Правовая информатика

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
№ 3, 2020 г.
Выходит 4 раза в год

Зарегистрировано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций
Свидетельство № 015372 от 01.11.1996 г.

Журнал входит в систему Российского индекса научного цитирования (РИНЦ) и международную систему идентификации научных публикаций CrossRef (DOI).

Главный редактор:
доктор технических наук, профессор
Дмитрий Анатольевич Ловцов

Председатель редакционного совета:
доктор юридических наук, профессор
Сергей Васильевич Запольский

Шеф-редактор,
заместитель главного редактора:
Григорий Иванович Макаренко

Учредитель и издатель:
Федеральное бюджетное учреждение «Научный центр правовой информации при Министерстве юстиции Российской Федерации»

Отпечатано в РИО НЦПИ при Минюсте России.
Печать цветная цифровая.
Подписано в печать 30.09.2020 г.
Общий тираж 100 экз. Цена свободная.

Адрес редакции:
125437, Москва, Михалковская ул., 65, стр.1
Телефон: +7 (495) 539-25-29
E-mail: inform360@yandex.com
Требования, предъявляемые к рукописям, размещены на сайте
http://uzulo.su/prav-inf

СОДЕРЖАНИЕ

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРАВОВОЙ ИНФОРМАТИКИ

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ В ИЕРАРХИЧЕСКОЙ ЭРГАСИСТЕМЕ
Ловцов Д.А. 4

ИНФОРМАЦИОННЫЕ И АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ГОСУДАРСТВЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ КАК ТРЕНД ЦИФРОВОГО ОБЩЕСТВА
Бурый А.С. 19

ПРОГРАММНО-АЛГОРИТМИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМЫ
Гаврилов Д.А. 29

ИНФОРМАЦИОННЫЕ И ЭЛЕКТРОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРАВОВОЙ СФЕРЕ

ИНФОРМАЦИОННАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ РАДИОТЕХНОЛОГИЙ НА РАЗВИТИЕ ИНФРАСТРУКТУРЫ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ
Сухов А.В., Зайцев М.А. 40

МЕТОД ВЫСОКОТОЧНОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ИНФОРМАЦИИ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ
Бетанов В.В., Вовасов В.Е., Воропаева А.В. 53

ОПТИМИЗАЦИОННЫЙ ПОДХОД В МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ СТАБИЛИЗАЦИИ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ОХРАННОГО МОНИТОРИНГА
Зайцев А.В., Канушкин С.В. 65

ТРИБУНА МОЛОДОГО УЧЕНОГО

ИНФОРМАЦИОННО-ПРАВОВОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИСКОВОГО ПРОИЗВОДСТВА У МИРОВОГО СУДЬИ
Маркина Е.В. 78

Подписка на журнал осуществляется в почтовых отделениