Тел.:** +7 (812) 332-64-44

**E-mail:** conference@telesputnik.ru

<https://telesputnik.ru/materials/video-v-internete/news/ott-v-epokhusamoizolyatsii-kachestvennyy-skachok/>





doi: 10.36724/2409-5419-2020-12-2-30-43

# СПОСОБ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИМИТОУСТОЙЧИВОЙ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ ПО КАНАЛАМ СВЯЗИ

**ГЛОБИН****Юрий Олегович<sup>1</sup>****ФИНЬКО****Олег Анатольевич<sup>2</sup>****АННОТАЦИЯ**

Рассмотрены основные изменения, произошедшие в последние годы в методах ведения вооруженной борьбы. Объектом исследований является процесс передачи информации в комплексах с беспилотными летательными аппаратами, получившими широкое применение в современных условиях проведения военных операций. Доказана необходимость обеспечения имитостойчивой передачи информации в комплексах с беспилотными летательными аппаратами при выполнении ими поставленных задач. Выполнен анализ возможных способов защиты передаваемой информации от имитаций противником, рассмотрены основные преимущества и недостатки известных решений, предложено направление для проведения исследований. Задачей исследований является разработка моделей защиты данных от имитации противником, передаваемых по радиоканалам комплексов с беспилотными летательными аппаратами. Цель исследования - повышение защищенности радиоканалов от имитирующих воздействий противника в комплексах с беспилотными летательными аппаратами. Предложен способ обеспечения имитостойчивой передачи информации по каналам связи с использованием блочных разделимых кодов, основанный на использовании процедур шифрования в режиме гаммирования и управляемой перестановки. Представлен пример устройства, реализующего данный способ, и порядок его функционирования. Произведено оценивание возможного выигрыша от использования данного способа обеспечения имитостойчивой передачи информации в сравнении с применением имитоставки с точки зрения повышения исправляющей способности используемых помехостойчивых кодов и повышения скорости передачи полезной информации. Сделан вывод о необходимости продолжения дальнейших исследований в данном направлении для обоснования выбора критериев определения факта имитации передаваемых данных противником и моделирования процесса передачи данных с применением описанного способа в среде Matlab.

**Сведения об авторах:**

<sup>1</sup>адъюнкт Краснодарского высшего военного училища имени генерала армии С.М. Штеменко, г. Краснодар, Россия, jurokglobin@rambler.ru

<sup>2</sup>д.т.н., профессор, профессор Краснодарского высшего военного училища имени генерала армии С.М. Штеменко, г. Краснодар, Россия, ofinko@yandex.ru

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** комплексы с беспилотными летательными аппаратами; помехостойчивое кодирование; блочные разделимые коды; имитостойчивость; пропускная способность.

**Для цитирования:** Глобин Ю.О., Финько О.А. Способ обеспечения имитостойчивой передачи информации по каналам связи // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2020. Т. 12. № 2. С. 30-43. doi: 10.36724/2409-5419-2020-12-2-30-43

## Ведение

В соответствии с руководящими документами по организации строительства и развития Вооруженных Сил Российской Федерации и их применением для решения поставленных задач одним из современных принципов ведения боевых действий является повсеместное использование комплексов с беспилотными летательными аппаратами (далее — КБЛА) для выполнения различных задач. В настоящее время основными задачами КБЛА являются обеспечение боевых подразделений актуальной и достоверной разведывательной информацией с целью успешного выполнения этими подразделениями поставленных им задач, наведение средств огневого поражения на цели, подтверждение подлинности полученной от других источников информации [1–2].

Несомненно, КБЛА обладают рядом преимуществ в сравнении с другими способами ведения разведки, однако, их применение имеет и ряд недостатков, наиболее существенным из которых является использование для передачи данных и команд управления незащищенных от возможных имитаций передаваемых данных противником каналов связи. Использование данной уязвимости противником позволяет ему осуществить имитацию передаваемых данных, что может привести к дезинформированию военного руководства, неверному целеуказанию, неадекватной реакции органов управления на реально сложившуюся обстановку и срыву выполнения боевой задачи в целом.

## Анализ способов защиты данных от имитации

Классическим способом защиты данных от имитации является выработка имитовставки, представляющей собой специальный набор символов, добавляемый к сообщению и предназначенный для обеспечения его целостности и аутентификации источника данных [3]. Выработка имитовставки осуществляется в протоколах аутентификации сообщений с доверяющими друг другу участниками. Имитовставка имеет фиксированную длину и вырабатывается путем криптографического преобразования всего исходного сообщения. Имитовставка может быть вычислена по формуле:

$$S_i = E_x(T_i \oplus S_{i-1}),$$

где  $S_0$  — специфицированное начальное значение;  
 $E$  — процедура шифрования;  
 $T_i$  — информационные блоки фиксированной длины;  
 $x$  — секретный ключ;  
 $i = 1, n$ .

Если используется имитовставка длиной  $I$  бит, то вероятность того, что имевшая место модификация данных не будет обнаружена приемной стороной, составляет  $2^{-I}$ . Недостатком данного способа является необходимость

обеспечения всех участников информационного обмена ключевой информацией способом, исключающим компрометацию данной информации. Также к недостаткам имитовставки следует отнести внесение большой избыточности в поток передаваемых данных, которая увеличивается с уменьшением размера пакета данных.

Данный недостаток отсутствует у способа защиты от имитации передаваемых данных, основанного на использовании электронной подписи. Принципиальное отличие от использования имитовставки заключается в процедуре распределения ключей. В случае использования электронной подписи участники информационного обмена имеют два ключа. Секретный ключ, сформированный самим пользователем, хранится у него, а открытый ключ, сгенерированный на основе закрытого, передается остальным участникам информационного обмена. Открытые ключи могут передаваться пользователями либо непосредственно друг другу, либо с использованием доверенной третьей стороны. Недостатком этого способа является вычислительная сложность алгоритма генерации и проверки электронной подписи, так как в КБЛА с целью обеспечения имитоустойчивой передачи данных необходимо подписывать не один отдельный документ, а пакеты данных, передающихся в большом количестве.

В настоящее время широкое распространение получили методы стеганографии для защиты от имитации передаваемых данных, в частности цифровые водяные знаки — специальные метки, скрытно внедряемые в изображение или другой сигнал [4]. Аудио- и видеоданные, передаваемые в КБЛА, наиболее приспособлены к использованию цифровых водяных знаков, так как в своей структуре имеют шумовую составляющую, которая способна замаскировать встраиваемый цифровой водяной знак. Существует множество разновидностей цифровых водяных знаков, отличающихся способом встраивания в данные, степенью устойчивости, видимостью. Более подробно разновидности цифровых водяных знаков и методов их встраивания рассмотрены в [4–6]. В отличие от рассмотренных ранее методов, где факт наличия дополнительной защиты от имитаций не скрывался, при применении цифровых водяных знаков необходимо скрыть их использование, чтобы противник не смог разрушить структуру цифрового водяного знака. Также для успешной реализации данного метода должно быть установлено специальное программное обеспечение.

Многие исследователи занимаются вопросом обеспечения имитоустойчивой передачи данных на физическом уровне [7–8]. В своих работах они рассматривают зависимость вероятности успешного имитонавязывания от частотно-временных характеристик сигнала, от отношения энергии символа сигнала к спектральной плотности мощности шума. В результате исследований доказано,

что внедрение дополнительных индикаторов в приемопередающие устройства технических средств позволяет значительно повысить имитостойчивость каналов связи. Но для этого требуется усовершенствование аппаратной составляющей оборудования КБЛА.

Особый интерес вызывают способы защиты от имитации передаваемых данных, функционирующие на канальном уровне, представленные в [9–10]. В отличие от всех предыдущих способов, при использовании которых имелась возможность только обнаружить факт имитации, обеспечение имитостойчивости на канальном уровне за счет внедрения в систему помехоустойчивой передачи данных функций, работающих по ключу, позволяет помимо обнаружения в канале имитаций, при необходимости, восстанавливать достоверные данные с заданной вероятностью. Внедрение данных способов в КБЛА осуществимо, так как в своем составе КБЛА априори имеют систему помехоустойчивой передачи данных ввиду использования радиоканалов, подверженных влиянию различного рода помех. Развитие идей данного направления привело к разработке следующего способа обеспечения имитостойчивой передачи информации по каналам связи с использованием блочных разделимых кодов.

### Описание способа

Для большей ясности описания способа имитостойчивой передачи информации по каналам связи с использованием блочных разделимых кодов представлена структура устройства, реализующего данный способ (рис. 1).

Подлежащая передаче информация, представленная в виде потока символов, поступает во входной регистр 1, имеющий размер  $k$ . С выхода входного регистра 1 информационные символы поступают на первую группу входов блока сумматоров 4 по модулю два и на формирователь избыточных символов 2. Процесс формирования проверочных избыточных символов осуществляется на основании выбранной порождающей матрицы блочного линейного кода. С выходов формирователя избыточных символов 2 полученные проверочные символы  $r_j$  поступают на первую группу входов блока сумматоров 4 по модулю два, на вторую группу входов которого поступает полученная в генераторе ключевой гаммы 3 последовательность символов, сгенерированная на основании ключа  $x_1$ , при этом длина блока гаммы  $n = k + r$  соответствует количеству информационных и проверочных символов. Полученная зашифрованная кодовая последовательность с выходов блока сумматоров 4 по модулю два поступает на первую группу входов блока управляемой перестановки 6, на вторую группу входов которого поступает псевдослучайная последовательность символов, полученная в генераторе псевдослучайной последовательности 5 на основании ключа  $x_2$ , при этом длина псевдослучайной последовательности  $p$  зависит от конкретной реализации управляемой перестановки. С выхода блока управляемой перестановки 6 полученная зашифрованная последовательность символов поступает в выходной регистр 7. С выхода выходного регистра 7 зашифрованная последовательность поступает в канал связи (рис. 2).

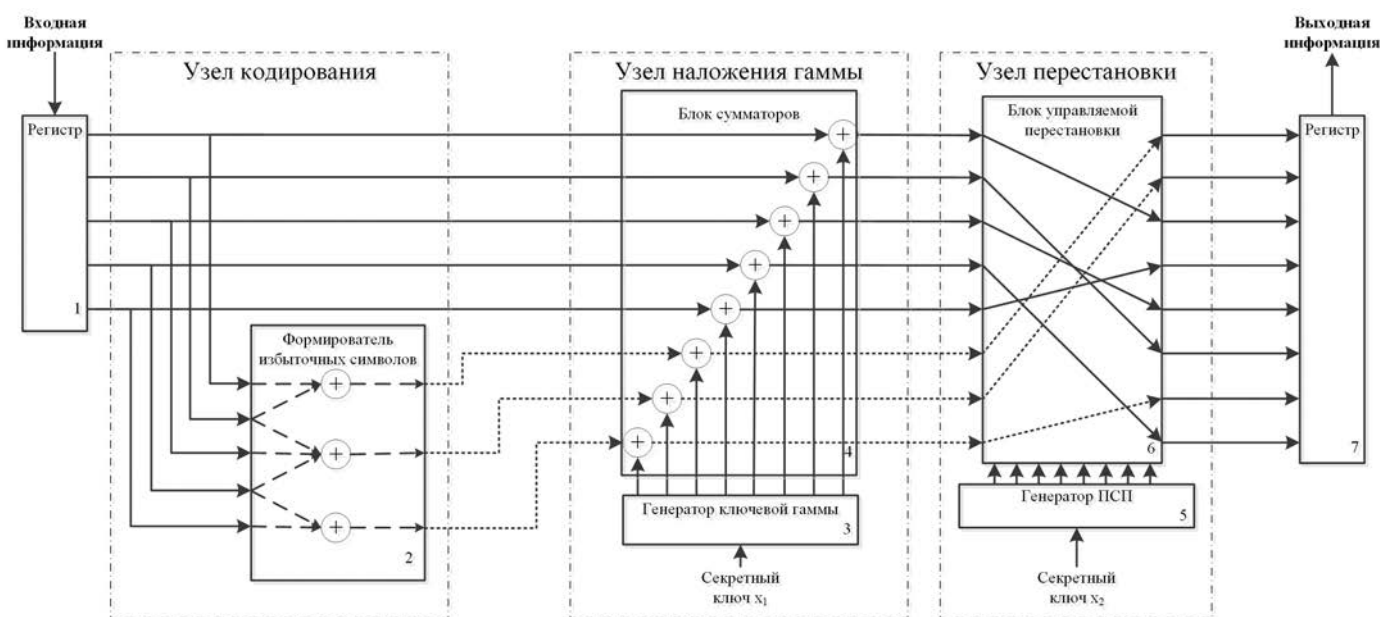


Рис. 1. Схема передающей части устройства



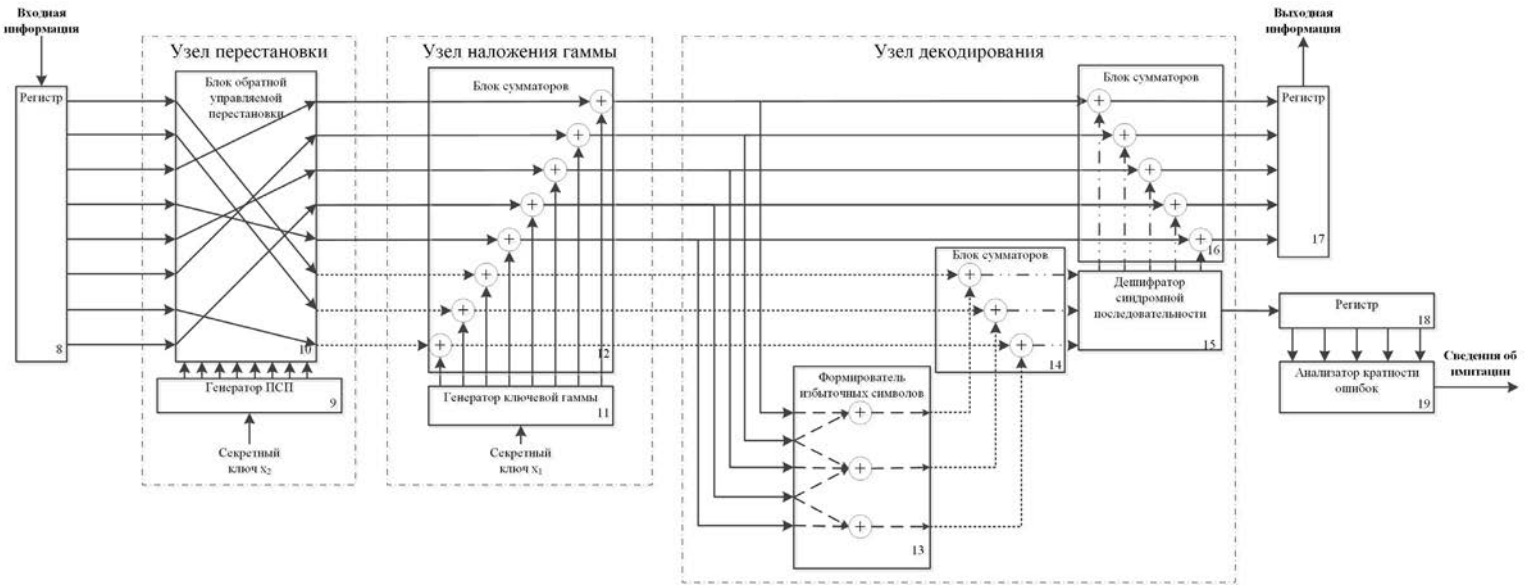


Рис. 2. Схема принимающей части устройства

На приемной стороне принятая зашифрованная последовательность поступает во входной регистр 8, с выхода которого поступает на первую группу входов блока обратной управляемой перестановки 10, на вторую группу входов которого поступает псевдослучайная последовательность символов размера  $p$ , полученная в генераторе псевдослучайной последовательности 9 на основании ключа  $x_2$ . С выхода блока обратной управляемой перестановки 10 полученная зашифрованная кодовая последовательность поступает на первую группу входов третьего блока сумматоров 12 по модулю два, на вторую группу входов которого поступает полученная в генераторе ключевой гаммы 11 последовательность символов, сгенерированная на основании ключа  $x_1$ , при этом длина блока гаммы соответствует количеству информационных и проверочных символов  $n$ . Информационные символы  $k'_j$  с выходов третьего блока сумматоров 12 по модулю два поступают на первую группу входов блока сумматоров 16 по модулю два и на формирователь избыточных символов 13. Процесс формирования проверочных избыточных символов осуществляется на основании выбранной порождающей матрицы блочного линейного кода. С выходов формирователя избыточных символов 13 полученные проверочные символы на приемной стороне  $r''_j$  поступают на вторую группу входов второго блока сумматоров 14 по модулю два, на первую группу входов которого поступают проверочные символы  $r'_j$  с выходов третьего блока сумматоров 12 по модулю два. Во втором блоке сумматоров 14 по модулю два происходит формирование синдромной последовательности  $S$ , характеризующей наличие или отсутствие при передаче данных предна-

меренных и непреднамеренных помех. С выхода второго блока сумматоров 14 по модулю два синдромная последовательность поступает на вход дешифратора синдромной последовательности 15, в котором осуществляется анализ полученной синдромной последовательности, результатом которого является формирование с первой группы выходов корректирующей последовательности  $K^*$ , поступающей на вторую группу входов блока сумматоров 16 по модулю два, и со второго выхода кратности ошибки, поступающей на вход регистра 18. Скорректированная информационная последовательность  $M^*$  с выхода блока сумматоров 16 по модулю два поступает в выходной регистр 17, с выхода которого передается для дальнейшей обработки. Кратности ошибок нескольких переданных блоков данных поступают с выхода регистра 18 на вход анализатора кратности ошибок 19, в котором осуществляется анализ частоты появления 2-х и более кратных ошибок, результатом которого является вывод о наличии или отсутствии имитации передаваемых данных противником.

Отличительным признаком, характерным для преднамеренных (имитация передаваемых данных противником) и непреднамеренных помех в канале связи, является несоответствие проверочной последовательности  $R''$ , полученной формирователем избыточных символов 13 на приемной стороне и проверочной последовательности  $R$ , полученной формирователем избыточных символов 2 на передающей стороне, причем для определения факта имитации передаваемых данных противником необходимо наличие нескольких многократных ошибок при передаче блока информации определенной длины.

Таким образом, предлагаемое устройство обеспечивает помехоустойчивость и имитостойчивость процесса передачи информации по радиоканалам без внесения дополнительной избыточности в передаваемые данные.

**Пример**

Порядок функционирования устройства имитостойчивой передачи информации по каналам связи, основанного на расширенном коде Голея (24, 12, 8), где  $k=12$  — количество информационных символов,  $n=24$  — количество символов в кодовой комбинации,  $r=n-k=12$  — количество проверочных символов,  $d_{\min}=8$  — минимальное кодовое расстояние.

Порождающая матрица данного кода  $G_{12 \times 24}$  имеет вид:

$$G_{12 \times 24} = \begin{pmatrix} 10000000000101011100011 \\ 01000000000111110010010 \\ 00100000000110100101011 \\ 00010000000110001110110 \\ 00001000000110011011001 \\ 00000100000011001101101 \\ 00000010000001100110111 \\ 000000010000001100110111 \\ 0000000010000101101111000 \\ 0000000001000010110111100 \\ 0000000000100001011011110 \\ 0000000000010101110001101 \\ 0000000000001010111000111 \end{pmatrix}.$$

Пусть  $M$  — информационный поток, разбиваемый на информационные блоки  $M_i$ , где  $i = \overline{1, l}$ ,  $M = M_1 \| M_2 \| \dots \| M_{l-1} \| M_l$ , где  $\|$  — операция конкатенации. В качестве примера возьмем 60-битную информационную последовательность (при рассматриваемом коде  $l=5$ ) и представим ее в виде матрицы  $G_{5 \times 12}$ :

$$M = \begin{pmatrix} 100011010011 \\ 000110110110 \\ 110110011000 \\ 100100100010 \\ 001001010010 \end{pmatrix}.$$

Формирование кодовой последовательности осуществляется следующим образом:

$$C_i = M_i \cdot G_{12 \times 24}.$$

Тогда

$$C = M \cdot G = \begin{pmatrix} 100011010011 \\ 000110110110 \\ 110110011000 \\ 100100100010 \\ 001001010010 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 10000000000101011100011 \\ 01000000000111110010010 \\ 00100000000110100101011 \\ 00010000000110001110110 \\ 00001000000110011011001 \\ 00000100000011001101101 \\ 00000010000001100110111 \\ 000000010000001100110111 \\ 0000000010000101101111000 \\ 0000000001000010110111100 \\ 0000000000100001011011110 \\ 0000000000010101110001101 \\ 0000000000001010111000111 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \overbrace{100011010011}^{k_j} \overbrace{1010101100101}^{r_j} \\ 000110110110000110110011 \\ 110110011000101100011010 \\ 100100100010111000101111 \\ 001001010010101110110011 \end{pmatrix},$$

где  $k_j$  — информационные символы;  $r_j$  — проверочные символы.

Пусть  $Y$  — ключевая гамма, состоящая из блоков  $Y_i$  длиной  $n = k + r = 24$  бита, сгенерированная по ключу  $x_i$ :

$$Y = \begin{pmatrix} 001111010101000110100110 \\ 110010101100001101101101 \\ 100010111011101100110001 \\ 101010111001001001000101 \\ 101011010010010010100100 \end{pmatrix}.$$

Процедура шифрования кодовой последовательности выполняется следующим образом:

$$T_i = C_i \oplus Y_i.$$

Тогда

$$T = C \oplus Y = \begin{pmatrix} 100011010011010101100101 \\ 000110110110000110110011 \\ 110110011000101100011010 \\ 100100100010111000101111 \\ 001001010010101110110011 \end{pmatrix} \oplus \begin{pmatrix} 001111010101000110100110 \\ 110010101100001101101101 \\ 100010111011101100110001 \\ 101010111001001001000101 \\ 101011010010010010100100 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 101100000110010011000011 \\ 110100011010001011011110 \\ 010100100011000000101011 \\ 001110011011110001101010 \\ 100010000000111100010111 \end{pmatrix}.$$

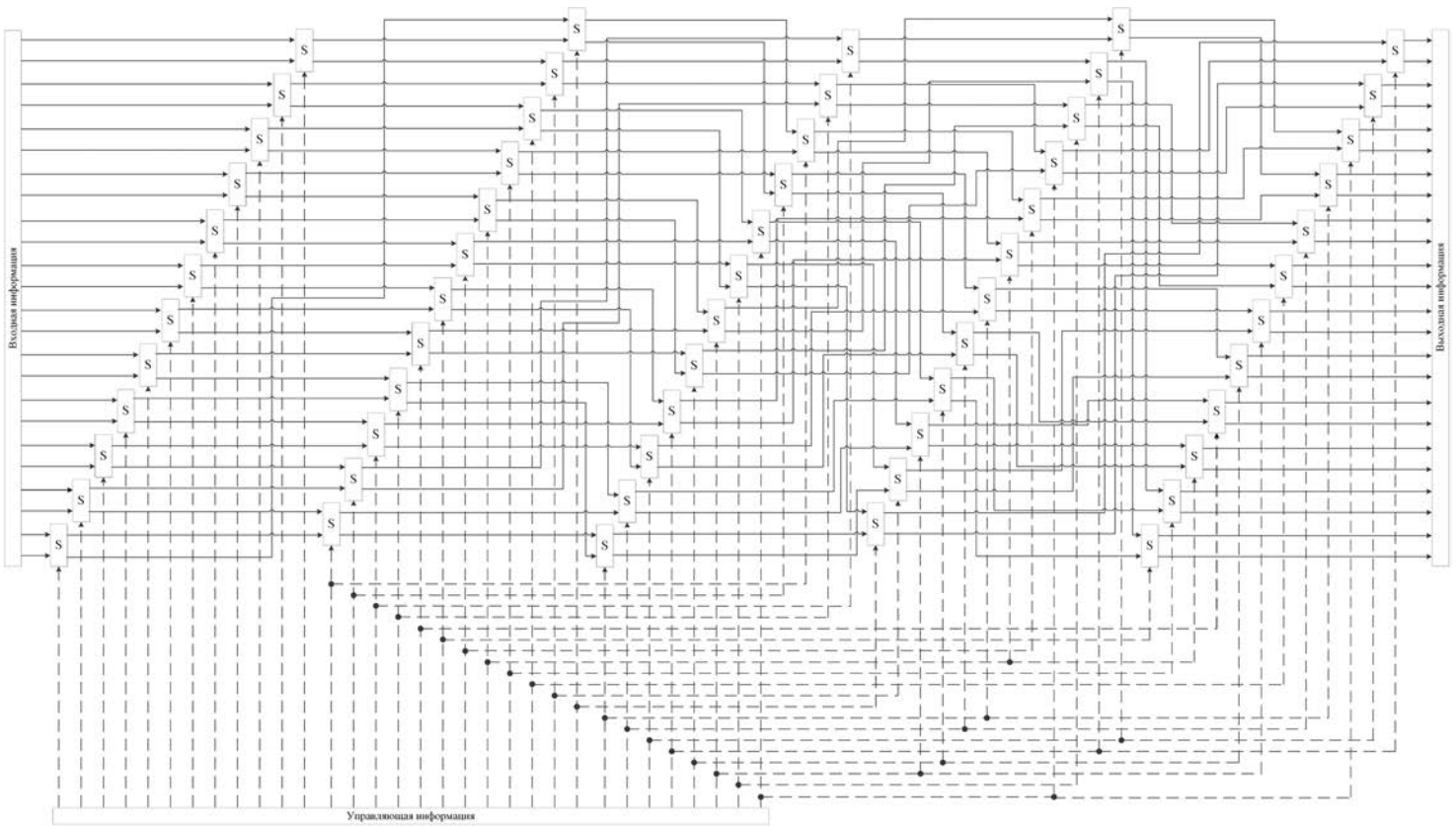


Рис. 3. Схема управляемой 24-битной перестановки

Пусть псевдслучайная последовательность, сгенерированная по ключу  $x_2$ , имеет вид:

$$Z_{x_2} = \begin{pmatrix} 00101010100101001010010101010011 \\ 1010100101010101010101001010101001 \\ 11101010101010101010101010111011 \\ 01001001000101011010101100100110 \\ 01001010010101001001001010101000 \end{pmatrix}.$$

Перестановки, выполняемые по схеме (рис. 3), соответствующие псевдслучайной последовательности  $Z_{x_2}$ , имеют следующий вид:

- $\pi_1 = (18, 9, 23, 5, 14, 1, 6, 12, 20, 24, 15, 16, 8, 7, 3, 4, 19, 21, 10, 22, 13, 2, 11, 17);$
- $\pi_2 = (9, 7, 13, 1, 21, 15, 22, 8, 4, 3, 12, 19, 10, 17, 5, 18, 14, 16, 6, 23, 2, 11, 24, 20);$
- $\pi_3 = (21, 6, 10, 3, 12, 22, 19, 4, 20, 24, 13, 18, 5, 8, 11, 16, 9, 17, 14, 2, 7, 23, 1, 15);$
- $\pi_4 = (19, 8, 2, 4, 5, 17, 11, 13, 6, 23, 18, 14, 21, 9, 1, 20, 16, 3, 24, 7, 10, 15, 12, 22);$
- $\pi_5 = (9, 7, 13, 11, 19, 15, 22, 8, 3, 1, 21, 18, 6, 12, 10, 16, 14, 17, 24, 5, 4, 2, 20, 23).$

Схема работы элементарных переключателей, из которых состоит блок управляемой перестановки, представлена на рис. 4 [3].

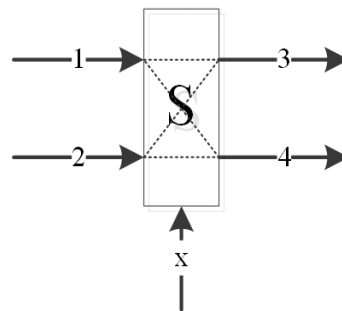
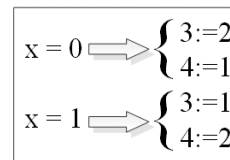


Рис. 4. Схема элементарного переключателя

Управляемая перестановка выполняется следующим образом:

$$W_i = \pi_i(T_i).$$

После выполнения управляемой перестановки зашифрованная последовательность, передаваемая в канал связи, будет иметь вид:

$$W = \pi(T) = \pi_1(T_1) \parallel \pi_2(T_2) \parallel \pi_3(T_3) \parallel \pi_4(T_4) \parallel \pi_5(T_5) =$$

$$= \begin{pmatrix} 000010100010001011101011 \\ 110110111011010100000011 \\ 101001100000111001100000 \\ 011111001101110001001001 \\ 010011001101000100110010 \end{pmatrix}.$$

В процессе передачи в некоторых разрядах передаваемых последовательностей произошли ошибки, и принятая зашифрованная последовательность имеет вид:

$$W' = \begin{pmatrix} 000010100010001011101011 \\ 110110101011010100000011 \\ 101001100000111001100000 \\ 011111001001110011001001 \\ 010011001101000100110010 \end{pmatrix}.$$

Принятая зашифрованная последовательность  $W'$  на приемной стороне подвергается обратной перестановке, использующей ту же псевдослучайную последовательность  $Z_{x_2}$ . Обратные перестановки имеют вид:

$$\pi_1^{-1} = (6, 22, 15, 16, 4, 7, 14, 13, 2, 19, 23, 8, 21, 5, 11, 12, 24, 1, 17, 9, 18, 20, 3, 10);$$

$$\pi_2^{-1} = (4, 21, 10, 9, 15, 19, 2, 8, 1, 13, 22, 11, 3, 17, 6, 18, 14, 16, 12, 24, 5, 7, 20, 23);$$

$$\pi_3^{-1} = (23, 20, 4, 8, 13, 2, 21, 14, 17, 3, 15, 5, 11, 19, 24, 16, 18, 12, 7, 9, 1, 6, 22, 10);$$

$$\pi_4^{-1} = (15, 3, 18, 4, 5, 9, 20, 2, 14, 21, 7, 23, 8, 12, 22, 17, 6, 11, 1, 16, 13, 24, 10, 19);$$

$$\pi_5^{-1} = (10, 22, 9, 21, 20, 13, 2, 8, 1, 15, 4, 14, 3, 17, 6, 16, 18, 12, 5, 23, 11, 7, 24, 19).$$

После выполнения обратной управляемой перестановки принятая зашифрованная кодовая последовательность примет вид:

$$T' = \begin{pmatrix} 101100000110010011000011 \\ 110100001010001011011110 \\ 010100100011000000101011 \\ 001111011011110001100010 \\ 10001000000111100010111 \end{pmatrix}.$$

Процедура дешифрования принятой зашифрованной кодовой последовательности выполняется следующим образом:

$$C'_i = T'_i \oplus Y_i.$$

Тогда

$$C' = T' \oplus Y = \begin{pmatrix} 101100000110010011000011 \\ 110100001010001011011110 \\ 010100100011000000101011 \\ 001111011011110001100010 \\ 10001000000111100010111 \end{pmatrix} \oplus \begin{pmatrix} 001111010101000110100110 \\ 110010101100001101101101 \\ 100010111011101100110001 \\ 101010111001001001000101 \\ 101011010010010010100100 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \overbrace{10001101001}^{k'_j} \overbrace{11010101100101}^{r'_j} \\ 000110100110000110110011 \\ 110110011000101100011010 \\ 100101100010111000100111 \\ 001001010010101110110011 \end{pmatrix}.$$

Нескорректированная принятая информационная последовательность является конкатенацией  $k'_j$  символов, где  $j = \overline{0, k-1}$ , и имеет вид:

$$K'_i = k'_0 \parallel k'_1 \parallel \dots \parallel k'_{k-1}.$$

Исправление ошибок в принятой кодовой последовательности осуществляется путем формирования синдромной последовательности, на основании которой принимается решение о наличии или отсутствии ошибок в принятой кодовой комбинации. Формирование синдромной последовательности осуществляется следующим образом:

1) формируются проверочные символы  $r'_j$  на основании принятых информационных с помощью той же порождающей матрицы, что и на передающей стороне;

2) сформированные проверочные символы на приемной стороне суммируются по модулю два с полученными проверочными символами:

$$S_i = R'_i \oplus R''_i,$$

где  $R'_i$  и  $R''_i$  являются конкатенациями  $r'_j$  и  $r''_j$  символов,  $j = \overline{k, n-1}$ , и имеют вид  $R'_i = r'_k \parallel r'_{k+1} \parallel \dots \parallel r'_n$  и  $R''_i = r''_k \parallel r''_{k+1} \parallel \dots \parallel r''_n$  соответственно.

Тогда синдромные последовательности примут вид:



$$S = R'' \oplus R' = \begin{pmatrix} 010101100101 \\ 101011001011 \\ 101100011010 \\ 100001000010 \\ 101110110011 \end{pmatrix} \oplus \begin{pmatrix} 010101100101 \\ 000110110011 \\ 101100011010 \\ 111000100111 \\ 101110110011 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 000000000000 \\ 101101111000 \\ 000000000000 \\ 011001100101 \\ 000000000000 \end{pmatrix}.$$

Структура синдромной последовательности соответствует присутствию (хотя бы один ненулевой символ синдрома) или отсутствию (нулевая синдромная последовательность) преднамеренных (имитирующие действия противника) или непреднамеренных помех в канале связи. Исходя из структуры синдромной последовательности, производится исправление непреднамеренных помех и обнаружение преднамеренных (имитирующие действия противника).

Таблица синдромов ошибок, кратности ошибок, а также разряды кодовой комбинации, в которых произошли ошибки, представлены в табл.

Таблица синдромов одно- и двукратных ошибок расширенного кода Голя (24, 12, 8)

№ п/п	Синдромная последовательность	Кратность ошибки	Номера разрядов, в которых ошибки
1	101011100011	1	0
2	111110010010	1	1
3	110100101011	1	2
4	110001110110	1	3
5	110011011001	1	4
6	011001101101	1	5
7	001100110111	1	6
<b>8</b>	<b>10110111000</b>	<b>1</b>	<b>7</b>
9	010110111100	1	8
10	001011011110	1	9
11	101110001101	1	10
12	010111000111	1	11
13	100000000000	1	12
14	010000000000	1	13
15	001000000000	1	14
16	000100000000	1	15
17	000010000000	1	16
18	000001000000	1	17
19	000000100000	1	18
20	000000010000	1	19
21	000000001000	1	20

продолжение таблицы

№ п/п	Синдромная последовательность	Кратность ошибки	Номера разрядов, в которых ошибки
22	000000000100	1	21
23	000000000010	1	22
24	000000000001	1	23
25	010101110001	2	0, 1
26	011111001000	2	0, 2
27	011010010101	2	0, 3
28	011000111010	2	0, 4
29	110010001110	2	0, 5
30	100111010100	2	0, 6
31	000110011011	2	0, 7
32	111101011111	2	0, 8
33	10000111101	2	0, 9
34	000101101110	2	0, 10
35	111100100100	2	0, 11
36	001011100011	2	0, 12
37	111011100011	2	0, 13
38	100011100011	2	0, 14
39	101111100011	2	0, 15
40	101001100011	2	0, 16
41	101010100011	2	0, 17
42	101011000011	2	0, 18
43	101011110011	2	0, 19
44	101011101011	2	0, 20
45	101011100111	2	0, 21
46	101011100001	2	0, 22
47	101011100010	2	0, 23
48	001010111001	2	1, 2
49	001111100100	2	1, 3
50	001101001011	2	1, 4
51	100111111111	2	1, 5
52	110010100101	2	1, 6
53	010011101010	2	1, 7
54	101000101110	2	1, 8
55	110101001100	2	1, 9
56	010000011111	2	1, 10
57	101001010101	2	1, 11
58	011110010010	2	1, 12
59	101110010010	2	1, 13
60	110110010010	2	1, 14
61	111010010010	2	1, 15
62	111100010010	2	1, 16
63	111111010010	2	1, 17
64	111101100100	2	1, 18
65	111110000010	2	1, 19
66	111110011010	2	1, 20
67	111110010110	2	1, 21
68	111110010000	2	1, 22
69	111110010011	2	1, 23
70	000101011101	2	2, 3
71	000111110010	2	2, 4
72	101101000110	2	2, 5
73	111000011100	2	2, 6
74	011001010011	2	2, 7
75	100010010111	2	2, 8

продолжение таблицы

№ п/п	Синдромная последовательность	Кратность ошибки	Номера разрядов, в которых ошибки
76	11111110101	2	2, 9
77	011010100110	2	2, 10
78	100011101100	2	2, 11
79	010100101011	2	2, 12
80	100100101011	2	2, 13
81	111100101011	2	2, 14
82	110000101011	2	2, 15
83	110110101011	2	2, 16
84	110101101011	2	2, 17
85	110100001011	2	2, 18
86	110100111011	2	2, 19
87	110100100011	2	2, 20
88	110100101111	2	2, 21
89	110100101001	2	2, 22
90	110100101010	2	2, 23
91	000010101111	2	3, 4
92	101000011011	2	3, 5
93	111101000001	2	3, 6
94	011100001110	2	3, 7
95	100111001010	2	3, 8
96	111010101000	2	3, 9
97	011111111011	2	3, 10
98	100110110001	2	3, 11
99	010001110110	2	3, 12
100	100001110110	2	3, 13
101	111001110110	2	3, 14
102	110101110110	2	3, 15
103	110011110110	2	3, 16
104	110000110110	2	3, 17
105	110001010110	2	3, 18
106	110001100110	2	3, 19
107	110001111110	2	3, 20
108	110001110010	2	3, 21
109	110001110100	2	3, 22
110	110001110111	2	3, 23
111	101010110100	2	4, 5
112	111111101110	2	4, 6
113	011110100001	2	4, 7
114	100101100101	2	4, 8
115	111000000111	2	4, 9
116	011101010100	2	4, 10
117	100100011110	2	4, 11
118	010011011001	2	4, 12
119	100011011001	2	4, 13
120	111011011001	2	4, 14
121	110111011001	2	4, 15
122	110001011001	2	4, 16
123	110010011001	2	4, 17
124	110011111001	2	4, 18
125	110011001001	2	4, 19
126	110011010001	2	4, 20
127	110011011101	2	4, 21
128	110011011011	2	4, 22
129	110011011000	2	4, 23

№ п/п	Синдромная последовательность	Кратность ошибки	Номера разрядов, в которых ошибки
130	010101011010	2	5, 6
131	110100010101	2	5, 7
132	001111010001	2	5, 8
133	010010110011	2	5, 9
134	110111100000	2	5, 10
135	001110101010	2	5, 11
136	111001101101	2	5, 12
137	001001101101	2	5, 13
138	010001101101	2	5, 14
139	011101101101	2	5, 15
140	011011101101	2	5, 16
141	011000101101	2	5, 17
142	011001001101	2	5, 18
143	011001111101	2	5, 19
<b>144</b>	<b>011001100101</b>	<b>2</b>	<b>5, 20</b>
145	011001101001	2	5, 21
146	011001101111	2	5, 22
147	011001101100	2	5, 23
148	100001001111	2	6, 7
149	011010001011	2	6, 8
150	000111101001	2	6, 9
151	100010111010	2	6, 10
152	011011110000	2	6, 11
153	101100110111	2	6, 12
154	011100110111	2	6, 13
155	000100110111	2	6, 14
156	001000110111	2	6, 15
157	001110110111	2	6, 16
158	001101110111	2	6, 17
159	001100010111	2	6, 18
160	001100100111	2	6, 19
161	001100111111	2	6, 20
162	001100110011	2	6, 21
163	001100110101	2	6, 22
164	001100110110	2	6, 23
165	111011000100	2	7, 8
166	100110100110	2	7, 9
167	000011110101	2	7, 10
168	111010111111	2	7, 11
169	001101111000	2	7, 12
170	111101111000	2	7, 13
171	100101111000	2	7, 14
172	101001111000	2	7, 15
173	101111111000	2	7, 16
174	101100111000	2	7, 17
175	101101011000	2	7, 18
176	101101101000	2	7, 19
177	101101110000	2	7, 20
178	101101111100	2	7, 21
179	101101111010	2	7, 22
180	101101111001	2	7, 23
181	011101100010	2	8, 9
182	111000110001	2	8, 10
183	000001111011	2	8, 11

продолжение таблицы

№ п/п	Синдромная последовательность	Кратность ошибки	Номера разрядов, в которых ошибки
184	110110111100	2	8, 12
185	000110111100	2	8, 13
186	011110111100	2	8, 14
187	010010111100	2	8, 15
188	010100111100	2	8, 16
189	010111111100	2	8, 17
190	010110011100	2	8, 18
191	010110101100	2	8, 19
192	010110110100	2	8, 20
193	010110111000	2	8, 21
194	010110111110	2	8, 22
195	010110111101	2	8, 23
196	100101010011	2	9, 10
197	011100011001	2	9, 11
198	101011011110	2	9, 12
199	011011011110	2	9, 13
200	000011011110	2	9, 14
201	001111011110	2	9, 15
202	001001011110	2	9, 16
203	001010011110	2	9, 17
204	001011111110	2	9, 18
205	001011001110	2	9, 19
206	001011010110	2	9, 20
207	001011011010	2	9, 21
208	001011011100	2	9, 22
209	001011011111	2	9, 23
210	111001001010	2	10, 11
211	001110001101	2	10, 12
212	111110001101	2	10, 13
213	100110001101	2	10, 14
214	101010001101	2	10, 15
215	101100001101	2	10, 16
216	101111001101	2	10, 17
217	101110101101	2	10, 18
218	101110011101	2	10, 19
219	101110000101	2	10, 20
220	101110001001	2	10, 21
221	101110001111	2	10, 22
222	101110001100	2	10, 23
223	110111000111	2	11, 12
224	000111000111	2	11, 13
225	011111000111	2	11, 14
226	010011000111	2	11, 15
227	010101000111	2	11, 16
228	010110000111	2	11, 17
229	010111100111	2	11, 18
230	010111010111	2	11, 19
231	010111001111	2	11, 20
232	010111000011	2	11, 21
233	010111000101	2	11, 22
234	010111000110	2	11, 23
235	110000000000	2	12, 13
236	101000000000	2	12, 14
237	100100000000	2	12, 15

№ п/п	Синдромная последовательность	Кратность ошибки	Номера разрядов, в которых ошибки
238	100010000000	2	12, 16
239	100001000000	2	12, 17
240	100000100000	2	12, 18
241	100000010000	2	12, 19
242	100000001000	2	12, 20
243	100000000100	2	12, 21
244	100000000010	2	12, 22
245	100000000001	2	12, 23
246	011000000000	2	13, 14
247	010100000000	2	13, 15
248	010010000000	2	13, 16
249	010001000000	2	13, 17
250	010000100000	2	13, 18
251	010000010000	2	13, 19
252	010000001000	2	13, 20
253	010000000100	2	13, 21
254	010000000010	2	13, 22
255	010000000001	2	13, 23
256	001100000000	2	14, 15
257	001010000000	2	14, 16
258	001001000000	2	14, 17
259	001000100000	2	14, 18
260	001000010000	2	14, 19
261	001000001000	2	14, 20
262	001000000100	2	14, 21
263	001000000010	2	14, 22
264	001000000001	2	14, 23
265	000110000000	2	15, 16
266	000101000000	2	15, 17
267	000100100000	2	15, 18
268	000100010000	2	15, 19
269	000100001000	2	15, 20
270	000100000100	2	15, 21
271	000100000010	2	15, 22
272	000100000001	2	15, 23
273	000011000000	2	16, 17
274	000010100000	2	16, 18
275	000010010000	2	16, 19
276	000010001000	2	16, 20
277	000010000100	2	16, 21
278	000010000010	2	16, 22
279	000010000001	2	16, 23
280	000001100000	2	17, 18
281	000001010000	2	17, 19
282	000001001000	2	17, 20
283	000001000100	2	17, 21
284	000001000010	2	17, 22
285	000001000001	2	17, 23
286	000000110000	2	18, 19
287	000000101000	2	18, 20
288	000000100100	2	18, 21
289	000000100010	2	18, 22
290	000000100001	2	18, 23
291	000000011000	2	19, 20

окончание таблицы

№ п/п	Синдромная последовательность	Кратность ошибки	Номера разрядов, в которых ошибки
292	000000010100	2	19, 21
293	000000010010	2	19, 22
294	000000010001	2	19, 23
295	000000001100	2	20, 21
296	000000001010	2	20, 22
297	000000001001	2	20, 23
298	000000000110	2	21, 22
299	000000000101	2	21, 23
300	000000000011	2	22, 23

Из таблицы видно, что при передаче второго информационного блока произошла однократная ошибка в 7-м разряде, при передаче четвертого информационного блока — двукратная в 5-м и 20-м разрядах. Соответственно в дешифраторе синдромной последовательности при передаче второго информационного блока формируется корректирующая последовательность  $K_2^* = (000000010000)$  для четвертого информационного блока —  $K_4^* = (000001000000)$ .

Таким образом, исправленная информационная последовательность примет вид:

$$M^* = K' \oplus K^* = \begin{pmatrix} 100011010011 \\ 000110100110 \\ 110110011000 \\ 100101000010 \\ 001001010010 \end{pmatrix} \oplus \begin{pmatrix} 000000000000 \\ 000000010000 \\ 000000000000 \\ 000001000000 \\ 000000000000 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 100011010011 \\ 000110110110 \\ 110110011000 \\ 100100100010 \\ 001001010010 \end{pmatrix}.$$

Данная последовательность поступает получателю информации. Со второго выхода дешифратора синдромной последовательности в регистр поступит информация о кратностях ошибок в передаваемых блоках информации, а именно последовательность  $Er = (0, 1, 0, 2, 0)$ . Так как многократных ошибок в передаваемой последовательности не допущено, то делается вывод об отсутствии преднамеренных помех (имитации со стороны противника).

В случае, когда противник пытается произвести имитацию передаваемых данных, зная о кодах, используемых

при передаче данных, для передачи имитируемой информации  $M_{z1} = (100111010101)$  он выполняет кодирование:

$$C_{z1} = M_{z1} \cdot G = (100111010101) \cdot \begin{pmatrix} 100000000000101011100011 \\ 010000000000111110010010 \\ 001000000000110100101011 \\ 000100000000110001110110 \\ 000010000000110011011001 \\ 00000100000011001101101 \\ 000000100000001100110111 \\ 000000010000010110111000 \\ 000000001000010110111100 \\ 000000000100001011011110 \\ 000000000010000101101110 \\ 0000000000010101110001101 \\ 0000000000001010111000111 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \overbrace{100111010101}^{k_j} \overbrace{000001000000}^{r_j} \end{pmatrix},$$

после чего данная последовательность отправляется в канал связи для передачи приемной стороне.

При поступлении данной последовательности на приемной стороне выполняются те же процедуры, что и описанные ранее:

1) обратная перестановка по правилу

$$\pi^{-1} = (6, 22, 15, 16, 4, 7, 14, 13, 2, 19, 23, 8, 21, 5, 11, 12, 24, 1, 17, 9, 18, 20, 3, 10):$$

$$T'_{z1} = (100101110000100100100000);$$

2) дешифрование:

$$C'_{z1} = T'_{z1} \oplus Y = (100101110000100100100000) \oplus (00111101010000110100110) = \begin{pmatrix} \overbrace{101010100101}^{k'_j} \overbrace{100010000110}^{r'_j} \end{pmatrix};$$

3) формирование синдромной последовательности

$$S = R'' \oplus R' = (111100111111) \oplus (100010000110) = (011110111001).$$

Из таблицы синдромов видно, что указанная синдромная последовательность соответствует как минимум трехкратной ошибке, что свидетельствует о возможной имитации передаваемых данных противником.

Приведенный пример показал, что способ имитостойчивой передачи информации по каналам связи с ис-



пользованием блочных разделимых кодов функционирует корректно, технически реализуем и позволяет обеспечить имитостойчивость без внесения дополнительной избыточности в передаваемые данные.

### Оценивание

Проведем гипотетическую оценку возможного выигрыша от использования данного способа обеспечения имитостойчивой передачи информации в сравнении с применением имитовставки. Оценивание производилось по трем различным направлениям:

1. В случае отказа от имитовставки появляется возможность сократить длину кодового слова, что приведет к снижению вероятности неисправимой ошибки в кодовом слове, так как чем больше длина кодового слова, тем выше вероятность неисправимой ошибки, вычисляемая по формуле:

$$P_{\text{uncorrection}} = \sum_{i=d_{\min}}^n C_n^i \cdot p_{\text{error}}^i \cdot (1 - p_{\text{error}})^{n-i},$$

где  $d_{\min}$  — минимальное кодовое расстояние;  
 $p_{\text{error}}$  — вероятность битовой ошибки;  
 $n$  — длина кодового слова.

Зависимости данных вероятностей для различных кодовых конструкций от вероятности битовой ошибки представлены на рис. 5. Синим цветом представлены вероятности неисправимых ошибок при использовании имитовставки, красным — при использовании предлагаемого способа. При этом в сравниваемых кодовых конструкциях  $d_{\min} = \text{const}$ ,  $k = \text{const}$ ,  $n_2 = n_1 - I$ .

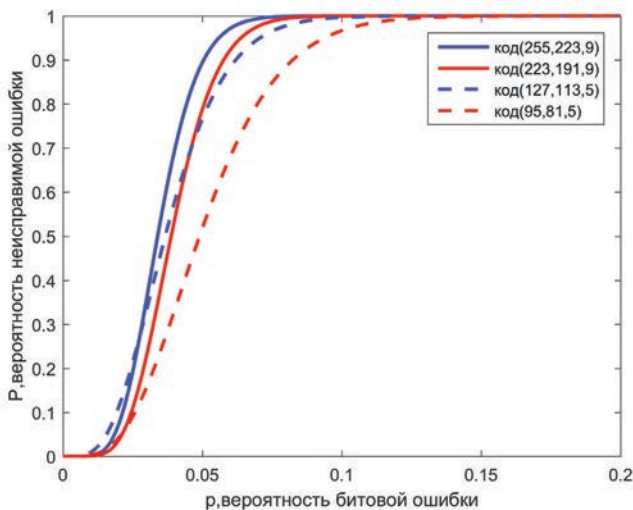


Рис. 5. Зависимость вероятности неисправимой ошибки в кодовом слове от вероятности битовой ошибки для различных кодовых конструкций

2. Если освободившиеся разряды от используемой имитовставки отвести для формирования дополнительной избыточности, то можно повысить исправляющую способность кода. Вероятность достоверного исправления ошибок вычисляется по формуле

$$P_{\text{correction}} = \sum_{i=1}^{\lfloor \frac{d_{\min}-1}{2} \rfloor} C_n^i \cdot p_{\text{error}}^i \cdot (1 - p_{\text{error}})^{n-i}.$$

Зависимость вероятности достоверного исправления ошибок от вероятности битовой ошибки представлена на рис. 6. Синим цветом представлены вероятности достоверного исправления ошибок при использовании имитовставки, красным — при использовании предлагаемого способа. При этом в сравниваемых кодовых конструкциях  $n = \text{const}$ ,  $k = \text{const}$ ,  $d_{\min_2} > d_{\min_1}$ .

3. При передаче вместо имитовставки полезной информации повышается скорость кода, тем самым повышается и скорость передачи полезной информации. Скорость кода вычисляется по формуле:

$$R = k / n.$$

Зависимость данного показателя от длины кодового блока представлена на рис. 7. Синим цветом представлены условные скорости кодов при использовании имитовставки, красным — при использовании предлагаемого способа. При этом в сравниваемых кодовых конструкциях  $d_{\min} = \text{const}$ ,  $n = \text{const}$ ,  $k_2 = k_1 + I$ .

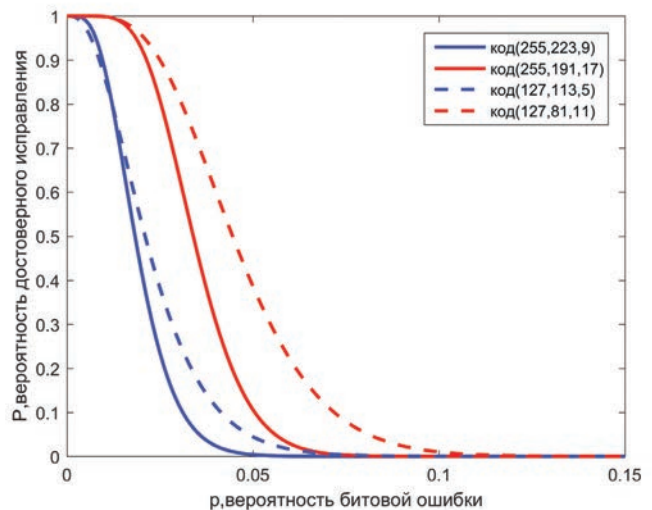


Рис. 6. Зависимость вероятности достоверного исправления ошибки от вероятности битовой ошибки для различных кодовых конструкций

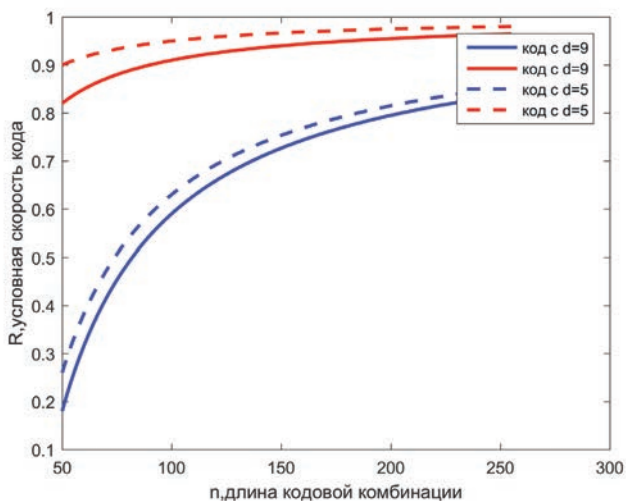


Рис. 7. Зависимость условной скорости кода от длины кодовой комбинации

При проведении оценки использовалась имитовставка длиной 32 бита. В соответствии с ГОСТ Р 34.13–2015 длина имитовставки может достигать 128 бит, что приведет к внесению еще большей избыточности передаваемой информации и снижению фактической скорости передачи полезной информации.

### Заключение

В результате проведенных исследований разработан способ обеспечения имитостойчивой передачи информации по каналам связи с использованием блочных разделительных кодов, применение которого возможно в КБЛА. Оценка возможного выигрыша от использования предложенного способа показала перспективность продолжения исследований в данном направлении. Необходимо обосновать выбор

критерия, определить требуемые показатели выбранного критерия выявления факта имитации передаваемых данных противником и смоделировать процесс передачи данных с применением описанного способа в среде Matlab.

### Литература

1. Макаренко С.И. Робототехнические комплексы военного назначения — современное состояние и перспективы развития // Системы управления, связи и безопасности. 2016. № 2. С. 73–132.
2. Попов С.А. Робот стреляет первым // Военное обозрение. 2016. URL: <https://topwar.ru/91499-robot-strelyaetpervym.html> (дата обращения 14.09.2019).
3. Молдовян А.А., Молдовян Н.А., Советов Б.Я. Криптография. СПб.: Лань, 2001. 224 с.
4. Грибунин В.Г., Оков И.Н., Туринцев И.В. Цифровая стеганография. М.: Солон-Пресс, 2009. 265 с.
5. Rizzo S. G., Bertini F., Montesi D. Text Authorship Verification through Watermarking // 2016 European Intelligence and Security Informatics Conference (EISIC) (Uppsala, Sweden, 17–19 Aug. 2016). IEEE, 2017. Pp. 168–171.
6. Mir N. Copyright for web content using invisible text watermarking // Computers in Human Behavior. 2014. Vol. 30. Pp. 648–653.
7. Дворников С.В., Погорелов А.А., Вознюк М.А., Иванов Р.В. Оценка имитостойкости каналов управления с частотной модуляцией // Информация и космос. 2016. № 1. С. 32–35.
8. Ороцук И.М. Оценка имитостойкости радиоканала с замиряниями при использовании сигналов с частотной манипуляцией // Радиотехника. 2004. № 11. С. 12–18.
9. Патент РФ 2634201. Устройство имитостойкого кодирования и декодирования информации избыточными систематическими кодами / Финько О.А., Самойленко Д.В., Диченко С.А., Петлеваннй А.А., Кишкин С.А. Заявл. 26.07.2016. Опубл. 24.10.2017. Бюл. № 30. 20 с.
10. Самойленко Д.В., Финько О.А. Имитостойчивая передача данных в защищенных системах однонаправленной связи на основе полиномиальных классов вычетов // Нелинейный мир. 2013. Т. 11. № 9. С. 647–659.





## THE WAY OF ENSURING RESISTANT TO IMITATION TRANSMISSION INFORMATION VIA COMMUNICATION CHANNELS

**YURIY O. GLOBIN,**

Krasnodar, Russia, jurokglobin@rambler.ru

**OLEG A. FINKO,**

Krasnodar, Russia, ofinko@yandex.ru

### ABSTRACT

The main changes that have occurred in recent years in the methods of warfare are considered. The object of research is the process of information transfer in complexes with unmanned aerial vehicles, widely used in modern conditions of military operations. The necessity of ensuring resistant to imitation transmission information in the complexes with unmanned aerial vehicles in performing their assigned tasks. The analysis of possible ways of protection of the transmitted information from imitations by the opponent is executed, the main advantages and disadvantages of the known decisions are considered, the direction for carrying out researches is offered. The aim of the research is to develop models of data protection from enemy simulation of radio-transmitted complexes with unmanned aerial vehicles. The aim of the study is to increase the protection of radio channels from the simulated effects of the enemy in complexes with unmanned aerial vehicles. The proposed way of ensuring resistant to imitation transmission information via communication channels using block-separable codes based on the procedures of the encryption mode XOR and managed permutation. An example of a device implementing this method and the order of its functioning is presented. Produced assessment of the potential gains from the use of this way of providing resistant to imitation transmission information in comparison with the use of message authentication code from the viewpoint of improving correcting ability of error-correcting codes used and increasing the speed of transmission of useful information. It is concluded that it is necessary to continue further research in this direction to justify the choice of criteria for determining the fact of simulation of transmitted data by the enemy and modeling the data transmission process using the described way in Matlab.

### REFERENCES

1. Makarenko S.I. Military Robots – the Current State and Prospects of Improvement. *Systems of Control, Communication and Security*. 2016. No 2. Pp. 73-132. (In Rus)
2. Popov S.A. Robot shoots first. *Voennoe obozrenie* [Military re-

**KEYWORDS:** complexes with unmanned aerial vehicles; error correction coding; block separable codes; imitation resistance; capacity.

- view]. 2016. URL: <https://topwar.ru/91499-robotstreljaet-pervym.html> (date of access 14.09.2019). (In Rus)
2. Moldovjan A.A., Moldovjan N.A., Sovetov B.Y. *Kriptografija* [Cryptography]. St. Petersburg: Lan', 2001. 224 p. (In Rus)
3. Gribunin V.G., Okov I.N., Turincev I.V. *Cifrovaja Steganografija* [Digital Steganography]. Moscow, Solon-Press Publ, 2009. 272 p. (In Rus)
4. Rizzo S.G., Bertini F., Montesi D. Text Authorship Verification through Watermarking. *2016 European Intelligence and Security Informatics Conference (EISIC)* (Uppsala, Sweden, 17-19 Aug. 2016). IEEE, 2017. Pp. 168-171.
5. Mir N. Copyright for web content using invisible text watermarking. *Computers in Human Behavior*. 2014. Vol. 30. Pp. 648-653.
6. Dvornikov S.V., Pogorelov A.A., Voznjuk M.A., Ivanov R.V. Resistance simulation control channel estimation with frequency-shift keying. *Informacija i kosmos* [Information and Space]. 2016. No. 1. Pp. 32-35. (In Rus)
7. Oroshuk I.M. Ocenka imitostojkosti radiokanala s zamiranjami pri ispol'zovanii signalov s chastotnoj manipulacijej [Evaluation of the imitability of control channels with frequency modulation]. *Radioelekhnika* [Radioengineering]. 2004. No. 11. Pp. 12-18. (In Rus)
8. Patent RF 2634201. Ustrojstvo imitostojkogo kodirovanija i dekodirovanija informacii izbytochnymi sistemateskimi kodami. Finko O.A., Samoilenko D.V., Dichenko S.A., Petlevannij A.A., Kishkin S.A. Declared 26.07.2016. Published 24.10.2017. Bulletin No. 30. 20 p. (In Rus)
9. Samoilenko D.V., Finko O.A. Imitation proof data transmission in protected systems of one-way communication by means of polynomial residue classes. *Nelinejnyj mir* [Nonlinear World]. 2013. Vol.11. No. 9. Pp. 647-659. (In Rus)

### INFORMATION ABOUT AUTHORS:

Globin Y.O., Postgraduate student of Krasnodar higher military school named after general of army S.M. Shtemenko;  
Finko O.A., PhD, Full Professor, Professor at the Department of Krasnodar higher military school named after general of army S.M. Shtemenko.



doi: 10.36724/2409-5419-2020-12-2-44-53

# РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ФОРМИРОВАНИЯ ВОЕННО-ТЕХНИЧЕСКИХ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

**БОБРИК**  
**Игорь Павлович<sup>1</sup>**

**ВЕТРЮК**  
**Родион Юрьевич<sup>2</sup>**

**ШИПУНОВ**  
**Алексей Сергеевич<sup>3</sup>**

**ФЕДОСОВ**  
**Антон Станиславович<sup>4</sup>**

## АННОТАЦИЯ

В работе приведен алгоритм определения динамики естественной убыли образцов вооружения, военной и специальной техники, а также представлен прототип автоматизированной системы формирования и обработки военно-технических исходных данных, реализующий данный алгоритм. Объектом исследования является процесс формирования военно-технических исходных данных в составе единой системы исходных данных проекта государственной программы вооружения на очередной программный период. Предметом исследования выступают методы и способы автоматизации процесса формирования военно-технических исходных данных на основе алгоритма определения динамики естественной убыли образцов вооружения, военной и специальной техники. Алгоритм определения динамики естественной убыли дает количественно-качественную оценку стоящих на вооружении образцов вооружения, военной и специальной техники и, тем самым, позволяет прогнозировать мероприятия государственной программы вооружения по проведению научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, серийной закупки и утилизации, среднего и капитального ремонтов. Прототип автоматизированной системы формирования и обработки военно-технических исходных данных реализует типовые функции на основе логической и модульной структуры специального программного обеспечения. Он обеспечивает решение функциональных задач и выполнение требований предназначения реализацией типовых функций запроса и отображение информации из базы данных, редактирования и записи информации в базы данных, выдачи отображаемой информации на печать, импорта входных и экспорта отображаемых данных в офисные программные средства. Представленные в статье научно-технические предложения позволяют повысить результативность и оперативность процессов формирования и обработки военно-технических исходных данных в составе единой системы исходных данных проекта государственной программы вооружения на очередной программный период.

## Сведения об авторах:

<sup>1</sup>к.т.н., сотрудник Академии Федеральной службы охраны Российской Федерации, г. Орёл, Россия

<sup>2</sup>к.э.н., сотрудник Академии Федеральной службы охраны Российской Федерации, г. Орёл, Россия, cherchil05@rambler.ru

<sup>3</sup>сотрудник Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации, г. Орёл, Россия

<sup>4</sup>сотрудник Академии Федеральной службы охраны Российской Федерации, г. Орёл, Россия

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** государственная программа вооружения; военно-технические исходные данные; автоматизированная система; математическое обеспечение; специальное программное обеспечение.

**Для цитирования:** Бобрик И.П., Ветрюк Р.Ю., Шипунов А.С., Федосов А.С. Разработка автоматизированной системы формирования военно-технических исходных данных // Научно-технические технологии в космических исследованиях Земли. 2020. Т. 12. № 2. С. 44-53. doi: 10.36724/2409-5419-2020-12-2-44-53



## Введение

Современный этап военного строительства предъявляет высокие требования к системе вооружения, военной и специальной техники (ВВСТ) Российской Федерации и ее компонентам. Данные требования обуславливают необходимость совершенствования существующего научно-методического аппарата планирования и управления ее развитием.

В настоящее время развитие ВВСТ осуществляется в соответствии с принятой методологией программно-целевого планирования, ключевым документом которой является государственная программа вооружения (ГПВ) на 10-летний период. ГПВ представляет собой долгосрочный плановый документ, предусматривающий осуществление скоординированных по целям, ресурсам и срокам мероприятий по разработке, производству и поддержанию в боеготовом состоянии образцов ВВСТ, обеспечивающих решение задач, поставленных перед Вооруженными Силами Российской Федерации (ВС РФ), другими войсками, воинскими формированиями и органами [1]. Разработка ГПВ осуществляется в три этапа. На первом этапе проводится анализ и оценка возможных угроз национальной безопасности Российской Федерации, а также составляется прогноз макроэкономических показателей социально-экономического развития государства и расходов федерального бюджета на национальную оборону, национальную безопасность и правоохранительную деятельность. Второй этап предполагает подготовку единой системы исходных данных (ЕСИД) и основных направлений развития ВВСТ. На третьем этапе формируются предложения по составу, содержанию и технико-экономическим показателям мероприятий развития ВВСТ для включения в проект ГПВ [2].

На сегодняшний день Министерство обороны Российской Федерации совместно с другими государственными заказчиками ведет подготовку информационной основы для формирования проекта ГПВ на 2024–2033 годы. В соответствии с Правилами разработки и реализации государственной программы вооружения, утвержденными Указом Президента Российской Федерации № 599 от 02.07.2013 г. на втором этапе разработки ГПВ-2033 будет сформирована ЕСИД, которая включает военно-технические исходные данные (ВТИД) на период до 2033 года. ВТИД формируют массив сведений о состоянии и динамике убыли образцов ВВСТ стоящих на вооружении в ВС РФ, других войсках, воинских формированиях и органах.

Анализ опыта формирования ВТИД на период 2018–2027 годов позволил определить круг особенностей и проблем, в том числе научно-методических, на решение которых предлагается направить усилия специалистов, участвующих в подготовке проекта ГПВ-2033.

Основными актуальными на сегодня проблемами авторы считают:

1. Отсутствие у ряда государственных заказчиков закрепленного перечня основных образцов ВВСТ. Это приводит к увеличению объема собираемых исходных данных (вплоть до хозяйственного инвентаря), увеличению времени на его обработку и соответственно к снижению качества полученных результатов.

2. Отсутствие у ряда государственных заказчиков закрепленного перечня современных образцов ВВСТ [3], что приводит к некорректному представлению результатов ВТИД.

3. Низкое качество заполнения (ошибки, неточности) запрашиваемых форм исходных данных подчиненными подразделениями-потребителями.

4. Отсутствие единого подхода к определению динамики естественной убыли образцов ВВСТ. Так, методические материалы по формированию ВТИД, рассылаемые Минобороны России государственным заказчикам, определяют строгую форму представления результатов ВТИД, но не устанавливают методический инструментарий для их получения.

5. Несовершенство и разнородность существующих методических подходов к определению динамики естественной убыли, разрабатываемых каждым государственным заказчиком отдельно.

6. Значительный объем данных, получаемых от подчиненных подразделений-потребителей для формирования и обработки ВТИД.

Но если первые четыре проблемы носят скорее организационный характер, решение которых лежит в управленческой плоскости, то совершенствование подходов к формированию ВТИД и обработка больших массивов информации за короткий временной отрезок (7–8 месяцев) является сложной, объемной, многопараметрической научно-методической задачей [4]. Она решается за счет применения современных методов моделирования и реализации их в автоматизированных информационных системах.

## Основная часть

Минобороны России имеет значительный задел в научно-методическом обеспечении процесса подготовки проекта ГПВ в пределах своих полномочий, реализованный, в том числе, в автоматизированной системе управления развитием вооружения, военной техники (АСУР ВВТ), изделия 83т56 и др. [5, 6]. При этом ряд вопросов в интересах деятельности других государственных заказчиков остается не до конца проработанным.

Рассмотрим сложную организационно-техническую систему (СОТС), формирующую предложения в проект ГПВ по закрепленной номенклатуре ВВСТ и включающую в свою организационно-штатную структуру множе-

ство служб, управлений и подразделений, оснащенных множеством образцов ВВСТ.

Определение динамики естественной убыли ВВСТ осуществляется по следующему алгоритму [7, 8].

1. По данным системы технического обеспечения в СОТС имеется конечное, непустое множество образцов ВВСТ  $N = \{n_i | i = \overline{1, I}\}$ , где  $I$  — мощность множества, определяемая номенклатурой имеющихся образцов ВВСТ. Каждому  $i$ -му образцу множества  $N$  соответствуют нормативный  $R_i^*$  (согласно технической документации) и фактически израсходованный  $R_i^f$  (на момент подготовки данных) ресурс эксплуатации. Каждому  $i$ -му образцу множества  $N$  также соответствует подмножество  $N_i$ , которое может содержать 4 группы качественного состояния  $i$ -х образцов ВВСТ: исправные, требующие среднего ремонта, требующие капитального ремонта, требующие списания (утилизации). При этом три последних группы объединяются в обобщенную категорию неисправных.

2. Для каждого  $i$ -го образца множества  $N$  рассчитывается остаток технического ресурса  $R_i$ :

$$R_i = \frac{R_i^* - R_i^f}{R_i^*} \times 100\% \quad (1)$$

3. Весь диапазон остатка технического ресурса принимает значения  $R_i \in [0; 100]$  и разбивается на  $m$  интервалов с шагом  $k$ . Каждому  $m$  интервалу ставится в соответствие количество  $n_i^m$  образцов ВВСТ, попавших в указанный интервал по остатку технического ресурса и среднее время эксплуатации  $t^m$  для них:

$$\overline{t^m} = \frac{\sum_{i=1}^{n_i^m} t_i}{n_i^m} \quad (2)$$

где  $t_i$  — время эксплуатации  $i$ -го образца ВВСТ, выраженное в количестве лет.

4. Для каждого  $m$  интервала рассчитывается годовой расход ресурса образцов ВВСТ  $I_i^m$  в подразделении:

$$I_i^m = \frac{100 - R_i^{m, sr}}{\overline{t_i^m}} \quad (3)$$

где  $m = \overline{1, 2, \dots, M}$ , — соответствующий интервал по остатку технического ресурса;

$R_i^{m, sr}$  — среднее значение соответствующего интервала остатка технического ресурса  $i$ -х образцов ВВСТ в подразделении;

$\overline{t_i^m}$  — среднее время эксплуатации  $i$ -х образцов ВВСТ в подразделении для соответствующего интервала.

5. Определение естественной убыли образцов ВВСТ в подразделении в  $m$  интервале, входящих по остатку технического ресурса в программный период продолжительностью 10 лет плюс 2 года до его начала (поскольку ВТИД утверждаются за 2 года и 2 месяца до начала программно-го периода) —  $n_{osti}^m(t)$ :

$$n_{osti}^m(t) = \begin{cases} n_i^m(0), & \text{если } t \leq T_i^m, \\ 0, & \text{если } t > T_i^m, \end{cases} \quad t \in [1, 12] \quad (5)$$

где  $T_i^m$  — время, за которое  $i$ -е образцы ВВСТ выработают остаток технического ресурса в  $m$  интервале, рассчитываемое по формуле:

$$T_i^m = \left[ \frac{R_i^{m, sr}}{I_i^m} \right] \quad (6)$$

где  $[ ]$  — округление до меньшего целого числа;

$n_i^m(0)$  — количество  $i$ -х образцов ВВСТ на момент сбора сведений в  $m$  группе по остатку технического ресурса.

6. Переход исправных  $i$ -х образцов ВВСТ в категорию неисправных определяется по формуле:

$$T_i^{m, neisp} = \left[ \frac{R_i^{m, sr} - R_i^{m, neisp}}{I_i^m} \right] \quad (6)$$

где  $R_i^{m, neisp}$  — среднее значение  $m$  интервала остатка технического ресурса  $i$ -х образцов ВВСТ, при котором исправный образец требует среднего или капитального ремонта.

7. Определение естественной убыли образцов ВВСТ в подразделении за все интервалы по остатку технического ресурса определяются выражением:

$$n_{osti}(t) = \sum_{m=1}^M n_{osti}^m(t), \quad t \in [1, 12] \quad (7)$$

8. Определение естественной убыли  $i$ -го образца ВВСТ за все подразделения, где имеется данный образец:

$$n_{ost}(t) = \sum_{j=1}^J n_{osti}^j(t), \quad t \in [1, 12] \quad (8)$$

где  $j = \overline{1, 2, \dots, J}$  — подразделения, имеющие в эксплуатации  $i$ -й образец ВВСТ.

В настоящее время, несмотря на интенсивное развитие информационно-телекоммуникационных технологий, процесс сбора, представления, верификации, первичной обработки и передачи ВТИД в значительной мере остается визуально-ручным а, следовательно, затратным, неизбежно приводящим к утрате оперативности информации, появлению значительного количества недостоверных данных [9]. На повышение результативности и оперативности процессов формирования и обработки ВТИД и направлен разработанный прототип АС «Афина».

АС «Афина» представляет гибкую адаптивную систему с обратной связью, обеспечивающую выполнение заданных функций по автоматизированному сбору, обработке, хранению и визуализации информации. Наиболее трудоемкой с научно-методической точки зрения явилась разработка специального программного (СПО) и математического обеспечения (МО) [10]. В основу МО лег вышеописанный алгоритм определения динамики естественной убыли образцов ВВСТ. СПО разработано на основе следующего подхода:

- Используемая система управления базами данных (СУБД): PostgreSQL 11.5;

- Серверная платформа: Ubuntu 18.04 LTS;
- Тип приложения: распределенное с Web-интерфейсом;
- Архитектура приложения: MVC;
- Среда приложения: ExtJS + Python + PL/SQL.

Возможность решения основных функциональных задач обеспечивается реализацией типовых функций, логической и модульной структуры СПО. АС «Афина» обеспечивает решение функциональных задач и выполнение требований предназначения реализацией типовых функций запроса и отображение информации из базы данных (БД), редактирования и записи информации в БД, выдачи отображаемой информации на печать, импорта входных и экспорта отображаемых данных в офисные программные средства.

АС «Афина» состоит из трех функциональных подсистем:

- сервера БД, на котором развернута база данных «vtid» (рис. 1), хранящая данные о количественно-качественном составе образцов ВВСТ в каждом подразделении (рис. 1), а также содержит сам список подразделений, классификацию ВВСТ, информацию другого рода, получаемую при формировании ВТИД;
- веб-сервера, который предоставляет доступ клиентам к веб-приложению, а также является интерфейсом

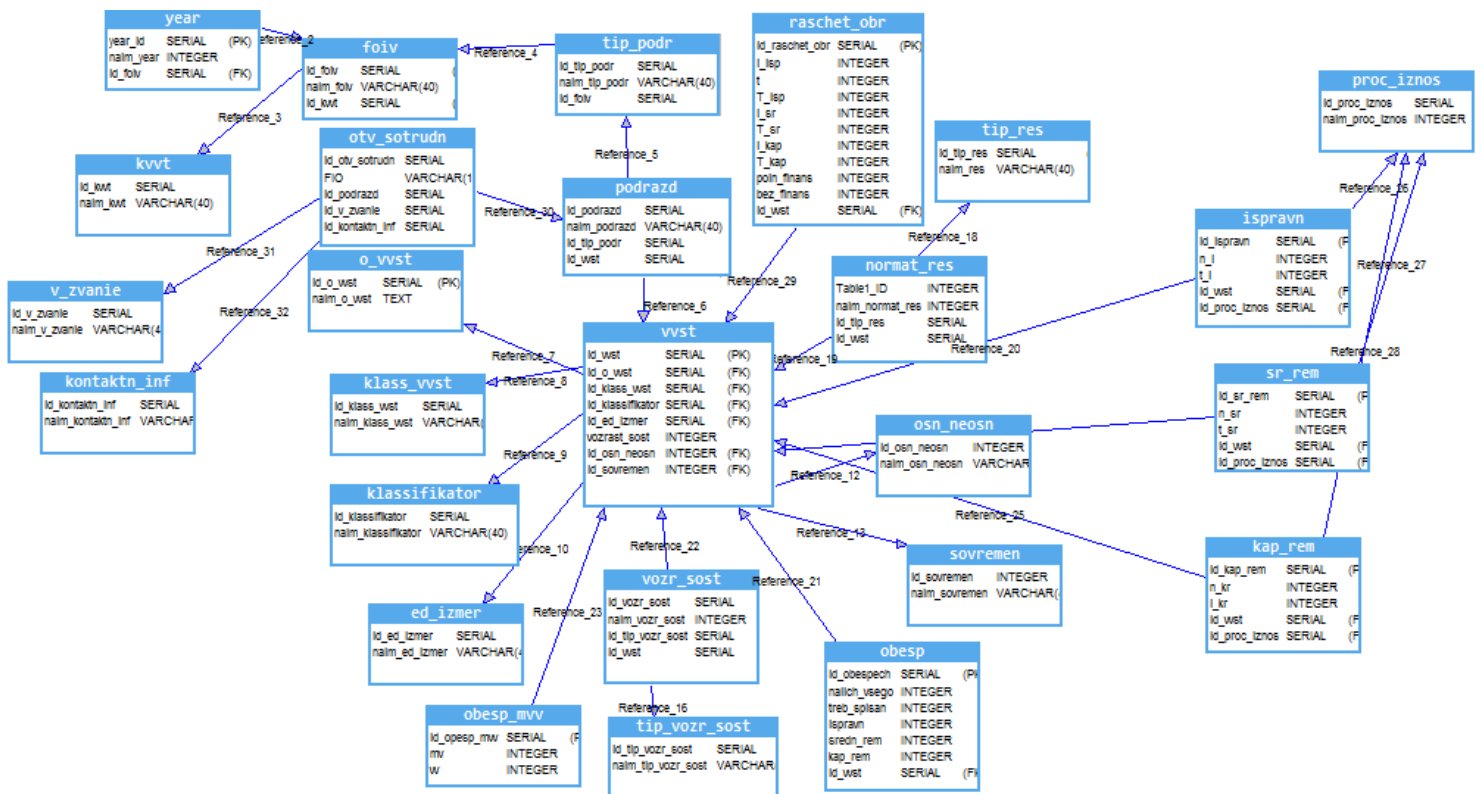


Рис. 1. Физическая модель БД «vtid»

клиентской подсистемы с СУБД посредством выполнения серверных сценариев;

– клиентской подсистемы, в виде автоматизированного рабочего места, получающей доступ к веб-приложению посредством стандартного интернет-браузера. Основной функцией клиентской части является предоставление эргономичного пользовательского интерфейса для повышения эффективности процессов формирования и обработки ВТИД.

Функционально СПО подразделяется на следующие программы:

– программа обработки справочников, классификаторов, библиотек, состоящая из следующих модулей:

а) программный модуль обработки классификаторов ВВСТ (рис. 2), содержащий классы (подклассы) ВВСТ

и соответствующие им образцы. При этом существует возможность сортировки по классу (подклассу) и поиска соответствующего образца;

б) программный модуль справочника подразделений (рис. 3), содержащий типы подразделений и соответствующие им наименования. При этом существует возможность сортировки по типу подразделения и поиска соответствующего наименования;

в) программный модуль единиц измерения (рис. 4). При этом существует возможность сортировки по назначению единицы измерения и поиска соответствующего наименования.

– программа сбора сведений о количественно-качественном состоянии образцов ВВСТ в подразделениях (рис. 5);

Классификатор ВВСТ	Класс(подкласс) ВВСТ	Наименование образца ВВСТ
ВВСТ	Специальные средства	Образец1
ВВСТ	Стрелковое вооружение	Образец2
ВВСТ	Автомобильная техника	Образец3
ВВСТ	Средства радиационной, химической и биологической защиты	Образец4

Рис. 2. Экранная форма ведения библиотеки классификаторов ВВСТ

ФОИВ	Тип подразделения	Наименование подразделения
ФОИВ	Подразделение охраны	Подразделение1
ФОИВ	Подразделение охраны	Подразделение2
ФОИВ	Подразделение связи	Подразделение3
ФОИВ	Подразделение связи	Подразделение4

Рис. 3. Экранная форма ведения справочника подразделений





Назначение единицы измерения	Наименование единицы измерения
Измерение количества	шт.
Измерение количества	тыс. шт.
Измерение количества	ед.
Измерение количества	тыс. ед.

Рис. 4. Экранная форма ведения справочника единиц измерения

№ п/п	Классификатор	Класс(подкласс) ВВСТ	Вид(подвид) ВВСТ	Наименование образца ВВСТ
1	ВВСТ	Стрелковое оружие	Стрелковое оружие до 12мм	АК-74
2	ВВСТ	Стрелковое оружие	Стрелковое оружие до 12мм	АК-74

Рис. 5. Экранная форма ведения информации о состоянии ВВСТ

– программа обработки и формирования сведений о количественно-качественном состоянии образцов ВВСТ в подразделениях, состоящая из следующих модулей:

- а) программный модуль формирования ВТИД в табличной форме (рис. 6, 7, 8);
- б) программный модуль формирования ВТИД в графической форме за класс ВВСТ (рис. 9);
- в) программный модуль формирования ВТИД в графической форме за образец ВВСТ (рис. 10).

– программа, позволяющая пользователю оперативно и полно получить информацию о возможностях того или иного модуля (программный модуль справки и поддержки).

Программное обеспечение АС «Афина» представляет

собой веб-приложение, спроектированное в соответствии с архитектурой MVC (модель –представление — контроллер). Данный подход обеспечивает интеграцию приложения в другие программные продукты, а так же обладает потенциалом для развития функциональных возможностей системы.

Тестирование разработанного прототипа АС «Афина» по параметрам валидации и верификации показало ее достаточное сходство с реальной системой. Валидация данных подтверждена тем, что при тестировании прототипа АС использовались ВТИД на период 2018–2027 годов, которые обладали удовлетворительной точностью и не противоречили исследуемой системе, а значения параметров использовались корректно.

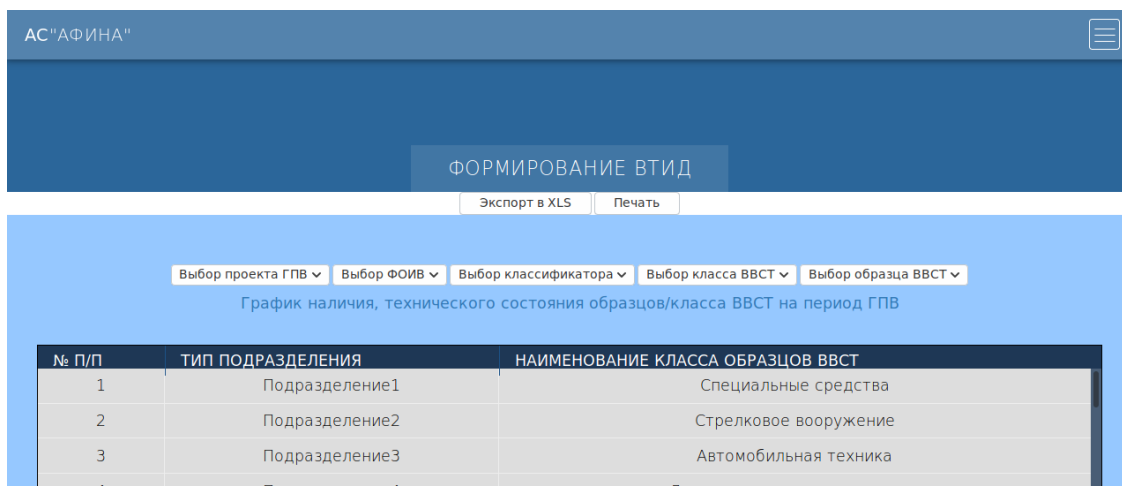


Рис. 6. Экранная форма формирования ВТИД

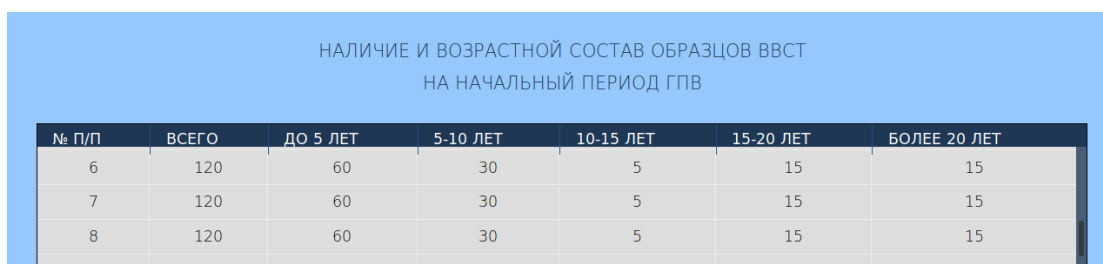
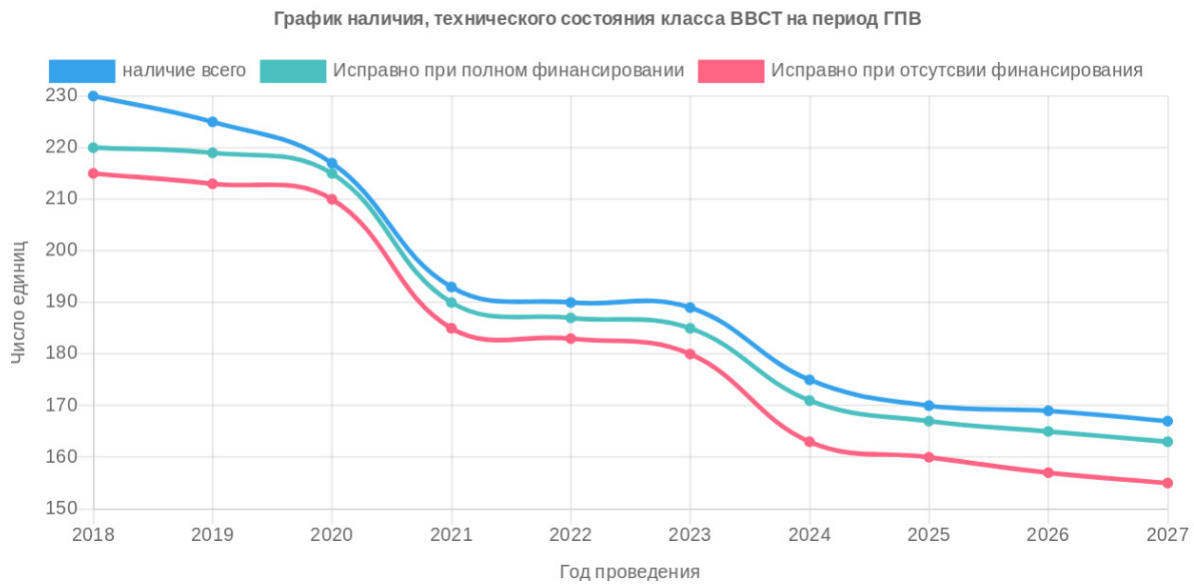


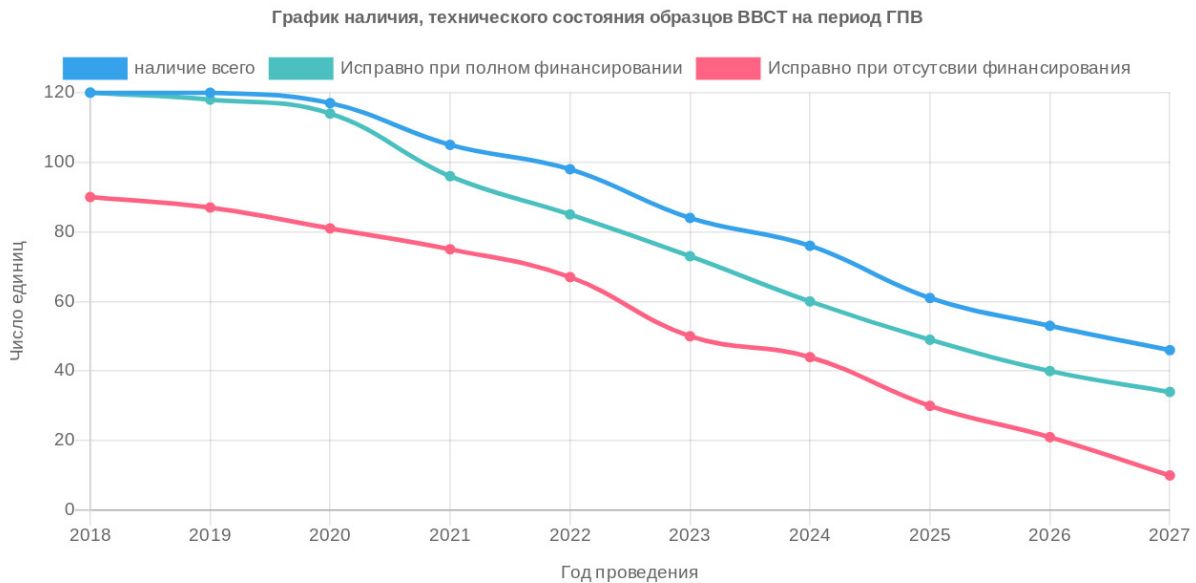
Рис. 7. Экранная форма формирования ВТИД (продолжение)



Рис. 8. Экранная форма формирования ВТИД (продолжение)



**Рис. 9.** Экранная форма формирования графического изображения ВТИД за класс ВВСТ



**Рис. 10.** Экранная форма формирования графического изображения ВТИД за образец ВВСТ

### Заключение

Таким образом, алгоритм определения динамики естественной убыли образцов ВВСТ, а также разработанный на его основе прототип позволяют создать полноценную АС и повысить, тем самым, результативность и оперативность процессов формирования и обработки ВТИД в составе ЕСИД проекта ГПВ-2033.

### Литература

1. Буренок В. М., Ляпунов В. М., Мудров В. И. Теория и практика планирования и управления развитием вооружения. М.: Граница, 2005. 520 с.
2. Буренок В. М., Косенко А. А., Лавринов Г. А. Техническое оснащение Вооруженных Сил Российской Федерации: организационные, экономические и методологические аспекты. М.: Граница, 2007. 728 с.

3. Мунтяну А.В., Печатнов Ю.А., Тагиров Р.Г. К вопросу о понятии «сбалансированная система вооружений» // Военная мысль. 2007. № 12. С. 30–35.

4. Бобрик И.П., Ветрюк Р.Ю., Шипунов А.С. Перевооружение отдельного типа вооружения, военной и специальной техники в условиях ограниченного финансирования // Вооружение и экономика. 2012. № 19. С. 34–41.

5. Буренок В.М., Погребняк Р.Н., Скотников А.П. Методология обоснования перспектив развития средств вооруженной борьбы общего назначения. М.: Машиностроение, 2010. 363 с.

6. Буравлев А.И., Пьянков А.А. Управление техническим обеспечением жизненного цикла вооружения и военной техники.

М.: Граница, 2015. 304 с.

7. Кормен Т., Лейзерсон Ч., Риверст Р., Штайн К. Алгоритмы. Построение и анализ. М.: Вильямс, 2013. 1328 с.

8. Блумберг В.А., Глуценко В.Ф. Какое решение лучше? Метод расстановки приоритетов. Л.: Лениздат, 1982. 160 с.

9. Ногин В.Д. Принятие решений в многокритериальной среде: количественный подход. М.: Изд-во физико-математической и технической литературы, 2004. 176 с.

10. Буравлев А.И., Буренок В.М. Методические основы обоснования количественных параметров вооруженных сил по критерию «эффективность-стоимость» // Вооружение и экономика. 2014. № 4 (29). С. 73–91.

## THE DEVELOPMENT OF AUTOMATED SYSTEM FORMING MILITARY-TECHNICAL INITIAL DATA

**IGOR P. BOBRİK,**

Orel, Russia

**RODION Yu. VETRYUK,**

Orel, Russia, cherchil05@rambler.ru

**ALEKSEY S. SHIPUNOV,**

Orel, Russia

**ANTON S. FEDOSOV,**

Orel, Russia

**KEYWORDS:** armament government program; military-technical initial data; automated system; mathematical support; special program support.

### ABSTRACT

The algorithm of determination armament, military and special technic's dynamics natural loss and prototype of automated system forming military-technical initial data are provided in the article. The process of forming military-technical initial data composed of armament government program's uniform system initial data is the object of research. Methods and ways of process automation forming military-technical initial data based on algorithm of determination armament, military and special technic's dynamics natural loss are the subjects of research. The algorithm of determination dynamics natural loss gives assessment to available armament, military and special

technic and allows predicting arrangements of armament government program such as researching actions, serial purchases and utilization, middle and capital maintenances. The prototype of automated system forming military-technical initial data realizes standard functions on the base of logic and modular construction of special software. It provides functional task solution and the execution of destination's demands by realization of standard functions for representation information requests from database. It also supplies information edition and record to database, information output for printing, import and export displayed data into office means. Offered in the article re-



search results permit to raise effectiveness and operability of the process of forming military-technical initial data composed of armament government program's uniform system initial data.

## REFERENCES

1. Burenok V.M., Lyapunov V.M., Mudrov V.I. *Teoriya i praktika planirovaniya i upravleniya razvitiem vooruzheniya* [Theory and practice of planning and controlling armament]. Moscow: Granitsa, 2005. 520 p. (In Rus)
2. Burenok V.M., Kosenko A.A., Lavrinov G.A. *Tekhnicheskoe osnaschenie Vooruzhennyh Sil Rossijskoj Federacii: organizacionnye, ekonomicheskie i metodologicheskie aspekty* [Technical equipping of Russian Federation Armed Forces: organizational, economical and methodological aspects]. Moscow: Granitsa, 2007. 728 p. (In Rus)
3. Muntyanu A.V., Pechatnov U.A., Tagirov R.G. To the question of a term "equilibrium armament system". *Voennaya misl'*. 2007. № 12. Pp. 30-35. (In Rus)
4. Bobrik I.P., Vetruk R.U., Shipunov A.S. The retooling of a park of separate type armaments, military and special technics in limited terms of financing. *Armament and Economics*. 2012. No. 19. Pp. 34-41. (In Rus)
5. Burenok V.M., Pogrebnyak R.N., Skotnikov A.P. *Metodologiya obosnovaniya perspektiv razvitiya sredstv vooruzhennoj bor'by obshchego naznacheniya* [Methodology of explanation of progressing perspective facilities arm conflict general setting]. Moscow: Machinostroenie, 2010. 363 p. (In Rus)
6. Buravlev A.I., Pyankov A.A. *Upravlenie tekhnicheskim obespecheniem zhiznennogo cikla vooruzheniya i voennoj tehniki* [Controlling of the technical equipping armament and military technic's life cycle]. Moscow: Granitsa, 2015. 304 p. (In Rus)
7. Kormen T., Layzerson Ch., Riverst R., Shtayn K. *Algoritmy. Postroenie i analiz* [Algorithms. Building and analysis]. Moscow: I.D. Williams, 2013. 1328 p. (In Rus)
8. Bloomberg V.A., Gluchenko V.F. *Kakoe reshenie luchshe? Metod rasstanovki prioriteto* [What decision is better? Priority placing method]. Leningrad: Lenizdat, 1982. 160 p. (In Rus)
9. Nogin V.D. *Prinyatie reshenij v mnogokriterial'noj srede: kolichestvennyj podhod* [Decision making in the multicriterion environment: quantitative approach]. Moscow: FIZMATLIT, 2004. 176 p. (In Rus)
10. Buravlyov A.I., Burenok V.M. Methodological basis for the study of quantitative parameters of the armed forces on the criterion of "cost-effectiveness". *Armament and Economics*. 2014. No. 4 (29). Pp. 73-91. (In Rus)

## INFORMATION ABOUT AUTHORS:

Bobrik I.P., PhD, Researcher of The Academy of the Federal Guard Service of the Russian Federation;  
 Vetryuk R.Yu., PhD, Researcher of The Academy of the Federal Guard Service of the Russian Federation;  
 Shipunov A. S., Researcher of The Academy of the Federal Guard Service of the Russian Federation;  
 Fedosov A.S., Researcher of The Academy of the Federal Guard Service of the Russian Federation.

**For citation:** Bobrik I.P., Vetryuk R.Yu., Shipunov A. S., Fedosov A.S. The development of automated system forming military-technical initial data. *H&ES Research*. 2020. Vol. 12. No. 2. Pp. 44-53. doi: 10.36724/2409-5419-2020-12-2-44-53 (In Rus)





doi: 10.36724/2409-5419-2020-12-2-54-71

## ОЦЕНКА РИСКА СОЗДАНИЯ ОБРАЗЦОВ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ В НЕЧЕТКИХ ТЕРМИНАХ

**БОЧКОВ**

**Александр Петрович<sup>1</sup>**

**ХОМОНЕНКО**

**Анатолий Дмитриевич<sup>2</sup>**

**БАРАНОВСКИЙ**

**Анатолий Михайлович<sup>3</sup>**

### АННОТАЦИЯ

Предлагается подход к расчету оценок риска в двух ситуациях, при разработке, модернизации образцов технической системы и при вариантной проработке перспективных образцов технической системы на существующих, часто применяемых, принципах действия и на принципах действия, в корне отличных от существующих принципов. Цель работы заключается в повышении качества процессов исследований и обоснования разработки технических систем на существующих принципах действия и на принципах действия в корне, отличных от существующих принципов, достигаемого путем проведения расчетов, по оценке уровня риска рассматриваемых вариантов технической системы в нечетких терминах, отвечающих информационным условиям ранних этапов разработки. Описаны математические модели оценки риска создания образца технической системы, функционирующего на существующих принципах действия и на принципах действия, в корне отличных от существующих принципов. В первом случае формируются факторы, тормозящие принятия образца в эксплуатацию, и их характеристики. Факторы, ввиду их неопределенности, оцениваются нечеткими терминами (например, лингвистическими переменными), на основе их проводится оценка риска. Отличительной особенностью модели является конкретизация факторов риска и их характеристик в соответствии с особенностями разработки технических систем, уточнение порядка оценки по этапам в виде алгоритма. При формировании оценки риска образца технической системы во втором случае выделена отличительная особенность – фактическое отсутствие характеристик факторов риска и значительная степень неопределенности в определении самих факторов. Это предопределило использование интервальных и трапецеидальных нечетких чисел, на основе которых предлагается порядок получения вероятности неблагоприятного исхода по созданию рассматриваемого варианта облика образца технической системы на принципах действия, в корне отличных от существующих принципов. Приводятся результаты численных расчетов уровня риска на примерах с соответствующей сравнительной интерпретацией данных расчета. Основным результатом являются оценка риска создания технических систем на существующих принципах действия и на принципах действия, в корне отличных от существующих принципов, которые отвечают информационным условиям ранних этапов создания, разработки и модернизации систем.

### Сведения об авторах:

<sup>1</sup>д.т.н., профессор, профессор Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, г. Санкт-Петербург, Россия, kostrea@mail.ru

<sup>2</sup>д.т.н., профессор, заведующий кафедрой Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I, профессор Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского, г. Санкт-Петербург, Россия, khomonenko@pgups.ru

<sup>3</sup>к.т.н., доцент, доцент Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I, г. Санкт-Петербург, Россия, bamvka@mail.ru

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** образец технической системы; модель; оценка риска; функция принадлежности; интервальное нечеткое число; разработка и модернизация технической системы.

**Для цитирования:** Бочков А.П., Хомоненко А.Д., Барановский А.М. Оценка риска создания образцов технических систем в нечетких терминах // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2020. Т. 12. № 2. С. 54-71. doi: 10.36724/2409-5419-2020-12-2-54-71

## Введение

Динамичность происходящих в современном мире процессов заставляет взглянуть на проблему оценки рисков разной природы с системных позиций. Прежде всего, необходимо хорошо понимать место и роль оценки риска в конкретной рассматриваемой ситуации. Например, если рассматривается техническая система (ТС), то необходимо представлять ее место в общей системе объектов (рис. 1). Кроме того, как правило, ТС входит в состав более сложных систем (смешанные системы). Исходя из этого, формируются конкретные ситуации для технических систем, в которых оцениваются риски.

В общем случае под риском понимается наступление некоторого нежелательного события в рассматриваемой ситуации. Показателем риска, например, может быть вероятность наступления заданного события. Такие нежелательные события встречаются при разработке ТС [1–4], решении разного рода задач в транспортной безопасности [5–7], создании программных продуктов [8,9], оценке информационных ресурсов [10–12], страховой сфере [13,14] и др.

В каждой постановке задачи в том или ином плане приходится оценивать риски разнообразной природы в зависимости от вида нежелательного события. В соответствии с этим подбирается или разрабатывается математический аппарат, с помощью которого можно оценивать риски возникновения определенных нежелательных событий.

## Характеристика моделей оценки риска

Модели оценки рисков разного рода объектов рассматривались в ряде работ [1–15, 24, 26–35] в различных постановках задач с определенными предположениями и ограничениями. Всем им при различных постановках за-

дачи характерна общая черта — степень неопределенности информационных данных используемых при оценке риска. В общем случае на основе анализа существующего математического аппарата оценки риска с учетом степени неопределенности исходных данных получены соответствующие виды моделей и методов оценки риска (рис. 2), которые в зависимости от области приложения тем или иным образом развиваются и уточняются. Неопределенность исходных данных формализуется с помощью нечетких терминов, которые описаны, например, в [16–19].

В работах [13,14] рассчитываются риски страховых событий на основе вероятностных моделей и математической статистики, предлагаются модели коллективных и индивидуальных рисков с учетом характерных для страхования законов распределения. В [5–7] проводится оценка рисков событий, влияющих на безопасность при перемещении на некотором виде транспорта, рассматриваются проблемы обеспечения безопасности транспортных средств и объектов транспортной инфраструктуры, исследованы потенциальные угрозы и уязвимости для различных видов транспорта, предложены подходы к обеспечению транспортной безопасности. В [10–12] рассматриваются модели информационных рисков, рисков информационной безопасности на основе методов экспертных опросов, приводится схема процесса обработки и оценки информационных рисков. В частности, в [11] приводится матричный метод для сбора данных для анализа рисков с последующей его оценкой. При создании программных продуктов в [8, 9] приводятся модели агрегативных рисков на основе теории нечетких множеств. Выделяются факторы риска и их характеристики, которые оцениваются с помощью нечетких терминов (функции принадлежности, лингвистические переменные



Рис. 1. Системы объектов

и др.), методы снятия неопределенности, описанные, например, в [20–23].

В [1–4, 15] предлагаются модели оценки рисков для технических систем на этапах их разработки. Так, в [2] приведены результаты исследований разработанной нечетко-вероятностной модели оценок рисков сложных технических систем. Разработан алгоритм нечеткого логического вывода, сформирована база правил нечетких продукций для предложенных лингвистических переменных нечетко-вероятностной модели оценок рисков. Реализация этого исследования позволяет повысить эффективность эксплуатации сложных технических систем, обеспечить качественное прогнозирование надежности их функционирования в аварийных экстремальных ситуациях. В [4] рассматривается модель оценки рисков при разработке и модернизации ТС, в [3] представлены предложения по снижению рисков, возникающих на начальных этапах жизненного цикла проекта по созданию технических си-

стем (информационно-управляющих систем). В [15] разработан метод оценки риска проекта создания сложной ТС на основе аппарата нечеткой логики. В [1] приводятся основные понятия и определения, связанные с жизненным циклом ТС. Рассматриваются понятия по признаку взаимодействия с внешней средой при функционировании, по формам развития и др. В частности при оценке риска выделяются ТС с постоянной и гибкой структурой, даны определения модернизации, модернизационной способности, оригинальной ТС, технической системы на нетрадиционных принципах действия. Основываются на таких понятиях как физический эффект, принцип действия. Так, технической системы на нетрадиционных принципах действия трактуется как новая система, функционирующая на принципах действия в корне отличных от принципов действия существующих систем, хорошо отработанных и наиболее часто применяемых. Соответственно ТС на традиционных принципах действия — система, использу-

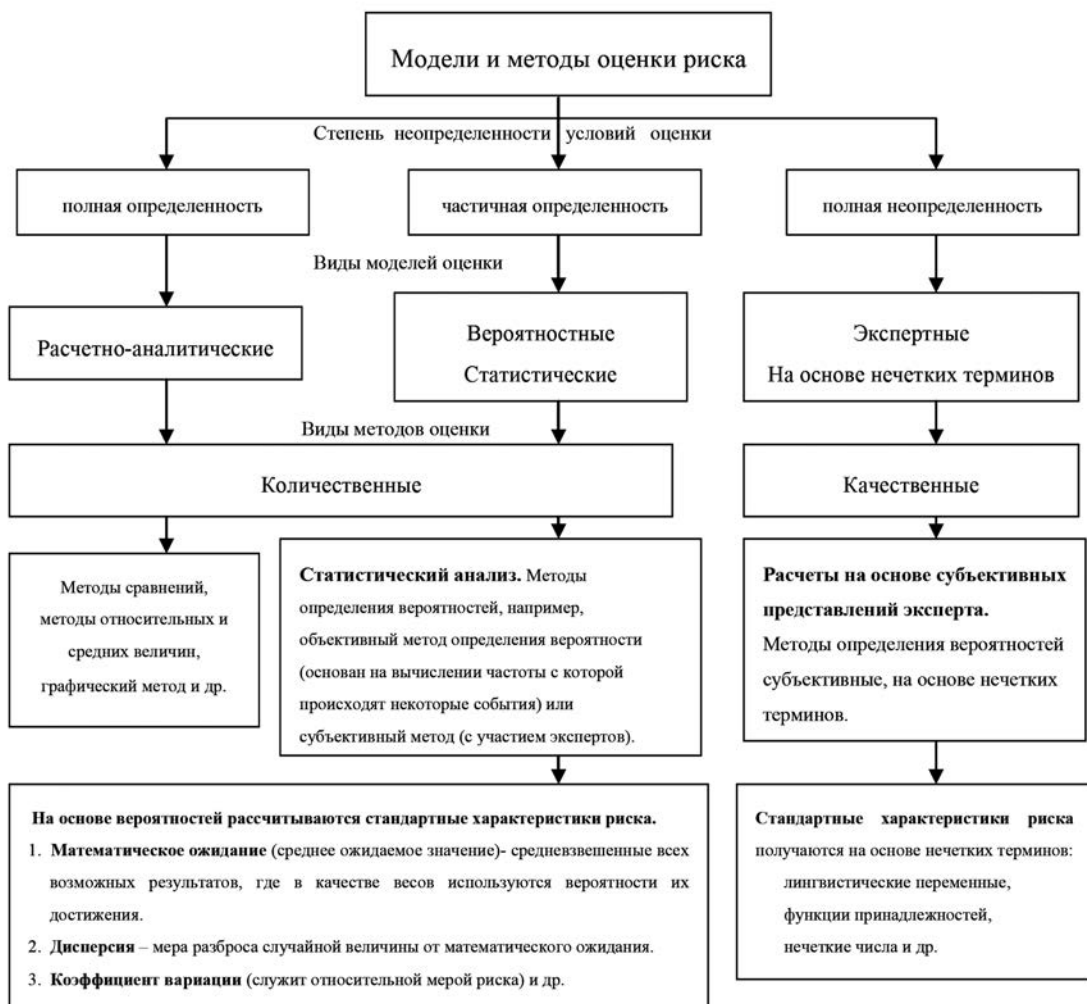


Рис. 2. Виды моделей и методов оценки рисков





ющая известные принципы действия, наиболее часто применяемые. Исходя из этих понятий, в [1] рассматривается оценка риска разработки ТС.

В [24] представлен всесторонний обзор известных приложений, связанных с оценкой рисков в период 1990–2010 гг. Приводится обобщенная характеристика 235 источников, отражающих оценку риска. Неопределенность в оценке риска учитывает случайность и неточность, в первом случае проявляется стохастичность любого процесса, во втором недостаточность знаний и информации о рассматриваемом процессе. Выделяется три группы методов представления и рассуждения с неопределенным знанием, основанных соответственно на байесовской теории вероятностей, теории вероятностей Демпстера-Шафера (Dempster-Shafer) и нечеткой логики. Причем, сосредотачиваются на применении нечеткой логики в оценке риска. Под нечеткой логикой понимается методический аппарат анализа нечетких множеств и теории вероятностей, который позволяет использовать неточные и приближенные данные встречающиеся, как правило, при оценке риска. При этом предлагается концепция вычислений со словами (CWW — Computing with Words), лингвистическими переменными и нечеткими множествами [25].

В настоящее десятилетие нечеткая логика широко применяется для оценки рисков в различных областях, например, в [26–35]. Активно используются аппарат нечеткой логики, основанный на функциях принадлежности «верно», «не верно», модели оценки влияния различных функций принадлежности на оценку рисков в зависимости от области применения [26–28].

В [29] сравнивается обычная модель оценки риска с моделью оценки риска, основанной на концепциях теории нечетких множеств. Приводится оценка рисков событий при строительстве туннелей. Полученные результаты подтвердили, что система нечеткого вывода обладает большим потенциалом для точного моделирования таких задач.

В [30–32] даны новые нечеткие механизмы оценки риска при разработке программного обеспечения, причем риски оцениваются на этапах жизненного цикла программных продуктов, рассматриваются схемы оценки рисков для мобильных приложений на основе повышения древовидности. Много внимания уделяется оценке рисков в информационных системах, созданию информационно-защищенных систем связи, оценке рисков влияния электромагнитных излучений на здоровье людей при эксплуатации схем беспроводной передачи данных [33–35].

Эти работы связаны с оценкой рисков на основе нечетких чисел, нечетких правил, нечеткого расширения некоторой типичной вероятности оценки риска и порядкового лингвистического подхода. Они могут использоваться на ранних этапах создания образца технической системы. Так, например, процедуре оценки рисков созда-

ния ТС на конкретных принципах действия предшествует выбор схем принципов действия в конструктивной схеме ТС с помощью нечетко-байесовских правил принятия решений [36]. Прогнозирование определяющих параметров системы с новым принципом действия осуществляется на основе нечеткого регрессионного анализа [37]. Оценка согласованности и совместимости разрабатываемого образца ТС в составе более сложной системы на этапе предпроектных исследований проводится с использованием системы нечетких правил [38].

Таким образом, в перечисленных работах представляются математические модели оценки рисков, которые, как правило, стохастические с элементами нечеткой логики, использующие аппарат теории вероятностей, математической статистики и теории нечетких множеств. При этом они допускают наличие случайных воздействий на исследуемые показатели.

Цель предлагаемой статьи заключается в оценке рисков разрабатываемых образцов ТС для повышения качества процессов исследований и обоснования разработки технических систем на существующих принципах действия и на принципах действия, в корне отличных от существующих принципов.

На основе анализа процессов, сопровождающих создание того или иного образца ТС, выявлен ряд типичных факторов [1]. Эти факторы связаны с отсроченным графиком выполнения работ, возросшей их стоимостью, недостаточной эффективностью проработки вариантов и др. Как правило, это является результатом общих тенденций, связанных с увеличением новизны, прогрессивности и морального старения, что отдалает момент принятия образца ТС в эксплуатацию. Поэтому в этих условиях требуется уметь оценивать риск его создания, результаты которого используются при принятии окончательного решения. Для этого, используя приведенную выше характеристику существующих моделей риска, необходимо разработать научно-методический аппарат, который зависит от того, какие принципы действия закладываются в основу функционирования образца ТС (наиболее часто применяемые принципы действия или принципы действия, в корне отличные от известных).

### **Оценка степени риска создания образца технической системы, функционирующего на часто применяемых принципах действия**

Ввиду высокой сложности факторов риска и наложения различных типов неопределённости нет смысла использовать для оценки риска изощрённый точный математический аппарат. В реальной ситуации лицо принимающее решение (ЛПР) рассматривает факторы риска как лингвистические переменные: «очень высокий», «средний», «низкий» и т.д. Поэтому в дальнейшем при оцен-

ке степени риска будут использоваться нечёткие термины факторов риска. Проводить ее целесообразно в два этапа. Причем, эта особенность модели оценки риска объясняется тем, что учитывается как фактор риска, так и его важность. В нашем случае рассматриваются степени риска факторов и степени важности их характеристик, которые оцениваются рангами (табл. 1).

Таблица 1

Нечеткие переменные степеней риска и важности

Ранги степеней риска и важности	$N_i$
1 — определённо низкая	(0; 0; 0,1)
2 — чрезвычайно низкая	(0; 0,1; 0,2)
3 — очень низкая	(0,1; 0,2; 0,3)
4 — низкая	(0,2; 0,3; 0,4)
5 — немного низкая	(0,3; 0,4; 0,5)
6 — средняя	(0,4; 0,5; 0,6)
7 — немного высокая	(0,5; 0,6; 0,7)
8 — высокая	(0,6; 0,7; 0,8)
9 — очень высокая	(0,7; 0,8; 0,9)
10 — чрезвычайно высокая	(0,8; 0,9; 1)
11 — определённо высокая	(0,9; 1; 1)

Лингвистические переменные 1,2,...,11 преобразуются в соответствующие нечёткие числа  $N_r$ ,  $i = 1,11$ , с треугольными функциями принадлежности

$$\mu_{N_1}(x) = \begin{cases} 1-10 \times x, & 0 \leq x \leq 0,1, \\ 0, & 0,1 \leq x \leq 1,0; \end{cases}$$

$$\mu_{N_k}(x) = \begin{cases} 0 & 0 \leq x \leq (k-2)/10, \\ 10 \times x - (k-2), & (k-2)/10 \leq x \leq (k-1)/10, \\ k-10 \times x, & (k-1)/10 \leq x \leq k/10, \\ 0, & k/10 \leq x \leq 1,0, \end{cases} \quad (1)$$

$$k = 2,3,\dots,10;$$

$$\mu_{N_{11}}(x) = \begin{cases} 0, & 0 \leq x \leq 0,9, \\ 10 \times x - 9, & 0,9 \leq x \leq 1,0. \end{cases}$$

Пусть степени риска и важности выражены нечёткими числами  $N_r$  и  $N_i$  с функциями принадлежности  $\mu_{N_r}(x)$  и  $\mu_{N_i}(x)$  соответственно. В [8] получено выражение функции принадлежности произведения этих нечётких чисел  $\mu_{N_r \otimes N_i}(x)$ . В дальнейшем от нечёткости будем избавляться с помощью так называемого центроидного метода. В табл. 2 представлены расчётные значения величин степеней риска, определяемых соотношением вида:

$$g(r, i) = \frac{\int_a^b x \mu_{N_r \otimes N_i}(x) dx}{\int_a^b \mu_{N_r \otimes N_i}(x) dx}.$$

Из табл. 2 видно, что значения  $g(r, i)$  слева направо, сверху вниз и по диагонали увеличиваются.

Таблица 2

Степень риска  $g(r,i)$  пары  $r$  и  $i$  для каждого фактора

Степень риска (r)	Степень важности (i)										
	низкая										высокая
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
низкая 1	0,003	0,0062	0,0095	0,0128	0,0161	0,0195	0,0228	0,0261	0,0295	0,0328	0,0333
2	0,0062	0,015	0,025	0,035	0,045	0,055	0,065	0,075	0,085	0,095	0,0992
3	0,0095	0,025	0,045	0,065	0,085	0,105	0,125	0,145	0,165	0,185	0,1958
4	0,0128	0,035	0,065	0,095	0,125	0,155	0,185	0,215	0,245	0,275	0,2925
5	0,0161	0,045	0,085	0,125	0,165	0,205	0,245	0,285	0,325	0,365	0,3892
6	0,0195	0,055	0,105	0,155	0,205	0,255	0,305	0,355	0,405	0,455	0,48/59
7	0,0228	0,065	0,125	0,185	0,245	0,305	0,365	0,425	0,485	0,545	0,5826
8	0,0261	0,075	0,145	0,215	0,285	0,355	0,425	0,495	0,565	0,636	0,6792
9	0,0295	0,085	0,165	0,245	0,325	0,405	0,485	0,565	0,645	0,725	0,7959
10	0,0328	0,095	0,185	0,275	0,365	0,455	0,545	0,635	0,725	0,815	0,8726
высокая 11	0,0333	0,0992	0,1958	0,2925	0,3892	0,4859	0,5826	0,6792	0,7959	0,8726	0,9361

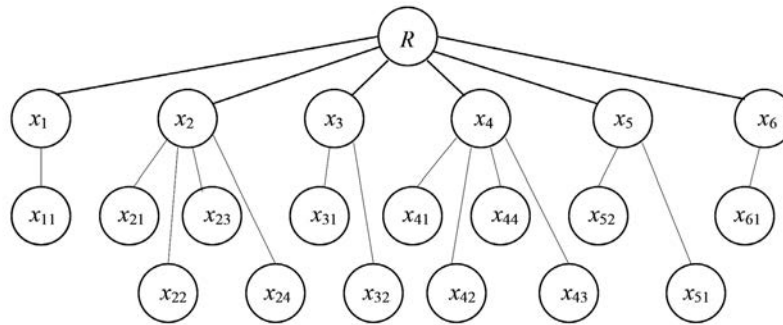


Рис. 3. Иерархическая структурная модель риска (вариант)

Модель структуры риска основана на выявлении для конкретного прогнозного исследования факторов риска и их характеристик. Для примера на рис. 3 представлена иерархическая структурная модель риска  $R$ . Учитывая, что основная часть разработок по созданию образца ТС направлена на использование хорошо известных и часто применяемых принципов действия, в табл. 3 представлены наиболее важные факторы риска и их характеристика.

Естественно, что предлагаемые факторы риска и их характеристики выбираются руководителем работ при непосредственном взаимодействии с обеспечивающими организациями и органами планирования и оценки разработки. Исходя из оценки ситуации по проведению разработки, проставляются ранги степеней риска по факторам и важности характеристик факторов, используя нечеткие переменные, представленные в табл. 3.

Таблица 3

Факторы риска и их характеристика

Определяющие факторы риска
$x_1$ — квалифицированный состав разработчиков для проведения работ по разработке, модернизации образца ТС; $x_2$ — система сформированных требований к разрабатываемому образцу ТС; $x_3$ — разработка целевой программы разработки, модернизации ТС в соответствии с выделенными ресурсами; $x_4$ — степень подготовленности технологического производства; $x_5$ — выполнение обязательств внешних организаций-поставщиков; $x_6$ — характеристика эксплуатационных возможностей разрабатываемого образца ТС.
Характеристика определяющих факторов риска
$x_{11}$ — нехватка квалифицированных специалистов для проведения работ по разработке; $x_{21}$ — неопределённость требований к создаваемому образцу ТС; $x_{22}$ — разработка некорректной функционально-структурной организации образца ТС; $x_{23}$ — некорректное распределение функций операторов и их взаимодействия при эксплуатации ТС; $x_{24}$ — непрерывный поток изменения требований; $x_{31}$ — неточный план проведения работ по разработке; $x_{32}$ — нехватка выделенных ресурсов; $x_{41}$ — отработанность технологических операций; $x_{42}$ — недостаточный уровень мастерства при проведении технологических операций; $x_{43}$ — деформированное, изношенное оборудование; $x_{44}$ — изменение в цепочке технологических операций; $x_{51}$ — нехватка готовых комплектующих сборок, поставляемых внешними организациями; $x_{52}$ — невыполнение договорных обязательств сторонними организациями; $x_{61}$ — проведенная разработка не обеспечит улучшение временных характеристик, влияющих на эффективность применения ТС.

Введём некоторые обозначения. Пусть  $n(k)$  — количество характеристик риска для  $k$ -го фактора  $x_k$ ,  $k = \overline{1, N}$ , где  $N$  — количество факторов (в дальнейшем, для примера,  $N=6$ ). В соответствии с принятой для примера структурной моделью:  $n(1) = 1$ ;  $n(2) = 4$ ;  $n(3) = 2$ ;  $n(4) = 4$ ;  $n(5) = 2$ ;  $n(6) = 1$ .

Веса факторов  $x_1, x_2, \dots, x_6$  обозначим соответственно  $W2(1), W2(2), \dots, W2(6)$ . При этом выполняются условия:

$$\sum_{k=1}^6 W2(k) = 1, \quad 0 \leq W2(k) \leq 1, \quad k = \overline{1, 6}.$$

В свою очередь, веса характеристики риска  $x_{kj}$ ,  $k = \overline{1, 6}$ ,  $j = \overline{1, n(k)}$ , обозначим через  $W1(k, j)$ . Для них также выполняются условия:

$$\sum_{j=1}^{n(k)} W1(k, j) = 1, \quad 0 \leq W1(k, j) \leq 1, \quad k = \overline{1, N}, \quad j = \overline{1, n(k)}.$$

С учётом этого алгоритм оценки риска включает следующие шаги.

1. Формирование  $N$  факторов риска создания образца ТС и совокупности их характеристик с последующим построением иерархической модели риска.

2. Определение необходимого количества нечетких переменных  $s^*$  (в табл. 1 их определено 11) для оценки факторов риска. Построение для них треугольных функций принадлежности (1) и соответственно получение центроидов  $VG(s)$ ,  $s = \overline{1, s^*}$ .

3. Построение для каждого фактора риска  $x_k$  нечёткой матрицы  $M(x_k)$  и оценки риска  $k$ -го фактора

$$R1(k) = (R(k, 1), R(k, 2), \dots, R(k, s), \dots, R(k, s^*)) = \\ = (W1(k, 1), W1(k, 2), \dots, W1(k, n(k))) \times M(x_k), \\ s = \overline{1, s^*}, \quad k = \overline{1, N},$$

где  $R(k, s) = \sum_{j=1}^{n(k)} W1(k, j) \times V(r_{kj}, i_{kj}, s)$ ,  $s = \overline{1, s^*}$ ,  $j = \overline{1, n(k)}$ .

Фактор риска  $x_k$  имеет характеристики  $x_{k,1}, x_{k,2}, \dots, x_{k,n(k)}$  и соответствующие оценки риска равны  $g(r_{k,1}, i_{k,1}), g(r_{k,2}, i_{k,2}), \dots, g(r_{k,n(k)}, i_{k,n(k)})$  (см. табл. 2). Значения  $V(r_{kj}, i_{kj}, n)$  и  $V(r_{kj}, i_{kj}, n+1)$  получаются в результате пересечения  $x = g(r_{kj}, i_{kj})$  и  $\mu_{V_n}(x)$ ,  $\mu_{V_{n+1}}(x)$  ( $n = 1, 2, \dots, s^*-1$ ) соответственно. Тогда  $V(r_{kj}, i_{kj}, n+1) = 1 - V(r_{kj}, i_{kj}, n)$  и  $V(r_{kj}, i_{kj}, s) = 0$  для каждого  $s$ , но  $s \neq n, n+1$ . Таким образом, создаётся нечёткая матрица

$$M(x_s) = \begin{matrix} & V_1 & V_2 & \dots & \dots & V_{s^*} \\ \begin{matrix} x_{s,1} \\ x_{s,2} \\ \dots \\ x_{s,n(s)} \end{matrix} & \left| \begin{matrix} V(r_{k,1}, i_{k,1}, 1) & V(r_{k,1}, i_{k,1}, 2) & \dots & \dots & V(r_{k,1}, i_{k,1}, s^*) \\ V(r_{k,2}, i_{k,2}, 1) & V(r_{k,2}, i_{k,2}, 2) & \dots & \dots & V(r_{k,2}, i_{k,2}, s^*) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ V(r_{k,n(k)}, i_{k,n(k)}, 1) & V(r_{k,n(k)}, i_{k,n(k)}, 2) & \dots & \dots & V(r_{k,n(k)}, i_{k,n(k)}, s^*) \end{matrix} \right. \end{matrix}$$

4. Получение нечёткой оценки общего риска по совокупности выделенных факторов

$$R^* = (R2(1), R2(2), \dots, R2(s), \dots, R2(s^*)) = \\ = (W2(1), W2(2), \dots, W2(N)) \times \begin{bmatrix} R1(1) \\ R1(2) \\ \dots \\ R1(N) \end{bmatrix},$$

где  $R2(s) = \sum_{k=1}^N W2(k) \times R(k, s)$  для  $s = \overline{1, s^*}$ .

5. Нахождение окончательной оценки риска, в которой устранена нечёткость центроидным методом,

$$\bar{R} = \frac{\sum_{s=1}^{s^*} VG(s) \times R2(s)}{\sum_{s=1}^{s^*} R2(s)} = \sum_{s=1}^{s^*} VG(s) \times R2(s)$$

$$\left( \sum_{s=1}^{s^*} R2(s) = 1 \right).$$

Величина  $\bar{R}$  представляет собой оценку общего риска.

Для практических целей этот алгоритм существенно упрощается, если ввести операцию по снятию нечеткости трапецидального нечеткого числа  $M$  (рис. 4) [1, 9]:

$$D(M) = e = \frac{a+b+c+d}{4}.$$

Треугольное нечеткое число  $A$ , параметризованное тройкой  $(a, b, c)$ , является частным случаем трапецидального нечеткого числа  $M$ . В этом случае, треугольное нечеткое число  $A$  может также быть представлено четверкой  $(a, b, b, c)$ .

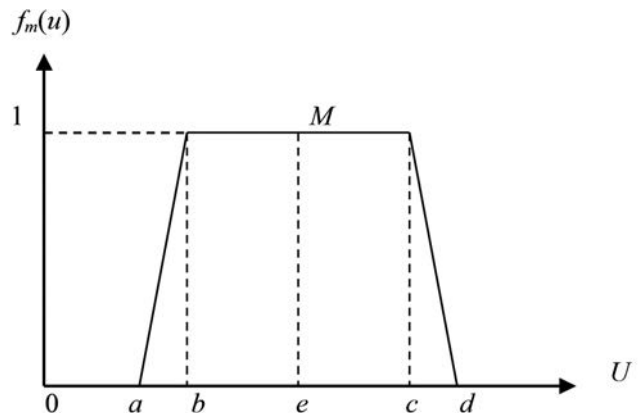


Рис. 4. Снятие нечеткости трапецидального нечеткого числа



При этом снятие нечеткости значения  $D(A)$  треугольного нечеткого числа будет определяться с помощью зависимости

$$D(A) = e = \frac{a+b+b+A}{4}. \quad (2)$$

Базируясь на выражении (2), содержание иерархической структурной модели, показанной на рис. 3, может быть представлено в виде табл. 4. Здесь оценка риска  $R(r, i) = D(r) \times D(i)$ , где  $D(r)$  и  $D(i)$  — значения треугольных нечетких чисел со снятой нечеткостью, представленных соответственно степенью риска ( $r$ ) и важностью ( $i$ ).

$$\begin{aligned} P(1) &= W1(1,1) \times R(r_{11}, i_{11}), \\ P(2) &= W1(2,1) \times R(r_{21}, i_{21}) + W1(2,2) \times R(r_{22}, i_{22}) + \\ &+ W1(2,3) \times R(r_{23}, i_{23}) + W1(2,4) \times R(r_{24}, i_{24}), \\ P(3) &= W1(3,1) \times R(r_{31}, i_{31}) + W1(3,2) \times R(r_{32}, i_{32}), \\ P(4) &= W1(4,1) \times R(r_{41}, i_{41}) + W1(4,2) \times R(r_{42}, i_{42}) + \\ &+ W1(4,3) \times R(r_{43}, i_{43}) + W1(4,4) \times R(r_{44}, i_{44}), \\ P(5) &= W1(5,1) \times R(r_{51}, i_{51}) + W1(5,2) \times R(r_{52}, i_{52}), \\ P(6) &= W1(6,1) \times R(r_{61}, i_{61}). \end{aligned}$$

В нашем случае конечная оценка риска есть

$$RIK = W2(1) \times P(1) + W2(2) \times P(2) + W2(3) \times P(3) + \\ + W2(4) \times P(4) + W2(5) \times P(5) + W2(6) \times P(6).$$

**Оценка степени риска создания образца ТС, функционирующего на новых принципах действия, отличных от часто применяемых принципов**

Концептуальной фазе создания образца ТС, функционирующего на известных, наиболее часто применяемых принципах действия, характерны процессы, которые считаются завершенными, т.е. процессы, в результате выполнения которых он был принят к разработке (проектированию). Исходя из этого, предоставляется возможность их анализа, на основе которого выявляются типичные факторы риска разработки. Напротив, концептуальной фазе создания образца ТС, функционирующего на новых принципах действия, в корне отличных от наиболее часто применяемых, характерны процессы, которые не совсем завершены. Это приводит к тому, что фактически не встречается в эксплуатации образец ТС, функционирующий на таких новых принципах. Учитывая это, нельзя говорить с полной уверенностью о каких-либо факторах риска такой разработки. Кроме того, исходные данные по оценке риска создания образца ТС, функционирующего на новых принципах, будут иметь более нечеткий вид. Следовательно, и алгоритм ее расчета тоже будет иной.

Качественно риск можно оценить несколькими состояниями его проявления, что будет наиболее полно отражать нечеткость условий процесса создания. Всё множество состояний риска делится на случаи наличия и отсутствия его, что не может описывать реальную ситуацию, характеризующую создание образца ТС, функционирующего на новых принципах, на концептуальной фазе.

Таблица 4

Содержание иерархической структурной модели риска

$x_k$	$x_{kj}$	$W2(k)$	$W1(k, j)$	$D(r)$	$D(i)$	$R(r, i) = D(r) \times D(i)$
$x_1$	$x_{11}$	$W2(1)$	$W1(1,1)$	$D(r_{11})$	$D(i_{11})$	$R(r_{11}, i_{11})$
$x_2$	$x_{21}$	$W2(2)$	$W1(2,1)$	$D(r_{21})$	$D(i_{21})$	$R(r_{21}, i_{21})$
	$x_{22}$		$W1(2,2)$	$D(r_{22})$	$D(i_{22})$	$R(r_{22}, i_{22})$
	$x_{23}$		$W1(2,3)$	$D(r_{23})$	$D(i_{23})$	$R(r_{23}, i_{23})$
	$x_{24}$		$W1(2,4)$	$D(r_{24})$	$D(i_{24})$	$R(r_{24}, i_{24})$
$x_3$	$x_{31}$	$W2(3)$	$W1(3,1)$	$D(r_{31})$	$D(i_{31})$	$R(r_{31}, i_{31})$
	$x_{32}$		$W1(3,2)$	$D(r_{32})$	$D(i_{32})$	$R(r_{32}, i_{32})$
$x_4$	$x_{41}$	$W2(4)$	$W1(4,1)$	$D(r_{41})$	$D(i_{41})$	$R(r_{41}, i_{41})$
	$x_{42}$		$W1(4,2)$	$D(r_{42})$	$D(i_{42})$	$R(r_{42}, i_{42})$
	$x_{43}$		$W1(4,3)$	$D(r_{43})$	$D(i_{43})$	$R(r_{43}, i_{43})$
	$x_{44}$		$W1(4,4)$	$D(r_{44})$	$D(i_{44})$	$R(r_{44}, i_{44})$
$x_5$	$x_{51}$	$W2(5)$	$W1(5,1)$	$D(r_{51})$	$D(i_{51})$	$R(r_{51}, i_{51})$
	$x_{52}$		$W1(5,2)$	$D(r_{52})$	$D(i_{52})$	$R(r_{52}, i_{52})$
$x_6$	$x_{61}$	$W2(6)$	$W1(6,1)$	$D(r_{61})$	$D(i_{61})$	$R(r_{61}, i_{61})$

В этом случае более подходящей может быть модель, которая учитывает нечеткое множество состояний риска:

$$A = \{a_1, \mu_1; a_2, \mu_2; \dots; a_j, \mu_j; \dots; a_m, \mu_m\},$$

где  $a_j, j = 1, \dots, m$  — термин  $j$ -го состояния риска;

$m$  — число состояний;

$\mu_j$  — функция принадлежности, отражающая степень риска  $j$ -го состояния.

Для повышения гибкости в теории нечетких множеств функцию принадлежности могут задавать интервальным нечетким числом или трапецидальным. Так, в табл. 5 приведено девять возможных состояний риска ( $m=9$ ) с соответствующими трапецидальными числами.

При этом вероятность неблагоприятного исхода может быть выражена формулой

$$P(A) = \sum_{j=1}^m P_j \mu_j, \quad (3)$$

где  $P_j$  — вероятность  $j$ -го состояния риска [20].

Дополнение  $\bar{A}$  представляет собой нечеткое множество благоприятного исхода по созданию образца ТС. В этом случае

$$P(\bar{A}) = \sum_{j=1}^m P_j (1 - \mu_j) = 1 - P(A).$$

Таблица 5

Качественная оценка степени риска создания перспективного образца ТС, функционирующего на новых принципах (вариант)

Лингвистические термины оценок риска, $a_j$	$\mu_j$	Нечеткое трапецидальное число ( $B; C; b; c$ )	Условия создания перспективного образца ТС, функционирующего на новых принципах, их влияние на риск
Риск отсутствует, $a_1$	0	(0; 0; 0; 0)	Развитие технологии и существующие экономические условия показывают о реальной возможности создания образца ТС, функционирующего на новых принципах, к прогнозируемому периоду ( $t_{\text{упр}}$ ).
Риск очень малый, $a_2$	0,01	(0; 0; 0,02; 0,05)	Развитие технологии и существующие экономические условия показывают о реальной возможности создания образца ТС, функционирующего на новых принципах, к прогнозируемому периоду ( $t_{\text{упр}}$ ), но эти показания слабо убедительные.
Риск малый, $a_3$	0,14	(0,1; 0,18; 0,06; 0,05)	Развитие технологии и существующие экономические условия показывают о реальной возможности создания образца ТС, функционирующего на новых принципах, к прогнозируемому периоду ( $t_{\text{упр}}$ ), но эти показания не убедительные.
Риск средне малый, $a_4$	0,29	(0,22; 0,36; 0,05; 0,06)	Развитие технологии и существующие экономические условия показывают о слабой возможности создания образца ТС, функционирующего на новых принципах, к прогнозируемому периоду ( $t_{\text{упр}}$ ), но эти показания не убедительные.
Риск средний, $a_5$	0,49	(0,41; 0,58; 0,09; 0,07)	Развитие технологии и существующие экономические условия убедительно показывают о слабой возможности создания образца ТС, функционирующего на новых принципах, к прогнозируемому периоду ( $t_{\text{упр}}$ ).
Риск средне большой, $a_6$	0,715	(0,63; 0,8; 0,05; 0,06)	Развитие технологии и существующие экономические условия показывают о невозможности создания образца ТС, функционирующего на новых принципах, к $t_{\text{упр}}$ , но эти показания не убедительные.
Риск большой, $a_7$	0,85	(0,78; 0,92; 0,06; 0,05)	Развитие технологии и существующие экономические условия показывают о невозможности создания образца ТС, функционирующего на новых принципах, к $t_{\text{упр}}$ , но эти показания слабо убедительны.
Риск очень большой, $a_8$	0,99	(0,98; 1,0; 0,05; 0)	Существуют убедительные доказательства о невозможности создания образца ТС, функционирующего на новых принципах, к $t_{\text{упр}}$ .
Риск абсолютный, $a_9$	1,0	(1,0; 1,0; 0; 0)	Максимально подтверждается доказательство о невозможности создания образца ТС, функционирующего на новых принципах, к $t_{\text{упр}}$ .



Вероятности состояний  $P_j$  для каждого конкретного  $i$ -го варианта облика образца ТС оказываются разными и зависят от развития технологии производства, научно-технического потенциала и других факторов.

Руководствуясь величиной периода упреждения  $t_{\text{упр}}$ , уверенностью в реализации вариантов облика к будущему моменту времени  $t_n = t_0 + t_{\text{упр}}$  ( $t_0$  — время оценки риска), можно выделить  $n$  состояний, где риск максимален, т.е. как бы пересмотреть приоритет состояний риска. При этом должно соблюдаться неравенство  $n < m$ .

Обозначим уровни риска создания образца ТС на концептуальной фазе через  $r_i, i = 0, \dots, n$  таким образом, что  $0 = r_0 < r_1 < r_2 < \dots < r_n = 1$ . В данном случае  $r_i, i = 0, \dots, n$ , есть число на отрезке  $[0, 1]$ , которое характеризует степень риска. Тогда повышение степени риска при переходе с  $i$ -го на  $(i-1)$ -й уровень риска будет характеризоваться величиной

$$l_i = r_i - r_{i-1}, \quad i = \overline{1, n} \quad (4)$$

Рассмотрим события, состоящие в том, что уровень риска не снизится ниже уровня  $r_i$  (обозначим их через  $R_i, i = 1, \dots, n$ ). По смыслу  $R_i$  это множество тех  $j$ -х состояний риска, для которых  $\mu_j \geq r_i$ , т.е. фактически множество уровня  $r_i$  для нечеткого множества  $A$  состояний риска. Вероятность реализации события  $R_i$  определится как

$$P(R_i) = \sum_{j=1}^m P_j I_{i\mu_j}, \quad (5)$$

где

$$I_{i\mu_j} = \begin{cases} 1, & \text{если } \mu_j \geq r_i, \\ 0, & \text{если } \mu_j < r_i. \end{cases}$$

Используя вероятности событий  $R_i$ , выражение (3) примет вид

$$P(A) = \sum_{i=1}^n P(R_i) l_i. \quad (6)$$

Вероятности  $P_j, j = 1, \dots, m$  определяются экспертным путем в зависимости от  $t_{\text{упр}}$ , развития технологии производства ТС и научно-технического потенциала для конкретного варианта облика образца ТС на будущий момент  $t_n$ .

Таким образом, для оценки риска создания образца ТС, формируется множество его состояний с соответствующими значениями  $\mu_j$ . Чем больше состояний, тем лучше, т.к. нечеткость распределяется более равномерно. Этот этап оценки остается неизменным для большинства постановок задач прогнозирования. Остальные этапы находятся в прямой зависимости от типа прогноза, его горизонта, а также характера исходных данных по объекту прогнозирования. К ним относятся:

- условное определение количества состояний  $n$ , где риск для выбранного объекта прогнозирования максимален;
- оценка уровней отсутствия риска  $r_i, i = 0, 1, \dots, n$  и расчет  $l_i$  по выражению (4);
- оценка вероятностей состояний  $P_j$  для каждого варианта облика на период  $t_{\text{упр}}$ ;
- расчет вероятностей событий, состоящих в том, что уровень риска не снизится ниже уровня  $r_i$ , с помощью зависимости (5);
- расчет по формуле (6) вероятности неблагоприятного исхода создания варианта образца ТС.

В отдельных задачах прогнозирования, учитывая высокую степень нечеткости условий проведения прогноза, имеет смысл в качестве функции принадлежности брать нечеткие числа (интервальные или трапециевидные). В табл. 5 представлены нечеткие трапециевидные числа, которые можно использовать при оценке степени риска. Рассмотрим порядок получения вероятности неблагоприятного исхода по созданию образца ТС, функционирующего на новых принципах, для случая применения тра-

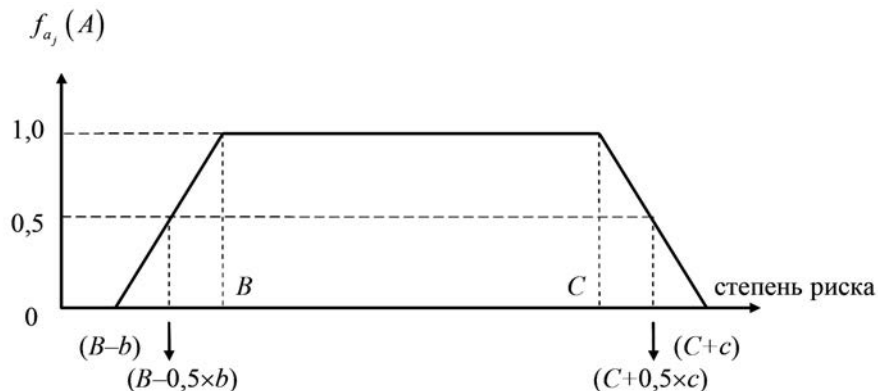


Рис. 5. Расплывчатое трапециевидное число

пецеидальных нечетких чисел, которые являются более общими. Тогда нечеткое число  $r_i$  характеризуется как набор из четырех чисел  $[B; C; b; c]$ , где  $[B, C]$  — интервал, в котором может быть степень риска с вероятностью единица, а значения  $b$  и  $c$  указывают ширину трапецидально-го распределения влево и вправо;  $f_{a_j}(A)$  — функция принадлежности лингвистического термина  $a_j$  оценок степени риска нечеткому множеству  $A$  (рис. 5).

Каждому расплывчатому числу поставим в соответствие лингвистический термин оценок риска (см. табл. 7). В результате получим соотношение

$$r_0 = [B_0, C_0, b_0, c_0] < r_1 = [B_1, C_1, b_1, c_1] < \dots < r_n = [B_n, C_n, b_n, c_n],$$

из которого видно, что для нижней границы справедливо неравенство  $B_0 < B_1 < \dots < B_n$ . Кроме того, для различных степеней реализуемости события (уровней  $f_{a_j}(A)$ ), расплывчатому числу  $[B, C, b, c]$  можно поставить в соответствии с [21] интервальные нечеткие числа  $[B, C]$  (табл. 6).

Тогда, при расчетах по выражениям (4)–(6), необходимо проводить операции с интервальными числами  $[B_i, C_i]$ ,  $i=0, 1, \dots, n$ , что несколько усложнит работу. Приведем зависимости к более удобному виду

$$P(A) = \sum_{i=1}^n l_i \sum_{j=1}^m P_j I_{i\mu_j},$$

где  $\sum_{j=1}^m P_j I_{i\mu_j}$  — вероятность реализации состояний риска при уровне риска не ниже  $r_i$  в момент времени  $t_n$

$$\left( P_i(t_n) = \sum_{j=1}^m P_j I_{i\mu_j} \right).$$

Следовательно, формулу (6) можно переписать в виде

$$P_{t_n}(A) = \sum_i^n P_i(t_n) l_i = \left[ \sum_i^n P_i(t_n)(B_i - B_{i-1}); \sum_i^n P_i(t_n)(C_i - C_{i-1}) \right]. \quad (7)$$

Таблица 6

Расплывчатые числа для различных уровней  $f_{a_j}(A)$

Лингвистические термины оценок риска	Нечеткое число				$f_{a_j}(A) = 0$		$f_{a_j}(A) = 0,5$		$f_{a_j}(A) = 1$	
	$B$	$C$	$b$	$c$	$B$	$C$	$B$	$C$	$B$	$C$
Риск отсутствует	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Риск очень малый	0	0,02	0	0,05	0	0,07	0	0,045	0	0,02
Риск малый	0,1	0,18	0,06	0,05	0,04	0,23	0,07	0,205	0,1	0,18
Риск средне малый	0,22	0,36	0,05	0,06	0,17	0,42	0,195	0,39	0,22	0,36
Риск средний	0,41	0,58	0,09	0,07	0,32	0,65	0,365	0,615	0,41	0,58
Риск средне большой	0,63	0,80	0,05	0,06	0,58	0,86	0,605	0,83	0,63	0,80
Риск большой	0,78	0,92	0,06	0,05	0,72	0,97	0,75	0,945	0,78	0,92
Риск очень большой	0,98	1	0,05	0	0,93	1	0,955	1	0,98	1
Риск абсолютный	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1

Таблица 7

Исходные данные по оценке факторов риска  $x_k, k = \overline{1, 6}$  с учётом выбранной структурной модели риска

$x_k$	$x_1$	$x_2$				$x_3$		$x_4$				$x_5$		$x_6$
W2	0,3	0,3				0,1		0,1				0,1		0,1
$x_{ki}$	$x_{11}$	$x_{21}$	$x_{22}$	$x_{23}$	$x_{24}$	$x_{31}$	$x_{32}$	$x_{41}$	$x_{42}$	$x_{43}$	$x_{44}$	$x_{51}$	$x_{52}$	$x_{61}$
W1	1	0,4	0,4	0,1	0,1	0,5	0,5	0,3	0,1	0,3	0,3	0,5	0,5	1
Степень риска, $r$	6	5	4	3	2	6	5	4	6	6	5	7	7	6
Степень важности, $i$	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7



При использовании (7) вероятность неблагоприятного исхода по созданию образца ТС, функционирующего на новых принципах, представляется интервальным числом, что отражает возникшую неопределенность в самом начале оценки риска. Пример 3 иллюстрирует оценку риска создания такого образца ТС. Даны расчеты оценки риска по выражениям (6) и (7).

### Численные расчеты оценки риска

**Пример 1.** В соответствии с алгоритмом расчёта риска создания ТС проведём расчёт окончательной оценки риска  $R$  с учётом исходных данных в табл. 7, т.е. этап 1 алгоритма расчёта риска выполнен.

2. Используются следующие лингвистические переменные:  $V_1$  — чрезвычайно низкий;  $V_2$  — очень низкий;  $V_3$  — низкий;  $V_4$  — средний;  $V_5$  — высокий;  $V_6$  — очень высокий;  $V_7$  — чрезвычайно высокий,  $s^* = 7$ . Им соответствуют функции принадлежности:

$$V_1 = (0; 0; 1/6), \mu_{V_1}(x) = \begin{cases} 1-6 \times x, & 0 \leq x \leq 1/6, \\ 0, & 1/6 \leq x \leq 1,0; \end{cases}$$

$$V_n = ((n-2)/6; (n-1)/6; n/6),$$

$$\mu_{V_n}(x) = \begin{cases} 0 & 0 \leq x \leq (n-2)/6, \\ 6 \times x - (n-2), & (n-2)/6 \leq x \leq (n-1)/6, \\ n - 6 \times x, & (n-1)/6 \leq x \leq n/6, \\ 0, & n/6 \leq x \leq 1,0; \end{cases}$$

$$n = 2,3,4,5,6;$$

$$V_7 = (5/6; 1,0; 1,0), \mu_{V_7}(x) = \begin{cases} 0, & 0 \leq x \leq 5/6, \\ 6 \times x - 5, & 5/6 \leq x \leq 1,0. \end{cases} \text{ (рис. 6)}$$

Для каждой лингвистической переменной рассчитывается её центроид:  $VG(1)=0,0556$ ;  $VG(2)=0,1667$ ;  $VG(3)=0,3333$ ;  $VG(4)=0,5$ ;  $VG(5)=0,6667$ ;  $VG(6)=0,8333$ ;  $VG(7)=0,9444$  (см. рис. 6).

3. Для факторов риска рассчитываются нечёткие матрицы и оценки риска факторов:

$$M(x_1) = (0 \ 0,17 \ 0,83 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0),$$

$$M(x_2) = \begin{pmatrix} 0 & 0,53 & 0,47 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,89 & 0,11 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0,25 & 0,75 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0,61 & 0,39 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

(см. рис. 3,6, табл. 1–3,7),

$$M(x_3) = \begin{pmatrix} 0 & 0,17 & 0,83 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,53 & 0,47 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix},$$

$$M(x_4) = \begin{pmatrix} 0 & 0,89 & 0,11 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,17 & 0,83 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,17 & 0,83 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,53 & 0,47 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix},$$

$$M(x_5) = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0,81 & 0,19 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,81 & 0,19 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix},$$

$$M(x_6) = (0 \ 0,17 \ 0,83 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0).$$

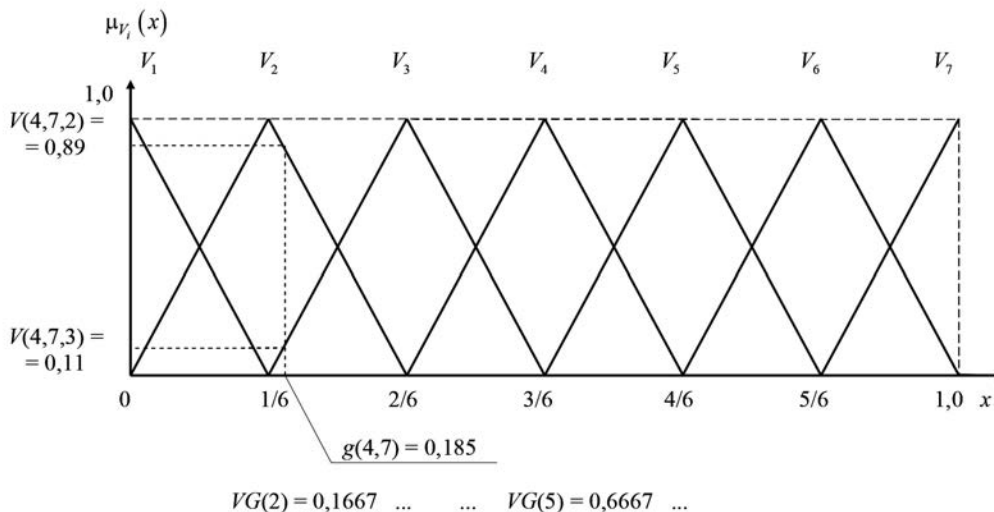


Рис. 6. Функции принадлежности  $V_i$

$$R1(2) = (0,4 \ 0,4 \ 0,1 \ 0,1) \times \begin{pmatrix} 0 & 0,53 & 0,47 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,89 & 0,11 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0,25 & 0,75 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0,61 & 0,39 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} =$$

$$= (0,086 \ 0,682 \ 0,232 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0);$$

$$R1(1) = (0 \ 0,17 \ 0,83 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0);$$

$$R1(3) = (0 \ 0,35 \ 0,65 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0);$$

$$R1(4) = (0 \ 0,494 \ 0,506 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0);$$

$$R1(5) = (0 \ 0 \ 0,81 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0);$$

$$R1(6) = (0 \ 0,17 \ 0,83 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0).$$

$$4. R^* = (0,3 \ 0,3 \ 0,1 \ 0,1 \ 0,1 \ 0,1) \times$$

$$\begin{pmatrix} 0 & 0,17 & 0,83 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0,086 & 0,682 & 0,232 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,35 & 0,65 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,494 & 0,506 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,81 & 0,19 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,17 & 0,83 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} =$$

$$= (0,0256 \ 0,357 \ 0,5982 \ 0,019 \ 0 \ 0 \ 0).$$

$$5. \bar{R} = (0,0258 \times 0,0556 + 0,357 \times 0,1667 +$$

$$+ 0,5982 \times 0,3333 + 0,019 \times 0,5 +$$

$$+ 0 \times 0,6667 + 0 \times 0,8333 + 0 \times 0,9444) = 0,2698.$$

**Пример 2.** Предположим, что имеем исходные данные по риску (см. табл. 7). Базируясь на табл. 8 и выражении (2), табл. 7 преобразована в табл. 9.

Из табл. 9 видно, что

$$W1(1,1) = 1,$$

$$W1(2,1) = 0,4, W1(2,2) = 0,4, W1(2,3) = 0,1, W1(2,4) = 0,1,$$

Таблица 8

Расширенные данные по нечетким переменным степеней риска и степеней важности

Ранги и лингвистические переменные степени риска и степени важности	$N_i$
0 – 0 процентов	(0; 0; 0)
1 – определённо низкая	(0; 0; 0,1)
2 – чрезвычайно низкая	(0; 0,1; 0,2)
3 – очень низкая	(0,1; 0,2; 0,3)
4 – низкая	(0,2; 0,3; 0,4)
5 – немного низкая	(0,3; 0,4; 0,5)
6 – средняя	(0,4; 0,5; 0,6)
7 – немного высокая	(0,5; 0,6; 0,7)
8 – высокая	(0,6; 0,7; 0,8)
9 – очень высокая	(0,7; 0,8; 0,9)
10 – чрезвычайно высокая	(0,8; 0,9; 1)
11 – определённо высокая	(0,9; 1; 1)
12 – 100 процентов	(1; 1; 1)

$$W1(3,1) = 0,5, W1(3,2) = 0,5,$$

$$W1(4,1) = 0,3, W1(4,2) = 0,1, W1(4,3) = 0,3, W1(4,4) = 0,3,$$

$$W1(5,1) = 0,5, W1(5,2) = 0,5,$$

$$W1(6,1) = 1,$$

$$W2(1) = 0,3, W2(2) = 0,3, W2(3) = 0,1,$$

$$W2(4) = 0,1, W2(5) = 0,1, W2(6) = 0,1,$$

$$R(r_{11}, i_{11}) = 0,3, R(r_{21}, i_{21}) = 0,24,$$

$$R(r_{22}, i_{22}) = 0,18, R(r_{23}, i_{23}) = 0,12, \dots,$$

$$R(r_{61}, i_{61}) = 0,3.$$

На основе этого имеем:

$$P(1) = 1 \times 0,3 = 0,3,$$

Таблица 9

Модифицированные исходные данные структурной иерархической модели риска

$x_i$	$x_1$	$x_2$				$x_3$		$x_4$				$x_5$		$x_6$
W2	0,3	0,3				0,1		0,1				0,1		0,1
$x_{ik}$	$x_{11}$	$x_{21}$	$x_{22}$	$x_{23}$	$x_{24}$	$x_{31}$	$x_{32}$	$x_{41}$	$x_{42}$	$x_{43}$	$x_{44}$	$x_{51}$	$x_{52}$	$x_{61}$
W1	1	0,4	0,4	0,1	0,1	0,5	0,5	0,3	0,1	0,3	0,3	0,5	0,5	1
$D(r)$	0,5	0,4	0,3	0,2	0,075	0,5	0,4	0,3	0,5	0,5	0,4	0,6	0,5	0,5
$D(i)$	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
$R(r; i)$	0,3	0,24	0,18	0,12	0,045	0,3	0,24	0,18	0,3	0,3	0,24	0,36	0,3	0,3



$$P(2) = 0,4 \times 0,24 + 0,4 \times 0,18 + 0,1 \times 0,12 + 0,1 \times 0,045 = 0,096 + 0,072 + 0,012 + 0,0045 = 0,1845,$$

$$P(3) = 0,5 \times 0,3 + 0,5 \times 0,24 = 0,15 + 0,12 = 0,27,$$

$$P(4) = 0,3 \times 0,18 + 0,1 \times 0,3 + 0,3 \times 0,3 + 0,3 \times 0,24 = 0,054 + 0,03 + 0,09 + 0,072 = 0,246,$$

$$P(5) = 0,5 \times 0,36 + 0,5 \times 0,3 = 0,33,$$

$$P(6) = 1,0 \times 0,3 = 0,3.$$

Конечная оценка риска

$$\begin{aligned} \text{РИК} &= 0,3 \times 0,3 + 0,3 \times 0,1845 + 0,1 \times 0,27 + \\ &+ 0,1 \times 0,246 + 0,1 \times 0,33 + 0,1 \times 0,3 = \\ &= 0,09 + 0,05535 + 0,027 + 0,0246 + \\ &+ 0,033 + 0,03 = 0,25995. \end{aligned}$$

Результат 0,25995 является близким к результату, полученному в предыдущем примере ( $\bar{R} = 0,26983$ ).

**Пример 3.** Получить оценку вероятности неблагоприятного исхода при создании перспективного образца ТС к  $t_n = 2025$  г. на основе алгоритма оценки риска с учетом новых принципов, корне отличных от часто применяемых. Экспертом установлено, что наиболее вероятное состояние соответствует нечеткому суждению о том, что риск средне малый (см. табл. 5). Тогда вероятности состояний  $P_j, j=1, \dots, 9$ , полученные путем ранжирования условий создания на предмет их проявления к 2025 г.:

$$P_4 = 0,2, P_3 = 0,178, P_2 = 0,156,$$

$$P_1 = 0,134, P_5 = 0,112, P_6 = 0,088,$$

$$P_7 = 0,066, P_8 = 0,044, P_9 = 0,022.$$

Условно можно выбрать три последних состояния, где риск по созданию ТС максимален ( $n=3$ ). Тогда, проводя расчеты по зависимостям (4)-(6) при условии, что,  $r_1=0,49, r_2=0,85, r_3=1$ , получаем:

$$l_1 = 0,49, l_2 = 0,36, l_3 = 0,15;$$

$$P(R_{r_1}) = 0,332, P(R_{r_2}) = 0,132, P(R_{r_3}) = 0,022;$$

$$P(A) = 0,2135.$$

Таким образом, видно, что полученная оценка вероятности неблагоприятного исхода создания ТС  $P(A)=0,2135$  является уточненной и получена, руководствуясь дополнительными соображениями. Поэтому она отличается от степени риска создания ТС, соответствующей первоначальному суждению эксперта о том, что риск средне малый (см. табл. 5).

Аналогичным образом можно рассчитывать  $P(A)$ , используя не  $\mu_j$ , а нечеткие трапециевидные числа  $[B, C, b, c]$ , которые могут быть при определенных уровнях  $f_{a_j}(A)$  трансформированы в интервальные нечеткие числа (см. табл. 6).

Этот подход может быть применен, когда эксперт не уверен в своих суждениях, степень неуверенности отражается уровнем  $f_{a_j}(A)$ . Эта неуверенность может быть вызвана отсутствием достаточной информации об объекте прогнозирования, недостаточной профессиональной подготовкой и т.д. Ориентируясь на предыдущий пример, рассмотрим расчет вероятности неблагоприятного исхода по созданию перспективного образца ТС к  $t_n = 2025$  г. с использованием трапециевидных нечетких чисел при  $f_{a_j}(A) = 0,5$ . Вероятности состояний остались без изменения, и нечеткое суждение эксперта о том, что риск средне малый, тоже не изменилось. Этому суждению соответствует интервальное нечеткое число  $[B^{0,5}; C^{0,5}] = [0,195; 0,39]$  (см. табл. 6).

При  $n=3$  и  $r_1 = [0,365; 0,615], r_2 = [0,75; 0,945], r_3 = [1; 1]$  рассчитываем

$$l_i = r_i - r_{i-1} = [(B_i - B_{i-1}), (C_i - C_{i-1})], r = [0,0],$$

$$l_1 = [0,365; 0,615], l_2 = [0,385; 0,33], l_3 = [0,25; 0,055].$$

В соответствии с выражением (7) получаем:

$$P_1(t_n) = 0,332; P_2(t_n) = 0,132, P_3(t_n) = 0,022,$$

$$\begin{aligned} P_{t_n}(A) &= \left[ \sum_i^n P_i(t_n) \cdot (B_i - B_{i-1}); \sum_i^n P_i(t_n) \cdot (C_i - C_{i-1}) \right] = \\ &= [0,1775; 0,24895]. \end{aligned}$$

Вероятность неблагоприятного исхода создания ТС к  $t_n = 2025$  г. находится в интервале  $[0,1775; 0,24895]$ , что учитывает возникшую неопределенность в самом начале оценки, отраженную уровнем 0,5.

Примеры № 1 и № 2 оценки риска создания ТС по варианту структурной модели риска (см. рис. 3). В первом примере проводилась оценка с использованием центроидного метода, во втором — использовалась процедура снятия нечеткости. Основным достоинством подхода во втором случае является то, что не требуется формировать нечеткие матрицы и оценки риска факторов, чтобы оценить перво-степенные составные векторы оценки. Кроме того, нет необходимости выполнять сложные операции по снятию нечеткости в расчетах, использующих центроидный метод.

### Заключение

В статье на основе характеристики работ по оценке риска сформирована основная цель исследования, учиты-

вая особенности ранних этапов разработки образцов ТС, предложены модели оценки риска создания ТС, приведены расчетные иллюстрационные примеры с пояснениями и интерпретациями.

Модель оценки риска ТС на часто применяемых принципах действия обладает следующим достоинством. Исходя из заданной оценки риска  $\bar{R}$  можно подобрать веса или степени риска факторов  $x_k$ . Это позволяет сбалансировано распределить усилия при разработке образца ТС. Кроме того, ими можно пользоваться при оценке его вариантов, полученных в результате прогнозных исследований.

Модель оценки риска создания образца ТС, функционирующего на новых принципах, так же обладает достоинствами: степень достоверности информации об его развитии соответствует сущности нечеткой модели оценки риска; имеется возможность учитывать уровень профессиональной подготовки экспертов; наличие определенной гибкости модели в связи с возможностью использования интервальных нечетких чисел.

Полученные результаты исследований в виде двух моделей оценки риска позволяют обеспечить качественное прогнозирование облика возможных вариантов образцов ТС на этапах их разработки и тем самым повысить эффективность образцов технических систем в эксплуатации.

### Литература

1. Бочков А. П., Гасюк Д. П., Флюстин А. Е. Модели и методы управления развитием технических систем. СПб.: Союз, 2003. 273 с.
2. Рудниченко Н. Д., Вычужанин В. В. Нечетко-вероятностная модель оценок рисков сложных технических систем // Информатика та математичні методи в моделюванні. 2014. Т. 4. № 3. С. 225–232.
3. Колоденкова А. Е., Коробкин В. В., Кухаренко А. П. Моделирование процессов создания и оценки реализуемости информационно-управляющих систем мехатронных комплексов // Известия ЮФУ. Технические науки. 2015. № 10(171). С. 117–128. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-protsesov-sozdaniya-i-otsenki-realizuemosti-informatsionno-upravlyayuschih-sistem-mehatronnyh-kompleksov> (дата обращения 06.04.2020).
4. Флюстин А. Е., Жильцов К. В., Захаров С. В., Бочков А. П. Модели и методы процесса модернизации ракетных комплексов. СПб.: МВАА, 1999. 136 с.
5. Барановский А. М., Хомоненко А. Д. Математическое оценивание рисков транспортной безопасности. // Проблемы математической и естественно-научной подготовки в инженерном образовании: сб. трудов IV Междунар. науч.-методической конф. (Санкт-Петербург, 3 ноября 2016) Санкт-Петербург: Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, 2017. С. 3–9.
6. Барановский А. М., Хомоненко А. Д. Оценивание информационных рисков транспортной безопасности // Профессиональное образование, наука и инновации в XXI веке: сб. трудов X Санкт-Петербургского конгресса (Санкт-Петербург, 21–25 ноября 2016 г.) Санкт-Петербург: Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, 2016. С. 33–38.
7. Азаров В. Н., Кабанов А. С. Риски и угрозы в процессах транспортной безопасности // Качество. Инновации. Образование. 2017. № 8. С. 57–69.
8. Lee H.-M.. Applying fuzzy set theory to evaluate the rate of aggregative risk in software development // Fuzzy sets and systems. 1996. Vol. 79. No.3. Pp. 323–336.
9. Chen S.-M. Evaluating the rate of aggregative risk in software development using fuzzy set theory // Cybernetics and System. 1999. Vol. 30. Pp. 57–75.
10. Kamal J., Poisson J. Cyber Risk Assessment in Distributed Information Systems // The Cyber Defense Review. 2016. Vol. 1. No. 1. Pp. 91–112.
11. Киселева И. А., Искаджян С. О. Информационные риски: методы оценки и анализа // ИТпортал. 2017. № 2 (14). URL: <http://itportal.ru/science/economy/informatsionnye-riski-metody-otsenk/> (дата обращения 07.04.2020)
12. Ильченко Л. М., Брагина Е. К., Егоров И. Э., Зайцев С. И. Расчет рисков информационной безопасности телекоммуникационного предприятия // Открытое образование. 2018. № 22(2). С. 61–70. URL: <https://doi.org/10.21686/1818-4243-2018-2-61-70> (дата обращения 07.04.2020).
13. Мак Т. Математика рискового страхования: пер. с нем. М.: Олимп-Бизнес, 2005. 411 с.
14. Бауэрс Н., Гербер Х., Джонс Д., Несбитт С., Хикман Дж. Актуарная математика / пер. с англ.; под ред. В. К. Малиновского. М.: Янус-К, 2001. 656 с.
15. Толкунова Ю. Н. Оценка проекта создания сложной технической системы // Системи обробки інформації. 2014. Вып. 6 (122). С. 187–189.
16. Борисов А. Н., Алексеев А. В., Меркурьева Г. В., Слядзь Н. Н., Глушков В. И. Обработка нечеткой информации в системах принятия решения. М.: Радио и связь, 1989. 304 с.
17. Орловский С. А. Проблемы принятия решений при нечеткой исходной информации. М.: Наука, 1981. 206 с.
18. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств: пер. с фр. М.: Радио и связь, 1982. 432 с.
19. Ермаков Б. С. Теория нечетких множеств в принятии решений // Системный анализ и логистика. 2014. № 11. С. 49–53.
20. Zaden L. A. Probability Measures of Fuzzy Events // J. Math. Anal. Appl. 1968. No. 23. Pp. 421–427.
21. Chen S.-M. A new approach to inexact reasoning for rule-based systems // Cybernetics and systems. 1992. No. 23. Pp. 561–582.
22. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений: пер. с англ. М.: Мир, 1976. 167 с.
23. Дюбуа Д., Прад А. Теория возможностей. Приложения к представлению знаний в информатике: пер. с фр. М.: Радио и связь, 1990. 288 с.
24. Liu J., Martínez L., Wang H., Rodríguez R. M., Novozhilov V. Computing with Words in Risk Assessment // International Journal of Computational Intelligence Systems. 2010. Vol.3. Issue 4. Pp. 396–419. DOI:10.2991/ijcis.2010.3.4.2



25. Zadeh L.A., Fuzzy logic = computing with words // IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 1996. No. 4(2). Pp. 103–111.
26. Venkata Subba Reddy P. Fuzzy logic based on Belief and Disbelief membership functions // Fuzzy Information and Engineering. 2017. Vol.9. Issue 4. Pp. 405–422.
27. Atalay K.D., Can G.F., Eraslan E. Evaluation of effect of different membership functions on risk assessment // International Journal of Occupational Safety and Ergonomics. 2018. Vol. 24. Issue 3. Pp. 373–385.
28. Tian Y., Zhang H. Research and Application of Risk Assessment for Power Equipment Based on Fault Feature Membership Function // Gaoya Dianqi/High Voltage Apparatus. 2017. Vol. 53. Issue 5. Pp. 146–153.
29. Yazdani-Chamzini A. Proposing a new methodology based on fuzzy logic for tunnelling risk assessment // Journal of Civil Engineering and Management. 2013. Vol.20. Issue 1. Pp. 82–94.
30. Suresh K., Dillibabu R. A novel fuzzy mechanism for risk assessment in software projects // Soft Computing. 2020. Vol. 24. Pp. 1683–1705.
31. Bilal M., Gani A., Liaqat M., Bashir N., Malik N. Risk assessment across life cycle phases for small and medium software projects // Journal of Engineering Science and Technology. 2020. Vol.15. Issue 1. Pp. 572–588.
32. Kim K., Kim J., Ko E., Yi J. H. Risk Assessment Scheme for Mobile Applications Based on Tree Boosting // IEEE Journal. 2020. Vol. 8. Pp.48503–48514. doi:10.1109/ACCESS.2020.2979477
33. Shakibzad M.R., Jaba A. New method for assets sensitivity calculation and technical risks assessment in the information systems // IET Information Security. 2020. Vol.14. Issue 1. Pp.133–145.
34. Вилков В.Б., Черных А.К., Дергачёв А.И. Об одном подходе к созданию информационно-безопасных систем связи // Интеллектуальные технологии на транспорте. 2019. № 2(18). С. 15–20.
35. Jamshed M.A., Héliot F., Brown T.W. C. A Survey on Electromagnetic Risk Assessment and Evaluation Mechanism for Future Wireless Communication Systems // IEEE Journal of Electromagnetics, RF and Microwaves in Medicine and Biology. 2020. Vol.4. Issue. 1. Pp. 24–36. doi: 10.1109/JERM.2019.2917766.
36. Бочков А.П. Оценка реализуемости и полезности нового принципа действия для инновационного образца технической системы // Общество. Наука. Инновации: сб. статей XVIII Всероссийской научно-практической конференции (Киров, 2–28 апреля 2018). Киров: Вятский государственный университет, 2018. С. 116–129.
37. Бочков А.П. Прогнозирование в эконометрических исследованиях // Труды Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. 2002. № 485. С. 17–24.
38. Бочков А.П., Барановский А.М., Гильванов Р.Г. Оценка согласованности и совместимости технических систем в составе сложных организационно-технических систем // Системы управления, связи и безопасности. 2020. № 1. С. 284–301. DOI: 10.24411/2410–9916–2020–10109.

## RISK ASSESSMENT OF CREATING TECHNICAL SYSTEM SAMPLES IN FUZZY TERMS

**ALEKSANDR P. BOCHKOV**

St-Petersburg, Russia, kostpea@mail.ru

**ANATOLY D. KHOMONENKO**

St-Petersburg, Russia, khomonenko@pgups.ru

**ANATOLY M. BARANOVSKY**

St-Petersburg, Russia, bamvka@mail.ru

### ABSTRACT

We propose an approach to calculating risk assessments in two situations: when developing and modernizing technical system samples, and when working out alternative promising technical system samples based on existing, often used, operating principles and operating principles that are fundamentally different from existing principles. The purpose of the work is to improve the quality of research processes and substantiate the development of technical systems based on existing principles of action and on principles of action

**KEYWORDS:** sample of a technical system, model, risk assessment, membership function, interval fuzzy number, development and modernization of a technical system.

that are fundamentally different from existing principles, achieved by performing calculations to assess the risk level of the considered variants of the technical system in fuzzy terms that meet the information conditions of the early stages of development. The mathematical models of risk assessment create a sample of technical systems based on existing principles and the principles of action fundamentally different from the existing principles. In the first case, the factors that hinder the acceptance of the sample into operation and their

characteristics are formed. Factors due to their uncertainty are evaluated using fuzzy terms (linguistic variables), and risk assessment is based on them. A distinctive feature of the model is the specification of risk factors and their characteristics in accordance with the features of the development of technical systems, specifying the order of evaluation by stages in the form of an algorithm. When forming a risk assessment of a sample of a technical system, in the second case, a distinctive feature is highlighted - the actual absence of characteristics of risk factors and a significant degree of uncertainty in determining the factors themselves. This predetermined the use of interval and trapezoidal fuzzy numbers, on the basis of which the procedure for obtaining the probability of an unfavorable outcome for creating the considered version of the appearance of a sample of a technical system on the principles of action radically different from the existing principles is proposed. The results of numerical calculations of the risk level on specific examples with the corresponding comparative interpretation of the calculation data are presented. The main result is an assessment of the risk of creating technical systems based on existing operating principles and operating principles that are fundamentally different from existing principles that meet the information conditions of the early stages of creating, developing and upgrading systems.

## REFERENCES

1. Bochkov A.P., Gasyuk D.P., Filyustin A.E. *Modeli i metody upravleniya razvitiem tekhnicheskikh system* [Models and methods for managing the development of technical systems]. St. Petersburg: Soyuz, 2003. 288 p. (In Rus)
2. Rudnichenko N.D., Vychuzhanin V.V. Fuzzy-probability model for assessing the risks in complex technical systems. *Informatics and Mathematical Methods in Simulation*. 2014. Vol. 4. No. 3. Pp. 225-232. (In Rus)
3. Kolodenkova A.E., Korobkin V.V., Kuharenko A.P. Modeling of processes for creating and evaluating the feasibility of information and control systems of mechatronic complexes. *Izvestiya SFedU. Engineering Sciences*. 2015. No. 10(171). Pp. 117-128. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-protsessov-sozdaniya-i-otsenki-realizuemosti-informatsionno-upravlyayuschih-sistem-mehatronnyh-kompleksov> (date of access 06.04.2020). (In Rus)
4. Filyustin A.E., ZHil'cov K.V., Zaharov S.V., Bochkov A.P. *Modeli i metody processa modernizacii raketnyh kompleksov* [Models and methods of the missile system modernization process]. St. Petersburg: MBAA, 1999. 136 p. (In Rus)
5. Baranovskij A.M., Homonenko A.D. Matematicheskoe ocenivanie riskov transportnoj bezopasnosti [The mathematical evaluation of risks for transportation safety] *Problemy matematicheskoy i estestvenno-nauchnoj podgotovki v inzhenernom obrazovanii: sbornik trudov IV Mezhdunarodnoj nauchno-metodicheskoy konf.* [Problems of mathematical and natural science training in engineering education: proceedings of the IV International scientific and methodological conference, St. Petersburg, November 3, 2016] Saint-Petersburg: Peterburgskij gosudarstvennyj universitet putej soobshcheniya imperatora Aleksandra I Publ., 2017. Pp. 3-9. (In Rus)
6. Baranovskij A.M., Homonenko A.D. Ocenivanie informacionnyh riskov transportnoj bezopasnosti [Assessment of transport security information risks]. *Professional'noe obrazovanie, nauka i innovacii v XXI veke: sbornik trudov X Sankt-Peterburgskogo kongressa* [Professional education, science and innovation in the XXI century: proceedings of the X St. Petersburg Congress, St. Petersburg, November 21-25, 2016] Saint-Petersburg: Peterburgskij gosudarstvennyj universitet putej soobshcheniya imperatora Aleksandra I Publ., 2016. Pp. 33-38. (In Rus)
7. Azarov V.N., Kabanov A.S. Riski i ugrozy v processah transportnoj bezopasnosti [Risks and threats in transport security processes]. *Kachestvo. Innovacii. Obrazovanie* [Quality. Innovations. Education]. 2017. No. 8. Pp. 57-69. (In Rus)
8. Lee H.-M. Applying fuzzy set theory to evaluate the rate of aggregative risk in software development. *Fuzzy sets and systems*. 1996. Vol. 79. No. 3. Pp. 323-336.
9. Chen S.-M. Evaluating the rate of aggregative risk in software development using fuzzy set theory. *Cybernetics and System*. 1999. Vol.30. Pp. 57-75.
10. Kamal J., Poisson J. Cyber Risk Assessment in Distributed Information Systems. *The Cyber Defense Review*. 2016. Vol. 1. No. 1. Pp. 91-112.
11. Kiseleva I.A., Iskadhian S.O. Information risks: methods of assessment and analysis. *ITportal*. 2017. Vol. 14. No. 2. URL: <http://itportal.ru/science/economy/informatsionnye-riski-metody-otsenk/> (date of access 07.04.2020). (In Rus)
12. Il'chenko L.M., Bragina E.K., Egorov I.E., Zaysev S.I. Calculation of risks of information security of telecommunication enterprise. *Open Education*. 2018. No. 22(2). Pp. 61-70. URL: <https://doi.org/10.21686/1818-4243-2018-2-61-70> (date of access 07.04.2020). (In Rus)
13. Mack Th. *Schadenversicherungsmathematik*. Karlsruhe: WW, Munchener Ruck, 1997. 406 s.
14. Bowers N., Gerber H., Hickman J., Jones D., Nesbitt C. *Actuarial mathematics*. 2nd Edition. Schaumburg, Illinois, USA: The Society of Actuaries, 1997. 753 p.
15. Tolkunova Yu.N. Evaluation of the project for creating a complex technical system. *Information Processing Systems*. 2014. Vol. 6(122). Pp. 187-189. (In Rus)
16. Borisov A.N., Alekseev A.V., Merkur'eva G.V., Sliadz N N, Glushkov V.I. *Obrabotka nechetkoj informacii v sistemah prinyatiya resheniya* [Processing fuzzy information in decision-making systems]. Moscow: Radio i svyaz', 1989. 304p. (In Rus)
17. Orlovskij S.A. *Problemy prinyatiya reshenij pri nechyotkoj iskhodnoj informacii* [Decision-making problems with fuzzy source information]. Moscow: Nauka, 1981. 206 p. (In Rus)
18. Kaufmann A. *Introduction a la theorie des sous-ensembles flous*. Paris etc.: Masson, 1977.
19. Ermakov B.S. Fuzzy set theory in decision making. *System analysis and logistics*. 2014. No. 11. Pp. 49-53. (In Rus)
20. Zaden L.A. Probability Measures of Fuzzy Events. *J. Math. Anal. Appl.* 1968. No. 23. Pp. 421-427.
21. Chen S.-M. A new approach to inexact reasoning for rule-based



systems. *Cybernetics and systems*. 1992. No.23. Pp. 561-582.

22. Zadeh L.A. The Concept of a Linguistic Variable and its Application to Approximate Reasoning. *Information Sciences*. 1975. Pt. 1 and 2. Vol.8. Pp.199-249; 301-357.

23. Dubois D., Prad H. *Théorie des possibilités. Applications à la présentation des connaissances en informatique*. Paris. Milan. Barcelone. Mexico: Masson, 1988. IX, 292 p.

24. Liu J., Martínez L., Wang H., Rodríguez R.M., Novozhilov V. Computing with Words in Risk Assessment. *International Journal of Computational Intelligence Systems*. 2010. Vol. 3. Issue 4. Pp. 396-419. DOI:10.2991/ijcis.2010.3.4.2

25. Zadeh L.A., Fuzzy logic = computing with words. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*. 1996. No. 4(2). Pp. 103-111.

26. Venkata Subba Reddy P. Fuzzy logic based on Belief and Disbelief membership functions. *Fuzzy Information and Engineering*. 2017. Vol.9. Issue 4. Pp. 405-422.

27. Atalay K.D., Can G.F., Eraslan E. Evaluation of effect of different membership functions on risk assessment. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*. 2018. Vol. 24. Issue 3. Pp. 373-385.

28. Tian Y., Zhang H. Research and Application of Risk Assessment for Power Equipment Based on Fault Feature Membership Function. *Gaoya Dianqi/High Voltage Apparatus*. 2017. Vol. 53. Issue 5. Pp. 146-153.

29. Yazdani-Chamzini A. Proposing a new methodology based on fuzzy logic for tunnelling risk assessment. *Journal of Civil Engineering and Management*. 2013. Vol.20. Issue 1. Pp. 82-94.

30. Suresh K., Dillibabu R. A novel fuzzy mechanism for risk assessment in software projects. *Soft Computing*. 2020. Vol. 24. Pp. 1683-1705.

31. Bilal M., Gani A., Liaqat M., Bashir N., Malik N. Risk assessment across life cycle phases for small and medium software projects. *Journal of Engineering Science and Technology*. 2020. Vol.15. Issue 1. Pp. 572-588.

32. Kim K., Kim J., Ko E., Yi J.H. Risk Assessment Scheme for Mobile Applications Based on Tree Boosting. *IEEE Journal*. 2020. Vol. 8. Pp.48503-48514. doi:10.1109/ACCESS.2020.2979477

33. Shakibazad M.R., Jaba A. New method for assets sensitivity calculation and technical risks assessment in the information systems. *IET*

*Information Security*. 2020. Vol.14. Issue 1. Pp.133-145.

34. Vilkov V.B., Chernykh A.K., Dergachev A.I. About One Approach to Creation of Information-Secure Communication Systems. *Intellectual Technologies on Transport*. 2019. No. 2(18). Pp. 15-20. (In Rus)

35. Jamshed M.A., Héliot F., Brown T.W. C. A Survey on Electromagnetic Risk Assessment and Evaluation Mechanism for Future Wireless Communication Systems. *IEEE Journal of Electromagnetics, RF and Microwaves in Medicine and Biology*. 2020. Vol.4. Issue. 1. Pp. 24-36. doi: 10.1109/JERM.2019.2917766.

36. Bochkov A.P. Ocenka realizuemosti i poleznosti novogo principa dejstviya dlya innovacionnogo obrazca tekhnicheskoy sistemy [Evaluation of the feasibility and usefulness of a new operating principle for an innovative model of a technical system]. *Obshchestvo. Nauka. Innovacii: sb. statej XVIII Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii* [The collection of papers of XVIII all-Russian scientific and practical conference "Society. The science. Innovations", Kirov, April 2-28, 2018]. Kirov: Vyatskij gosudarstvennyj universitet Publ., 2018. Pp. 116-129. (In Rus)

37. Bochkov A.P. Prognozirovanie v ekonometricheskikh issledovaniyah [Forecasting in econometric research]. *Trudy Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo politekhnicheskogo universiteta* [Proceedings of Saint Petersburg state Polytechnic University]. 2002. No. 485. Pp. 17-24. (In Russ)

38. Bochkov A.P., Baranovskii A.M., Gilvanov R.G. Assessment of consistency and compatibility of technical systems in complex organizational and technical systems. *Systems of Control, Communication and Security*. 2020. No. 1. Pp. 284-301. DOI: 10.24411/2410-9916-2020-10109 (In Russ)

#### INFORMATION ABOUT AUTHOR:

Bochkov A.P., PhD, Full Professor, Professor of Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University;

Khomonenko A.D., PhD, Professor, Head of the Department of Emperor Alexander I St. Petersburg state transport university;

Baranovsky A. M., PhD, Docent, associate professor of Emperor Alexander I St. Petersburg state transport university.

---

**For citation:** Bochkov A. P., Khomonenko A.D., Baranovsky A.M. Risk assessment of creating technical system samples in fuzzy terms. *H&ES Research*. 2020. Vol. 12. No. 2. Pp. 54-71. doi: 10.36724/2409-5419-2020-12-2-54-71 (In Rus)



doi: 10.36724/2409-5419-2020-12-2-72-78

## ПОКАЗАТЕЛИ НАДЕЖНОСТИ ОПЕРАТОРОВ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

**ВАЙНТРАУБ**

**Анатолий Изидорович<sup>1</sup>**

**ОСТАПЧЕНКО**

**Юрий Борисович<sup>2</sup>**

**ШАПОВАЛОВ**

**Евгений Николаевич<sup>3</sup>**

### АННОТАЦИЯ

Рассмотрены основные особенности деятельности операторов автоматизированных систем управления военного назначения, охарактеризованы подходы к оцениванию качества работы операторов автоматизированных систем управления. Отмечена существенная роль надежности человека-оператора в выполнении заданных функций объекта управления. Под надежностью человека-оператора понимается совокупность его психофизиологических свойств, которые обеспечивают выполнение заданных функций регулируемым им объектом управления в различных условиях. Предложены три группы показателей надежности операторов, характеризующие различные аспекты их деятельности, – показатели качества работы оператора; показатели выходных параметров управляющих воздействий, которые выбрал и осуществил оператор; показатели состояния (психофизиологической напряженности) оператора. В качестве показателей качества работы оператора предложены терминальные показатели, позволяющие оценить соответствие заданных параметров объекта управления в контрольных точках, и интервальные показатели, связанные с оценкой отклонения контролируемых параметров. В зависимости от характера контролируемого параметра эти показатели могут использоваться для оценки безопасности функционирования объекта. В качестве показателя выходных параметров управляющих воздействий оператора рассмотрен коэффициент непродуктивных действий. Психофизиологическую напряженность оператора предложено описывать такими вегетативными показателями, как частота сердечных сокращений и частота дыхания. Приведены формулы расчета показателей. Даны рекомендации по их расчету и практическому использованию. В качестве интегральных показателей функциональной надежности операторов предложены агрегированный показатель качества деятельности оператора и коэффициент эмоциональной напряженности. Для оценивания этих показателей можно использовать четырехбалльную шкалу. Сделан вывод о возможности использования предложенных показателей при создании тренажерно-моделирующих комплексов для выработки единых взглядов и подходов к организации объективного контроля уровня подготовки операторов.

### Сведения об авторах:

<sup>1</sup>к.в.н., доцент, заместитель главного конструктора акционерного общества «Научно-инженерный центр электротехнического университета», г. Санкт-Петербург, Россия, wai@nicetu.spb.ru

<sup>2</sup>к.т.н., заместитель генерального директора акционерного общества «Научно-инженерный центр электротехнического университета», г. Санкт-Петербург, Россия, ou@nicetu.spb.ru

<sup>3</sup>к.т.н., доцент, начальник отдела акционерного общества «Научно-исследовательский институт программных средств», г. Санкт-Петербург, Россия, eshapovalov@nii-ps.ru

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** объект управления; надежность оператора; показатели качества работы оператора; психофизиологическое состояние оператора; показатели состояния оператора.

**Для цитирования:** Вайнтрауб А.И., Остапченко Ю.Б., Шаповалов Е.Н. Показатели надежности операторов автоматизированных систем управления // Научно-исследовательский журнал. 2020. Т. 12. № 2. С. 72-78. doi: 10.36724/2409-5419-2020-12-2-72-78



## Введение

Автоматизированные системы управления (АСУ) сложных технических комплексов, к которым относятся и комплексы вооружения и военной техники, относятся к эргатическим системам, то есть к системам, в которых предусмотрено функционирование человека-оператора. Качество эксплуатации АСУ зависит от характеристик качества технических средств, а также от профессиональных качеств эксплуатирующего персонала, в первую очередь профессиональной надежности [1]. Несмотря на тенденцию, связанную с сокращением функций человека-оператора в контуре управления, отказаться от творческих возможностей человека-оператора, его знаний, опыта, необходимости принятия решений в различных ситуациях при эксплуатации сложных технических комплексов пока не представляется возможным. Современные достижения науки и техники привели к тому, что надежность технической составляющей эргатических систем стала выше, чем надежность операторского звена.

## Надежность операторов и ее оценивание

Как известно [2, 3], под надежностью человека-оператора понимается совокупность его психофизиологических свойств, которые обеспечивают выполнение заданных функций регулируемым им объектом управления (ОУ) в диапазоне различных условий его функционирования.

К основным особенностям деятельности операторов АСУ военного назначения можно отнести [4]:

- относительно небольшой набор возможных управляющих воздействий оператора,
- высокую цену ошибки оператора,
- ограниченное время на анализ сложившейся ситуации и принятие решения.

При этом важно функциональную надежность оператора выразить количественно, обосновать показатели функциональной надежности. Известно, что единые взгляды и подходы к определению надежности оператора эргатических систем пока не установлены, поэтому методы расчета оценивания надежности представляют некоторые трудности и составляют одну из актуальнейших проблем теории эргатических систем управления.

В настоящее время номенклатура показателей, характеризующих функциональную надежность оператора в эргатических системах, строго не определена. Исходя из особенностей деятельности операторов, можно предложить три группы показателей:

- показатели качества работы оператора;
- показатели выходных параметров управляющих воздействий, которые выбрал и осуществил оператор;
- показатели состояния оператора.

Первая группа показателей отражает поведение ОУ как результат действий оператора. Эти показатели харак-

теризуют конечный результат деятельности оператора и его влияние на выполнение ОУ заданных функций.

Вторая группа показателей описывает рациональность (качество) действий, выполняемых оператором.

Третья группа показателей характеризует психофизиологическое состояние оператора.

Охарактеризуем показатели этих групп.

Показатели качества работы оператора можно разделить на две группы: терминальные и интервальные. Терминальные показатели позволяют оценить соответствие контролируемых параметров ОУ в заданных точках [5], т.е. они предполагают дискретный контроль. Примером такого показателя является коэффициент  $R$  отклонения контролируемого параметра от требуемого значения, усредненный по всем  $m$  точкам контроля. Этот показатель оценивается следующим выражением:

$$R = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \frac{|x_{sj} - x_{Tj}|}{\Delta x_j},$$

где  $x_{sj}$  — эталонное значение контролируемого параметра ОУ в  $j$ -й точке,  $j = 1(1)m$ ;

$x_{Tj}$  — текущее значение контролируемого параметра в  $j$ -й точке, определяемое действиями оператора;

$\Delta x_j$  — нормативное (допустимое) отклонение контролируемого параметра в  $j$ -й точке от эталонного (определяется условиями обеспечения требуемого качества функционирования ОУ).

Этот показатель изменяется от 0 до 1 и характеризует степень приближения текущего отклонения к установленному (максимально допустимому). При  $R = 0$  текущее значение контролируемого параметра соответствует эталонному, при  $R = 1$  — максимально (минимально) допустимому.

Интервальные показатели предназначены для непрерывной оценки качества работы оператора. К ним относятся не только текущие значения параметра  $x_1(t)$ , их заданные значения  $x_0(t)$ , но и отклонения  $x_1(t)$  от  $x_0(t)$  как функции времени. Интегральным показателем, характеризующим работу оператора на всем интервале его деятельности, является среднее отклонение контролируемого параметра  $\Delta x_{cp}$  от заданного значения:

$$\Delta x_{cp} = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} |\Delta x(t)| dt,$$

где  $\Delta x(t) = x_1(t) - x_0(t)$ ;

$t_2 - t_1$  — длительность интервала работы оператора.

В зависимости от режима функционирования ОУ длительность интервала должна исключать необратимое отклонение контролируемого оператором параметра.

Заданное значение  $x_0$  отличается от  $x_s$  на величину инструментальной погрешности измерений.

Деятельность специалистов-операторов обычно трудно формализуема, тем не менее, в ряде случаев можно выделить ряд типовых задач, свойственных большинству операторов конкретной системы [5–6].

Для контроля и оценки действий оператора на основе инструментальных измерений предлагается использовать не абсолютные значения измеренных параметров, а рассчитывать безразмерный коэффициент отклонения контролируемого параметра  $K_d$ , характеризующий степень приближения анализируемого оператором параметра  $x$  к его предельно допустимому (критическому) значению в ходе выполнения типовых действий по управлению процессом. Этот коэффициент принимает значения от 0 до 1 и рассчитывается по формуле:

$$K_d = 1 - \frac{\Delta x}{\Delta x_{\max}^d}, \quad (1)$$

где  $\Delta x$  — отклонение значения параметра  $x$ , обусловленное действиями оператора;

$\Delta x_{\max}^d$  — предельно допустимое отклонение параметра  $x$ .

Если отклонение параметра не зафиксировано ( $\Delta x = 0$ ), коэффициент  $K_d$  равен 1. При появлении отклонений  $K_d$  снижается, и если отклонение достигает максимально допустимого значения, то  $K_d = 0$ .

Поскольку работа оператора состоит из совокупности  $n$  типовых действий, агрегированным показателем качества работы оператора при осуществлении своих функций будет средний коэффициент  $K_{\Sigma}$  отклонения контролируемого параметра по всем типовым действиям оператора:

$$K_{\Sigma} = \frac{\sum_{i=1}^n K_{di}}{n}. \quad (2)$$

Таким образом, по значениям  $K_d$  и  $K_{\Sigma}$  можно будет судить о качестве выполненных оператором действий и выполнению задачи ОУ в целом.

На основании описанных типовых действий оператора можно разработать алгоритмы для разработки специального программного обеспечения тренажера, в интересах оценки качества обрабатываемых задач. Параметры, не требующие точностных характеристик, учитываются в двоичной системе «правильно выполненное действие — положительная составляющая общей оценки, неправильные — отрицательная».

Агрегированными показателями качества работы оператора являются терминальный  $K_T$  и интервальный  $K_H$  коэффициенты отклонения контролируемых параметров, отражающие точность и своевременность выполнения оператором поставленной задачи.

Они вычисляются по следующим соотношениям:

$$K_T = |x_T - x_0|,$$

$$K_H = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m |x_j - x_0|.$$

Эти коэффициенты не являются безразмерными, но они дают возможность оценивать абсолютные отклонения параметров и лучше представлять физическую сущность отклонений. В зависимости от характера контролируемого параметра эти коэффициенты могут характеризовать степень безопасности отклонения текущего значения параметра.

К показателям, описывающим рациональность действий, выполняемых оператором, предлагается отнести показатели нагруженности (по загрузке и по времени выполнения) и показатель нерациональных действий.

Коэффициент нагруженности оператора по загрузке ( $R_G$ -показатель) показывает, насколько реальные действия оператора отличаются от минимально необходимых (рациональных). Он определяется следующим соотношением:

$$R_G = \frac{G_0}{G_p} \cdot 100,$$

где  $G_0$  — минимально необходимое значение загрузки оператора, при котором операция выполняется без максимального отклонения контролируемого параметра от заданного;

$G_p$  — текущее значение загрузки оператора с учетом реальных отклонений параметра вследствие воздействия неучтенных факторов и необходимых действий по их компенсации.

Коэффициент нагруженности оператора по времени выполнения ( $R_t$ -показатель) показывает, насколько реальное время выполнения операции превосходит минимально необходимое. Он рассчитывается по формуле:

$$R_t = \frac{t_0}{t_p} \cdot 100,$$

где  $t_0$  — минимально необходимое время выполнения операции с требуемым качеством;

$t_p$  — реальное время выполнения операции.

В ряде случаев целесообразно использовать средний коэффициент нагруженности оператора ( $R_{Gt}$ -показатель), учитывающий как его загрузку, так и время выполнения операции:

$$R_{Gt} = \frac{R_G + R_t}{2}.$$

Показатель нерациональных действий, выполняемых оператором в ходе выполнения операций, характеризует нерациональные, т.е. непродуктивные, лишние, ошибочные



действия. Для его оценки необходимо заранее описать элементарные действия, совершаемые оператором в ходе работы, определить для каждой операции (управляющего воздействия) минимально необходимый набор элементарных действий. Затем, в ходе выполнения процесса, следует подсчитать реальное количество элементарных действий, выполненных оператором. Тогда показатель нерациональных действий  $K_{\text{нер}}$  оператора вычисляется следующим образом:

$$K_{\text{нер}} = \frac{Q(t) - U(t)}{Q(t)},$$

где  $U(t)$  — минимально возможное количество элементарных действий при осуществлении управляющего воздействия;

$Q(t)$  — фактически выполненное количество элементарных действий при осуществлении управляющего воздействия.

Величина  $K_{\text{нер}}$  изменяется от 0 до 1 и характеризует качество управляющих воздействий оператора. Чем ближе  $K_{\text{нер}}$  к 0, тем меньше непродуктивных действий совершил оператор.

Информацию о структуре управляющих воздействий оператора можно получать с помощью корреляционно-спектрального анализа процессов управления [5–6].

Теперь о показателях третьей группы.

Известно, что любая профессиональная деятельность вызывает нервно-эмоциональную напряжённость, что вызывает вегетативные изменения в организме и влечет за собой эмоциональную реакцию [7]. Степень нервно-эмоциональной напряженности и, соответственно, уровень эмоциональной реакции определяется характером профессиональной деятельности. Принято считать, что достаточно низкий уровень эмоциональных реакций свидетельствует о готовности оператора выполнять свои функции, а значит, и высокой функциональной надежности оператора. Такой вывод послужил основанием для исследований влияния психофизиологической напряженности (ПФН) оператора на его надежность.

В качестве показателей уровня эмоциональных реакций целесообразно использовать такие показатели, как частота сердечных сокращений (ЧСС) и частота дыхания (ЧД) [6]. Как показывает опыт работы, эти показатели позволяют достаточно хорошо описывать ПФН оператора при его подготовке к работе. При этом необходимо учитывать индивидуальные особенности операторов для определения зависимости между исходными значениями этих показателей и их значениями в ходе работы оператора.

С целью получения информации о психофизиологическом состоянии оператора и учёта индивидуальных особенностей в качестве показателей ПФН целесообразно использовать отношение измеренных значений ЧСС и ЧД оператора при осуществлении им функциональных обя-

занностей к фоновым значениям оператора, замеренным после отдыха.

С учетом вышесказанного показатели ПФН оператора вычисляются следующим образом:

– частота сердечных сокращений:

$$Y_{\text{чсс}} = \frac{Y_{\text{чсс}}^{\text{реж}}}{Y_{\text{чсс}}^{\text{ф}}} \cdot 100,$$

где  $Y_{\text{чсс}}^{\text{реж}}$  — значение ЧСС на оцениваемом режиме (в ходе выполнения данной операции);

$Y_{\text{чсс}}^{\text{ф}}$  — фоновое значение ЧСС;

– частота дыхания:

$$Y_{\text{чд}} = \frac{Y_{\text{чд}}^{\text{реж}}}{Y_{\text{чд}}^{\text{ф}}} \cdot 100\%,$$

где  $Y_{\text{чд}}^{\text{реж}}$  — значение ЧД на оцениваемом режиме;

$Y_{\text{чд}}^{\text{ф}}$  — фоновое значение ЧД.

В дальнейшем, по мере возможности оснащения операторов датчиками и разработки методического обеспечения перечень этих вегетативных показателей может быть расширен такими характеристиками, как минутный объём дыхания, артериальное давление, кожно-гальваническая реакция и др. [8–9].

В проведенных исследованиях [5, 10–13] установлено, что качество действий человека-оператора существенно зависит от его функционального (психофизиологического) состояния, изменение которого влияет не только на точность, скорость и другие показатели деятельности оператора, но и на структуру реакций, соотношение различных ошибок, допускаемых оператором [10]. Это обуславливает необходимость учета данного фактора при оценке функциональной надежности специалистов-операторов. В [2] отмечается, что существенное влияние на результаты деятельности человека оказывает эмоциональное напряжение оператора. В связи с этим предлагается затраты функциональных возможностей оператора на выполнение поставленных задач характеризовать степенью его эмоциональной напряженности в ходе их выполнения. Объективным показателем эмоционального напряжения может служить модуль вектора электрокардиограммы (ЭКГ-вектора)  $W$ . На  $i$ -м этапе выполнения задачи значение  $W_i$  определяется выражением [6]:

$$W_i = \left[ \left( \frac{T_{(R-R),T}^{(i)}}{T_{(R-R),T}^{(0)}} \right)^2 + \left( \frac{A_{T,T}^{(i)}}{A_{T,T}^{(0)}} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}},$$

где  $T_{(R-R),T}^{(i)}$ ,  $A_{T,T}^{(i)}$  — временные средние  $R-R$ -интервала и амплитуды  $T$ -зубца соответственно;

$T_{(R-R),T}^{(0)}$ ,  $A_{T,T}^{(0)}$  – фоновые значения этих показателей.

Опосредованную оценку запаса психофизиологических свойств оператора (в частности, внимания и функциональных возможностей) предлагается осуществлять на основе инструментального измерения психофизиологических параметров, входящих в модуль ЭКГ-вектора. В качестве показателя предлагается коэффициент эмоциональной напряженности  $C_p$ , рассчитанный в контрольных точках параметра для каждого из  $n$  типовых действий в задаче с учетом фонового значения  $W_\phi$  по формуле:

$$C_i = 1 - \frac{W_D}{W_D + W_i}, \quad (3)$$

При этом можно использовать статистические данные. Если текущее значение находится в пределах фоновых значений, эмоциональная напряженность оператора также в пределах нормы. Можно рассчитать коэффициент эмоциональной напряженности  $C$  для всей задачи как усреднение коэффициентов  $C_p$ , для всех этапов работы оператора:

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n C_i}{n}. \quad (4)$$

Коэффициент  $C$  изменяется в пределах от 0 до 1. Чем меньше его значение, тем меньше эмоциональная напряженность оператора.

Оценку функциональной надежности оператора предлагается осуществлять на основе анализа качества его деятельности (формулы 1, 2) и эмоциональной напряженности (формулы 3, 4). При этом функциональная надежность оператора является достаточной, если качество деятельности оператора высокое, а эмоциональная напряженность низкая. Если качество деятельности оператора низкое, а эмоциональная напряженность высокая, функциональная надежность оператора не обеспечивает заданное качество функционирования ОУ.

Для количественных оценок  $K_\Sigma$  и  $C$  можно использовать традиционную четырехбалльную шкалу, например, если значение  $K_\Sigma$  находится в пределах от 0 до 0,25, то качество его деятельности отличное, если  $K_\Sigma$  лежит в пределах от 0,25 до 0,5, то качество его деятельности хорошее, и т.д. Аналогично можно оценить  $C$ . Критерии оценивания функциональной надежности оператора базируются на соотношении оценок  $K_\Sigma$  и  $C$ .

### Заключение

Предлагаемый перечень показателей может характеризовать не только качественную сторону деятельности оператора, но и оценивать, какими затратами достигнут

этот результат. Это очень важно как для оценки результатов подготовки, так и для совершенствования ее методики.

Поскольку в профессиональной подготовке специалистов-операторов широко используются технические средства, эти показатели могут быть использованы при создании тренажерно-моделирующих комплексов для выработки единых взглядов и подходов к организации объективного контроля [14, 15]. При условии получения исходных данных для расчета предлагаемых показателей инструментальным методом последний обеспечит достаточную объективность оценки как на тренажерно-моделирующих комплексах, так и на реальных объектах управления.

### Литература

1. Грачева Л.А. Оценка влияния человеческого фактора на надежность сложных технических систем // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2014. № 11–4. С. 553–554.
2. Фролов М.В. Контроль функционального состояния человека-оператора: Монография. М.: Наука, 1987. 196 с.
3. Вельмисов И.А., Кудряков С.А., Остапченко Ю.Б., Шаповалов Е.Н., Рубцов Е.А. Показатели профессиональной деятельности авиационных специалистов // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации. 2018. № 2 (19). С. 26–37
4. Петров Г.Д., Шаповалов Е.Н., Поляков А.П. и др. Организация эксплуатации вооружения, военной и специальной техники. СПб.: Изд-во ВКА имени А.Ф. Можайского, 2012. 304 с.
5. Вельмисов И.А. Некоторые подходы к определению функциональной надежности специалистов управления воздушным движением // Вопросы радиоэлектроники. 2008. Т. 2. № 2. С. 5–16.
6. Вельмисов И.А. Контроль параметров деятельности авиационных диспетчеров путем инструментальных измерений на тренажере // Вопросы радиоэлектроники. 2008. Т. 2. № 2. С. 17–26.
7. McEwen B. S. Physiology and neurobiology of stress and adaptation: central role of the brain // Physiological Reviews. 2007. Vol. 87. No. 3. Pp. 873–904.
8. Cohn J.F. Advances in Behavioral Science Using Automated Facial Image Analysis and Synthesis // IEEE Signal processing magazine. 2010. Pp. 129–133.
9. Изард К.Э. Психология эмоций: пер с англ. СПб.: Питер, 1999. 464 с.
10. Дружинин Г.В. Методы оценки и прогнозирования качества. М.: Радио и связь, 1982. 160 с.
11. Приказ Федеральной авиационной службы от 14.11.2007 № 108 «Об утверждении типовых Технологий работы диспетчеров органов обслуживания воздушного движения (управления полетами) при аэро-



навигационном обслуживании пользователей воздушного пространства Российской Федерации». М., 2007. 140 с.

12. Крыжановский Г. А. Центральные задачи и методы прикладной теории УВД // Межвузовский сборник научных трудов. Л.: ОЛАГА, 1981. С. 6–9.

13. Затонский В. М. Синтез показателей для оценки результатов деятельности диспетчера при решении типовых задач // Межвузовский сборник научных трудов. Л.: ОЛАГА, 1981. С. 38–40.

14. Кудряков С. А., Остапченко Ю. Б., Шаповалов Е. Н. Профессиональная надежность в контексте подготовки современных специалистов // Теория и практика современной науки. 2016. № 10 (16). С. 500–508.

15. Остапченко Ю. Б., Кудряков С. А., Шаповалов Е. Н., Романцев В. В., Беляев С. А. Проблемы профессиональной подготовки специалистов для эксплуатации сложных технических объектов в современных условиях // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2014. № 8. С. 90–94.

## RELIABILITY INDICATORS OF OPERATORS OF AUTOMATED CONTROL SYSTEMS

### ANATOLY I. VAINTRAUB,

St-Petersburg, Russia, avayntraub@nicetu.spb.ru

### YURI B. OSTAPCHENKO,

St-Petersburg, Russia, yuostapchenko@nicetu.spb.ru

### EVGENY N. SHAPOVALOV

St-Petersburg, Russia, eshapovalov@nii-ps.ru

**KEYWORDS:** text, control object; operator reliability; operator performance indicators; psychophysiological state of the operator; operator status indicators.

### ABSTRACT

ToThe main features of the activities of operators of automated control systems for military purposes, characterized by approaches to assessing the quality of operators of automated control systems. The essential role of reliability of the human operator in performance of the set functions of object of management is noted. The reliability of a human operator is understood as a set of its psychophysiological properties that ensure the performance of specified functions by the controlled object under different conditions. Three groups of indicators of reliability of operators characterizing various aspects of their activity are offered - indicators of quality of work of the operator; indicators of output parameters of control actions which were chosen and carried out by the operator; indicators of a condition (psychophysiological tension) of the operator. As indicators of the quality of the operator's work, terminal indicators are proposed to assess the compliance of the specified parameters of the control object at the control points, and interval indicators associated with the evaluation of the deviation of the controlled parameters. Depending on the nature of the controlled parameter, these indicators can be used to assess the safety of the facility. As an indicator of the output parameters of the operator's control actions, the coefficient of unproductive actions is considered. Psychophysiological tension of

the operator is proposed to describe such vegetative indicators as heart rate and respiratory rate. Formulas of calculation of indicators are resulted. Recommendations on their calculation and practical use are given. As integral indicators of functional reliability of operators the aggregated indicator of quality of activity of the operator and coefficient of emotional tension are offered. A four-point scale can be used to evaluate these indicators. The conclusion is made about the possibility of using the proposed indicators in the creation of simulator-modeling complexes to develop common views and approaches to the organization of objective control of the level of training of operators.

### REFERENCES

1. Gracheva L.A. Evaluation of the influence of human factor on the reliability of complex technical systems. *International journal of applied and fundamental research*. 2014. No. 11–4. Pp. 553–554. (In Rus)
2. Frolov M.V. *Kontrol' funktsional'nogo sostoyaniya cheloveka-operatora* [Monitoring the functional state of a human operator: Monograph]. Moscow: Nauka, 1987. 196p. (In Rus)
3. Vel'misov I.A., Kudryakov S.A., Ostapchenko Yu.B., Shapovalov E.N., Rubtsov E.A. Indicators for an estimation of an aeronautical

specialist occupation. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta grazhdanskoy aviatsii*. 2018. No. 2 (19). Pp. 26-37. (In Rus)

4. Petrov G.D., Shapovalov E.N., Polyakov A.P. et. al. *Organizatsiya ekspluatatsii vooruzheniya, voennoy i spetsial'noy tekhniki* [Organization of operation of weapons, military and special equipment]. St. Petersburg: VKA imeni A.F. Mozhayskogo Publ., 2012. 304 p. (In Rus)

5. Vel'misov I.A. Nekotorye podkhody k opredeleniyu funktsional'noy nadezhnosti spetsialistov upravleniya vozdushnym dvizheniem [Some approaches to determining the functional reliability of air traffic control specialists]. *Issues of radio electronics*. 2008. Vol. 2. No. 2. Pp. 5-16. (In Rus)

6. Vel'misov I.A. Kontrol' parametrov deyatel'nosti aviatsionnykh dispetcherov putem instrumental'nykh izmereniy na trenazhere [Control of parameters of aviation dispatchers activity by means of instrumental measurements on the simulator]. *Issues of radio electronics*. 2008. Vol. 2. No. 2. C. 17-26. (In Rus)

7. McEwen B.S. Physiology and neurobiology of stress and adaptation: central role of the brain. *Physiological Reviews*. 2007. Vol. 87. No. 3. Pp. 873-904.

8. Cohn J.F. Advances in Behavioral Science Using Automated Facial Image Analysis and Synthesis. *IEEE Signal processing magazine*. 2010. Pp. 129-133.

9. Izard C.E. *The psychology of emotions*. New York; London: Plenum Press, 1991. XX, 451 p.

10. Druzhinin G.V. *Metody otsenki i prognozirovaniya kachestva* [Methods for evaluating and predicting quality]. M.: Radio i svyaz', 1982. 160 p. (In Rus)

11. Order of the Federal air navigation service of 14.11.2007 No. 108. "Ob utverzhdenii tipovykh Tekhnologiy raboty dispetcherov organov obsluzhivaniya vozdushnogo dvizheniya (upravleniya poleta-

mi) pri aeronavigatsionnom obsluzhivanii pol'zovateley vozdushnogo prostranstva Rossiyskoy Federatsii" ["On approval of standard operating Technologies for dispatchers of air traffic services (flight control) when providing air navigation services to users of the airspace of the Russian Federation"]. Moscow, 2007. 140 p. (In Rus)

12. Kryzhanovskiy G.A. Tsentral'nye zadachi i metody prikladnoy teorii UVD [Central problems and methods of applied theory of ATC]. *Mezhvuzovskiy sbornik nauchnykh trudov* [Intercollegiate collection of scientific papers]. Leningrad: OLAGA, 1981. Pp. 6-9. (In Rus)

13. Zatonskiy V.M. Sintez pokazateley dlya otsenki rezul'tatov deyatel'nosti dispetchera pri reshenii tipovykh zadach [Synthesis of indicators for evaluating the performance of the dispatcher in solving typical tasks]. *Mezhvuzovskiy sbornik nauchnykh trudov* [Intercollegiate collection of scientific papers]. Leningrad: OLAGA, 1981. Pp. 38-40. (In Rus)

14. Kudryakov S.A., Ostapchenko Yu.B., Shapovalov E.N. Professional'naya nadezhnost' v kontekste podgotovki sovremennykh spetsialistov [Professional reliability in the context of training modern specialists]. *Teoriya i praktika sovremennoy nauki* [Theory and practice of modern science]. 2016. No. 10 (16). Pp. 500-508. (In Rus)

15. Ostapchenko Yu.B., Kudryakov S.A., Shapovalov E.N., Romantsev V.V., Belyaev S.A. Problems of professional training of specialists involved in operating complex technical facilities in modern conditions. *Izvestiya SPbGETU "LETI"*. 2014. No. 8. Pp. 90-94. (In Rus)

#### INFORMATION ABOUT AUTHOR:

Vaintraub A.I., PhD, Docent, Deputy chief designer JSC "Scientific and engineering center of the electrotechnical University";

Ostapchenko Y.B., PhD, Deputy General Director JSC "Scientific and engineering center of electrotechnical University";

Shapovalov E.N. PhD, Docent, head of the Department of JSC Research Institute of software tools.

---

**For citation:** Vaintraub A.I., Ostapchenko Y.B., Shapovalov E.N. Reliability indicators of operators of automated control systems. *H&ES Research*. 2020. Vol. 12. No. 2. Pp. 72-78. doi: 10.36724/2409-5419-2020-12-2-72-78 (In Rus)



doi: 10.36724/2409-5419-2020-12-2-79-87

# МОДЕЛЬ УНИВЕРСАЛЬНОЙ УПРАВЛЯЮЩЕЙ ПЛАТФОРМЫ СИСТЕМЫ ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИМ КОМПЛЕКСАМ

**ЕГУРНОВ**

**Владимир Олегович<sup>1</sup>**

**СОКОЛОВ**

**Артём Максимович<sup>2</sup>**

**НЕКРАСОВ**

**Максим Игоревич<sup>3</sup>**

## АННОТАЦИЯ

В работе рассматриваются вопросы совершенствования систем противодействия робототехническим комплексам. Цель исследования состоит в повышении защищенности объектов от угроз безопасности, реализуемых посредством применения робототехники. Для достижения цели исследования предложен новый подход к построению систем противодействия робототехническим комплексам, основанный на применении универсальной управляющей платформы. Его использование позволит существенно расширить возможности системы физической защиты объекта по противодействию робототехническим комплексам при их групповом применении. В ходе исследования получены следующие результаты: - проведен анализ мировых тенденции развития робототехнических комплексов военного, специального и двойного назначения, а также современных средств противодействия им. Выявлены ограниченные возможности существующих средств противодействия по защите объектов от современных робототехнических комплексов при их групповом применении; - определены основные требования к перспективной системе противодействия робототехническим комплексам, обеспечивающие создание средств защиты от современных робототехнических комплексов при их групповом применении; - разработана функциональная модель перспективной системы противодействия робототехническим комплексам на основе применения универсальной управляющей платформы; - предложена структурная модель перспективной системы противодействия робототехническим комплексам, отображающая ее основные элементы и взаимосвязи между ними; - разработана архитектура перспективной системы противодействия робототехническим комплексам на основе эталонной модели взаимодействия открытых систем, показаны возможные технологии и протоколы передачи информации между ее элементами; - предложена последовательность создания перспективной системы противодействия робототехническим комплексам с учетом специфики возникающих научно-технических задач. Полученные в работе результаты представляют интерес для предприятий промышленности и федеральных органов исполнительной власти, обеспечивающих безопасность защищаемых объектов.

## Сведения об авторах:

<sup>1</sup>к.т.н., доцент, сотрудник Академии Федеральной службы охраны Российской Федерации, г. Орёл, Россия, egurnov77@list.ru

<sup>2</sup>сотрудник Академии Федеральной службы охраны Российской Федерации, г. Орёл, Россия, sokol.sam@gmail.com

<sup>3</sup>сотрудник Академии Федеральной службы охраны Российской Федерации, г. Орёл, Россия, nekr-maks@yandex.ru

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** робототехнический комплекс; противодействие робототехническим комплексам; система противодействия робототехническим комплексам; безопасность защищаемых объектов; система физической защиты; универсальная управляющая платформа.

**Для цитирования:** Егурнов В.О., Соколов А.М., Некрасов М.И. Модель универсальной управляющей платформы системы противодействия робототехническим комплексам // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2020. Т. 12. № 2. С. 79-87. doi: 10.36724/2409-5419-2020-12-2-79-87

## Введение

Общепланетарная тенденция повышения роботизации в различных сферах деятельности, интенсивное развитие технологий, обеспечивающих создание и производство робототехнических комплексов и систем (РТК и РТС) военного, специального и двойного назначения, обусловили тот факт, что злоумышленники могут реализовать следующие угрозы безопасности защищаемых объектов, используя наземные, морские и воздушные РТК [1–3]:

- несанкционированное проникновение на объект;
- разведка территории объекта;
- повреждение и вывод из строя жизненно важных для объекта сооружений, оборудования и коммуникаций за пределами территории объекта;
- умышленное воздействие на объект и прилегающую территорию с целью вызвать пожар, наводнение или иное стихийное бедствие;
- физическое воздействие, уничтожение персонала объектов.

В этой связи особую актуальность приобретает задача противодействия РТК на защищаемых объектах.

Данную задачу решает служба безопасности объекта во взаимодействии с силовыми министерствами и ведомствами, входящими в систему безопасности государства. В общем виде в систему безопасности государства входят [4]:

- Вооруженные Силы;
- Федеральные органы безопасности;
- органы внутренних дел;
- Войска национальной гвардии;
- ведомственные службы безопасности;
- объектовые службы безопасности.

Таким образом, обеспечение безопасности защищаемого объекта осуществляется его службой безопасности в рамках установленных компетенций, в том числе путем создания системы физической защиты. Организация взаимодействия с другими подсистемами системы безопасности государства позволяет ограничить требования к системе физической защиты объекта, заключающиеся в противодействии малогабаритным РТК.

## Подход к построению модели управляющей платформы системы противодействия РТК

В интересах создания эффективной системы противодействия РТК на защищаемых объектах целесообразно рассмотреть основные тенденции развития робототехники [5].

В настоящее время развитие РТК происходит в следующих направлениях:

- унификация и совершенствование робототехнических платформ;
- унификация и совершенствование полезной нагрузки робототехнических платформ;
- развитие методов и способов группового интеллектуального управления группами разнородных РТК.

Так, на официальном сайте DARPA размещена информация о проекте по разработке наступательных тактик роевых систем OFFSET. Данная программа нацелена на проектирование, производство и демонстрацию архитектуры роевой РТС. На практике она будет реализована на программном и физическом уровнях. Программный уровень предполагает ее исполнение в форме приложения для реалистичной игровой среды. На физическом уровне будут созданы автономные робототехнические платформы, необходимые для развития и внедрения новых тактик решения задач роевыми РТС.

Роевые РТС, создаваемые в рамках программы OFFSET, будут характеризоваться:

- сложным коллективным адаптивным поведением для интеллектуального передвижения, принятия решений и взаимодействия с окружающей средой;
- адаптивным, устойчивым и фрагментированным распределением и хранением информации;
- возможностью обеспечить крупномасштабный распределенный и рассредоточенный сбор, объединение и фильтрацию информации;
- обеспечивать возможность влиять на действия роя и оценивать его поведение.

По окончании данного проекта планируется получить высокоэффективные разнородные роевые РТС, состоящие из 250 и более единиц автономных РТК, способные решать задачи в различных условиях обстановки (табл.) Фазы программы представлены в таблице.

## Фазы программы OFFSET

Ключевые аспекты	Фаза 1	Фаза 2	Фаза 3
Задача	Изолировать городскую цель	Провести городской рейд	Захватить стратегически важную городскую территорию
Продолжительность	15–30 минут	1–2 часа	4–6 часа
Площадь	2 городских квартала	4 городских квартала	8 городских кварталов
Размер роя	50	100	250





Динамика развития РТК обуславливает непрерывный рост уровня потенциальных угроз безопасности охраняемых объектов, связанных с применением нарушителями РТК.

В настоящее время для противодействия РТК, а именно комплексам воздушного базирования, на защищаемых объектах может осуществляться следующими способами 4 [6]:

- поражение системами лазерного оружия;
- поражение системами электромагнитного оружия;
- физическое средствами зенитного и стрелкового вооружения;
- воздействие средствами радиоэлектронной борьбы;
- нейтрализация с помощью специальных сетей;
- перехват управления РТК.

Описание перечисленных способов, а также их сравнительный анализ с точки зрения возможности применения на защищаемых объектах представлен в [6].

Проведенные исследования показали, в существующие в настоящее время комплексы обеспечивают возможность противодействия современным РТК на должном уровне [7–9].

Однако при групповом применении перспективных РТК эффективность имеющихся средств не позволит в полной мере обеспечить безопасность защищаемых объектов.

В этой связи, особую актуальность приобретают вопросы создания технической системы, которая позволит эффективно противодействовать перспективным РТК и тактикам их применения.

Одним из способов создания данной системы является объединение существующих и перспективных разнородных средств обнаружения и противодействия под единым управлением. Подобный подход к построению системы противодействия беспилотным летательным аппаратам представлен в [10].

Перспективная система противодействия РТК должна обеспечить выполнение следующих требований:

- избирательность, заключающаяся в возможности адаптивного применения средств обнаружения и противодействия в зависимости от условий обстановки;
- масштабируемость, определяющая способность оперативного наращивания возможностей системы посредством подключения множества разнородных средств обнаружения и противодействия, в том числе на новых физических принципах;
- открытость, характеризующая возможность сопряжения с другими системами физической защиты охраняемых объектов, а также со средствами управления РТК, применяемых на защищаемом объекте.

Один из способов удовлетворения этих требований основан на применении при построении системы противодействия РТК универсальной управляющей платформы, что обеспечит возможность объединения разнородных средства обнаружения и противодействия. Централизованная обработка поступающей разнородной информации позволит повысить оперативность обнаружения противоправных действий с применением РТК и соответствующего реагирования путем рационального выбора средств и способов противодействия. Функциональная модель такой системы представлена на рис. 1.

Кроме того, совершенствование технологий в области робототехники позволяет с помощью различных РТК повышать эффективность СФЗ защищаемых объектов.

В этой связи, исходя из представленной функциональной модели, а также для обеспечения эффективного применения РТК в интересах службы безопасности объекта предлагается следующая структурная модель (рис. 2). Ее особенностями являются модульная распределенная структура, элементы которой взаимодействуют посредством сети высокоскоростного обмена данными, и сопря-

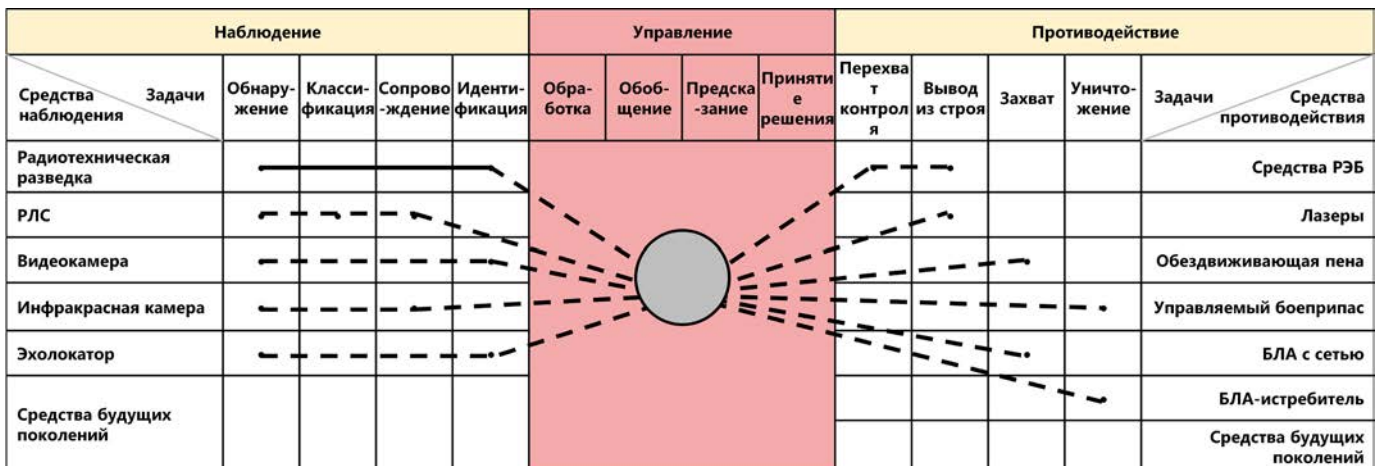


Рис. 1. Функциональная модель перспективной системы противодействия РТК

жение применяемых службой безопасности объекта РТК и средств противодействия им за счет единого управления. Такой подход обеспечит оперативность наращивания возможностей системы противодействия РТК и существенно снизит взаимное негативное влияние между применяемыми службой безопасности объекта РТК и средствами противодействия им.

Отдельного внимания заслуживает управляющая платформа перспективной системы, которая является ее ядром. Главной функцией платформы является высокоскоростная обработка потоков информации от модулей обнаружения и комплексный анализ возникающих событий с целью формирования модели единой оперативной обстановки. Кроме того, устройство управления необходимо наделить функциями автоматической идентификации обнаруженных объектов и выбора рациональных сценариев противодействия РТК, тем самым обеспечивая избирательность системы.

Модуль администрирования предназначен для решения задач по настройке, установке, диагностике и конфигурированию системы в целом, а также ее отдельных элементов.

Высокоскоростной обмен данными для взаимодействия между отдельными модулями обеспечивает возможность как стационарной, так и мобильной реализации модуля автоматизированного рабочего места оператора. При этом его функционал должен изменяться в зависимости от уровня доступа.

Наличие блоков обработки информации в составе модулей обнаружения и противодействия повышает их автономность, снижает объемы передаваемой информации, а также позволяет унифицировать обмен данными с устройством управления. Это позволит подключать к одной управляющей платформе разнородные средства обнаружения и противодействия.

Сопряжение применяемых службой безопасности объекта РТК и системы противодействия им обеспечивается за счет блока регистрации данных о применении РТК из состава устройства управления. Основной функцией этого блока является сбор и обработка ключевых параметров о применяемых РТК. Это позволит адаптивно корректировать сценарии противодействия РТК нарушителей таким образом, чтобы минимизировать негативное воздействие на РТК службы безопасности объекта.

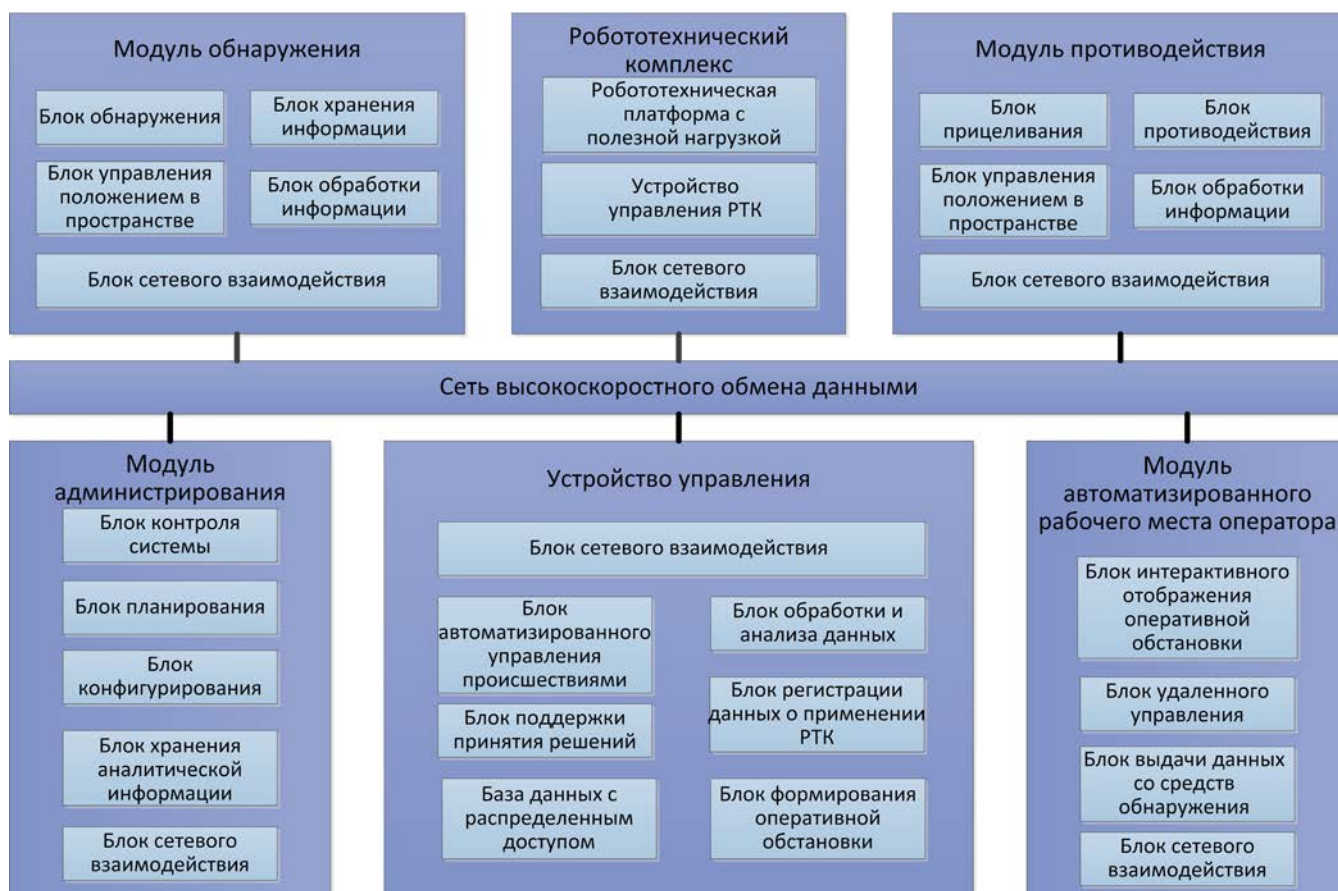


Рис. 2. Структурная модель перспективной системы противодействия РТК



Организация взаимодействия между элементами системы посредством сети высокоскоростного обмена данными обеспечит выполнение требования по открытости системы.

Технические решения по построению управляющей платформы предлагается реализовать в виде приложений — прикладного программного обеспечения.

Работа прикладного ПО поддерживается программной платформой, основными функциями которой являются управление аппаратным обеспечением, мониторинг его функционирования, а также осуществление взаимодействия с другими модулями системы.

Одним из вариантов реализации представленной структурной модели является архитектура, изображенная на рис. 3. В ее основе лежит эталонная модель взаимодействия открытых систем (ЭМВОС). ЭМВОС представляет собой один из способов многоуровневой организации сетей.

В той или иной реализации набора протоколов некоторые из уровней ЭМВОС могут не использоваться, но она разработана таким образом, чтобы любую сетевую функцию можно было представить на одном из ее семи уровней:

1. Физический — выполняемые на этом уровне функции в основном касаются физических характеристик се-

тевого соединения: кабельной разводки, соединителей и всех прочих физических компонентов. Отвечает также за преобразование логических символов в физическую форму (электрические импульсы, синусоидальные колебания или оптические сигналы) со стороны отправителя и за обратное преобразование в биты со стороны получателя;

2. Канальный — отвечает за физическую адресацию и управление сетевой интерфейсной платой. В зависимости от применяемого протокола, на этом уровне может также осуществляться управление потоком данных. Кроме того, на этом уровне возможно обнаружение некоторых ошибок;

3. Сетевой — отвечает, в основном, за логическую адресацию и определение маршрута(или маршрутизацию) между группировками логических адресов;

4. Транспортный — обеспечивает взаимодействие двух прикладных программ. В зависимости от применяемого протокола на этом уровне могут выполняться функции обнаружения и устранения ошибок, установки и разрыва сеанса транспортного уровня, мультиплексирования, фрагментации и управления потоком данных;

5. Сеансовый — на этом уровне устанавливаются соединения (сеансы) между двумя оконечными точками связи (обычно приложениями). Он обеспечивает настройку в приложении, находящемся на другом конце соединения,

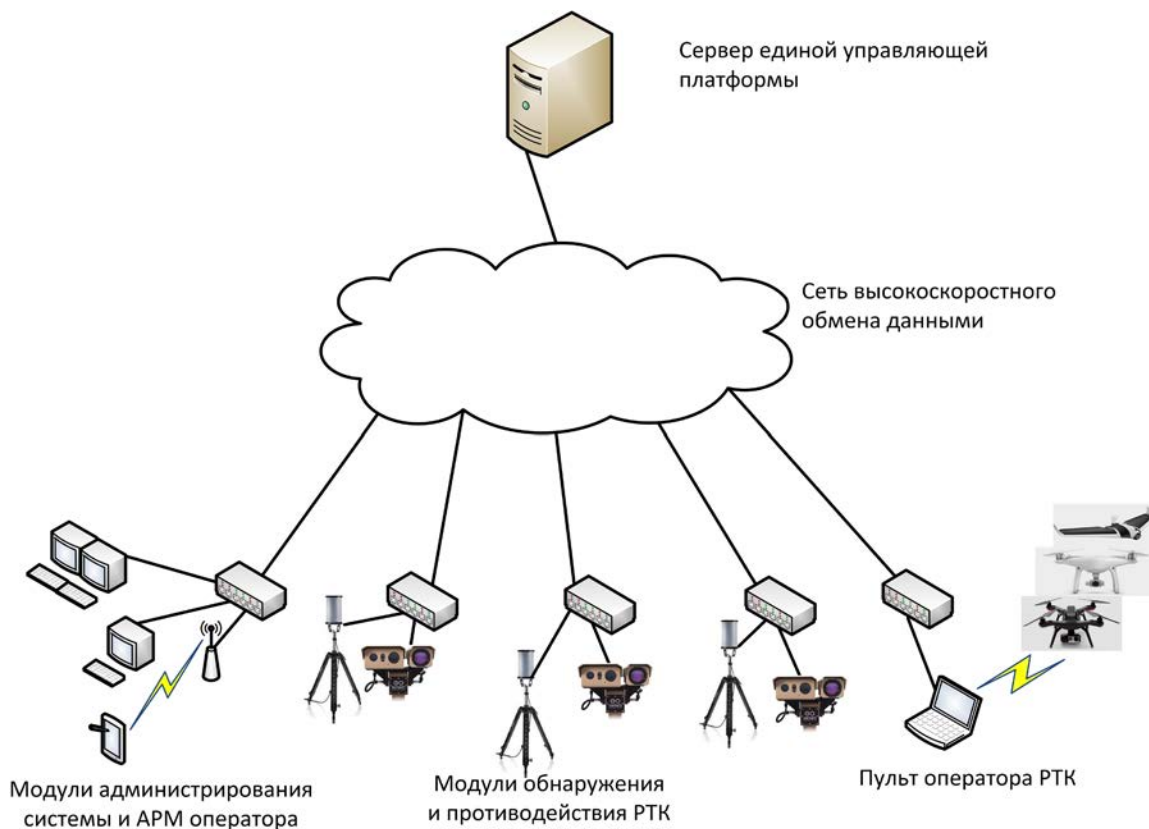


Рис. 3. Архитектура перспективной системы

правильных параметров, позволяющих установить двухстороннюю связь с приложением-отправителем;

6. Представительский — на этом уровне выполняются все действия, которые связаны с форматированием пакета: сжатие, шифрование, кодирование и преобразование символов;

7. Прикладной — отвечает непосредственно за взаимодействие с приложением. Он позволяет разработать приложение, используя для него минимальный объем сетевого кода. В приложении достаточно предусмотреть передачу прикладному протоколу информации о том, какие действия должны выполняться, а прикладной протокол преобразует полученный запрос в команды, выполняемые набором протоколов.

Обобщенная схема информационных потоков в структурных элементах перспективной системы представлена на рис. 4. Интеграция отдельных модулей в единую систему требует согласования информационных потоков на входах и выходах их основных функциональных блоков, а также применяемых технологий и протоколов сетевого взаимодействия. Поэтому на данном этапе нет необходимости в рассмотрении процессов внутри основных функциональных блоков модулей.



Рис. 4. Схема информационных потоков

На представленной схеме отражены следующие потоки информации:

– информационный поток на стационарном выходе блока сетевого взаимодействия ( $V$ ), состоящий из  $n$  блоков данных ( $n = \overline{1, N}$ ):

$$V = \{V_1, V_2, \dots, V_n\}$$

где  $N$  — количество блоков данных для рассматриваемого потока;

– информационный поток на стационарном входе блока сетевого взаимодействия ( $W$ ), состоящий из  $m$  блоков данных ( $m = \overline{1, M}$ ):

$$W = \{W_1, W_2, \dots, W_m\}$$

где  $M$  — количество блоков данных для рассматриваемого потока;

– вектор параметров, характеризующих процесс преобразования данных в блоке сетевого взаимодействия ( $P$ ), состоящий из  $k$  блоков данных ( $k = \overline{1, K}$ ):

$$P = \{P_1, P_2, \dots, P_k\}$$

где  $K$  — количество блоков данных для рассматриваемого потока;

– сигнал на линейном выходе блока сетевого взаимодействия ( $S_{out}$ ):

$$S_{out} = F(W, P)$$

где  $F(W, P)$  — функция преобразования данных в блоке сетевого взаимодействия на передачу;

– сигнал на линейном входе блока сетевого взаимодействия ( $S_{in}$ ):

$$V = F^{-1}(S_{in}, P)$$

где  $F^{-1}(S_{in}, P)$  — функция обратного преобразования принимаемых сигналов в блоке сетевого взаимодействия.

На рис. 5 представлена логическая структура блока сетевого взаимодействия, использующая уровни ЭМВОС. Однако данный рисунок требует некоторого пояснения относительно задач, решаемых на каждом из уровней ЭМВОС применительно к системе противодействия РТК:

– прикладной уровень обеспечивает взаимодействие основных функциональных блоков модулей системы противодействия РТК и сети связи;

– представительский уровень обеспечивает преобразование протоколов и кодирование/декодирование данных между устройством управления и другими модулями системы противодействия РТК;

– сеансовый уровень отвечает за поддержание непрерывного взаимодействия между модулями системы противодействия РТК;

– транспортный уровень обеспечивает передачу данных по сети связи между конкретными функциональными блоками модулей системы противодействия РТК;

– сетевой уровень отвечает за определение оптимальных маршрутов передачи между модулями системы противодействия РТК;



Рис. 4. Логическая структура блока сетевого взаимодействия

– канальный уровень позволяет передавать данные между узлами в одном сегменте локальной сети, соединяющей модули системы противодействия РТК;

– физический уровень выступает в роли физической и электрической среды передачи данных между модулями системы противодействия РТК.

Возможность построения перспективной системы противодействия РТК во многом зависит от создания универсальной управляющей платформы. Предполагается, что разработка будет происходить в 4 этапа.

На первом этапе необходимо решить задачи формализованного описания всех элементов перспективной системы — а именно, составить перечень значимых параметров, однозначно характеризующих каждый элемент создаваемой системы.

На втором этапе будут прорабатываться вопросы организации взаимодействия между элементами системы, включающие выбор технологий и протоколов связи (вектор  $P$ ), определение состава передаваемых данных и команд (поток  $V$  и  $W$ ), а также способов синхронизации элементов.

Третий этап предполагает определение правил поведения отдельных модулей и системы в целом в различных условиях обстановки.

Четвертый этап разработки управляющей платформы предполагается завершить созданием опытного образца.

### Заключение

Таким образом, в настоящем исследовании показана необходимость совершенствования систем противодействия РТК. С этой целью предложен подход к построению перспективной системы противодействия РТК на основе применения универсальной управляющей платформы, в рамках которого:

– определены основные требования к перспективной системе противодействия РТК, обеспечивающие создание средств защиты от современных РТК при их групповом применении;

– разработана функциональная модель перспективной системы противодействия РТК на основе универсальной управляющей платформы;

- предложена структурная модель перспективной системы противодействия РТК;
- разработана архитектура перспективной системы противодействия РТК на основе эталонной модели ЭМВОС.
- предложена последовательность практической реализации разработанного подхода к построению перспективной системы противодействия РТК.

Полученные в работе результаты могут быть использованы предприятиями промышленности и федеральными органами исполнительной власти, обеспечивающими безопасность защищаемых объектов.

### Литература

1. *Bunker R.J.* Terrorist and insurgent unmanned aerial vehicles: use, potentials, and military implications. Carlisle, PA: Strategic Studies Institute, U. S. Army War College, 2015. 74 p.
2. *Card B.A.* Terror from Above // *Air & Space Power Journal*. 2018. No. 2. Pp. 80–95.
3. *Леонов А.В., Тюлькин М.В., Трущенко В.В.* Критерии оценки целесообразности и эффективности использования робототехнических комплексов военного назначения // *Вооружение и экономика*. 2019. № 1 (49). С. 24–29.
4. *Бояринцев А.В., Зуев А.Г., Ничиков А.В.* Проблемы антитерроризма: угрозы и модели нарушителей. СПб.: ИСТА-Системс, 2008. 220 с.
5. *Chin W.J., Sern V.C.Y.* Unmanned Aerial Vehicle: Development Trends & Technology Forecast // *DSTA Hoizons*. 2005. Pp. 20–37.
6. *Егурнов В.О., Ильин В.В., Некрасов М.И., Сосунов В.Г.* Анализ способов противодействия беспилотным летательным аппаратам для обеспечения безопасности защищаемых объектов // *Вопросы оборонной техники. Серия 16: Технические средства противодействия терроризму*. 2018. № 1–2 (115–116). С. 51–58.
7. *Stoica P.M., Molder C.* Comparative analysis of methods to detect radio-controlled commercial UAVs // *Scientific Bulletin of Naval Academy*. 2018. No. 21. Pp. 45–49.
8. *Michel A.H.* Counter-Drone Systems: report. Center for the Study of the Drone. 2018. 25 p.
9. *Birch G.C., Griffin J.C., Erdman M.K.* UAS Detection, Classification, and Neutralization: Market Survey 2015: report. Sandia National Laboratories, 2015. 74 p.
10. *Tchouchenkov I., Segor F., Kollmann M., Schönbein R., Bierhoff T., Herbold M.* Detection, Recognition and counter measures against unwanted UAVs // *Proceedings of the Security Research Conference «10th Future Security»* (Berlin, September 15–17, 2015). Stuttgart: Fraunhofer Verlag, 2015. Pp. 333–340.

---

## THE MODEL OF THE ROBOTIC COMPLEXES COUNTERACTION SYSTEM UNIVERSAL MANAGING PLATFORM

### VLADIMIR O. EGURNOV

Oryol, Russia, egurnov77@list.ru

### ARTEM M. SOKOLOV

Oryol, Russia, sokol.sam@gmail.com

### MAKSIM I. NEKRASOV

Oryol, Russia, nekr-maks@yandex.ru

**KEYWORDS:** robotic complexes; robotic complexes counteraction; robotic complexes counteraction system; protected sites security; physical security system; universal managing platform.

### ABSTRACT

In the work the questions of the robotic complexes counteraction systems improvement are considered. The aim of the research is to increase the objects security of from the risks realized by the robotic complexes application. To achieve the aim of the research the new approach of the creation of robotic complexes counteraction systems, which is based on the universal managing platform application, is offered. Its use will allow to significantly expand the object physical

protection system possibilities in case of counteraction to robotic complexes groups. The following results of the research are received: – the analysis of the of military, special and dual purpose robotic complexes global development trends and modern means to counteract them. It was revealed that the objects protection against modern robotic complexes in case of their group application is not enough because of the limited robotics counteraction systems opportunities;



- the main requirements to the perspective robotic complexes counteraction system, making possible the creation of the security features, that will counteract the modern robotic complexes in case of their group application, are defined; - the perspective robotic complexes counteraction system functional model, based on the universal managing platform application, is developed; - the perspective robotic complexes counteraction system structural model, displaying its basic elements and interrelations between them, is offered; - the perspective robotic complexes counteraction system architecture, based on the Open systems interconnection basic reference model, is developed, and the possible technologies and protocols of the information transfer between its elements are shown; - the perspective robotic complexes counteraction system creation sequence, that take into account the arising specific scientific and technical tasks, is offered. The results received in work are of interest to the industry enterprises and federal executive authorities ensuring the protected objects safety.

#### REFERENCES

1. Bunker R.J. *Terrorist and insurgent unmanned aerial vehicles: use, potentials, and military implications*. Carlisle, PA: Strategic Studies Institute, U.S. Army War College, 2015. 74 p.
2. Card B.A. Terror from Above. *Air & Space Power Journal*. 2018. No. 2. Pp. 80-95.
3. Leonov A.V., Tjul'kin M.V., Trushhenkov V.V. Assessment Criteria of the Expediency and Effectiveness in Relation to the Military Robotic Complexes Employment. *Armament and Economics*. 2019. No. 1 (49). Pp. 24-29. (In Rus)
4. Bojarincev A.V., Zuev A.G., Nichikov A.V. *Problemy antiterrorizma: ugrozy i modeli narushitelej* [Problems of the Anti-terrorism: Threats and Violators Models]. St. Petersburg: NPP "ISTA-Systems", 2008. 220 p. (In Rus)
5. Chin W.J., Sern V.C.Y. Unmanned Aerial Vehicle Development Trends & Technology Forecast. *Hoizons*. 2010. Pp. 20-37.
6. Egurnov V.O., Ilyin V.V., Nekrasov M.I., Sosunov V.G. Unmanned aerial vehicles countermeasures to ensure the protected sites safety analysis. *Defense Engineering Problems. Series 16. Technical means of combating terrorism*. 2018. No. 1-2 (115-116). Pp. 51-58. (In Rus)
7. Stoica P.M., Molder C. Comparative analysis of methods to detect radio-controlled commercial UAVs. *Scientific Bulletin of Naval Academy*. 2018. No. 21. Pp. 45-49.
8. Michel A.H. *Counter-Drone Systems: report*. Center for the Study of the Drone. 2018. 25 p.
9. Birch G.C., Griffin J.C., Erdman M.K. *UAS Detection, Classification, and Neutralization: Market Survey 2015: report*. Sandia National Laboratories, 2015. 74 p.
10. Tchouchenkov I., Segor F., Kollmann M., Schönbein R., Bierhoff T., Herbold M. Detection, Recognition and counter measures against unwanted UAVs. *Future Security. Session 13: Critical Infrastructure Protection 1*. Berlin. 2015. Pp. 333-340.

#### INFORMATION ABOUT AUTHORS:

Egurnov V.O., PhD, Docent Researcher of The Academy of the Federal Guard Service of the Russian Federation;  
 Sokolov A.M., Researcher of The Academy of the Federal Guard Service of the Russian Federation;  
 Nekrasov M.I., Researcher of The Academy of the Federal Guard Service of the Russian Federation.

---

**For citation:** Egurnov V.O., Sokolov A.M., Nekrasov M.I. The model of the robotic complexes counteraction system universal managing platform. *H&ES Research*. 2020. Vol. 12. No. 2. Pp. 79-87. doi: 10.36724/2409-5419-2020-12-2-79-87 (In Rus)

## 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](http://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 желательно 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 7.0522008. **Образец оформления списка литературы размещен на сайте журнала [www.h-es.ru](http://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](http://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.**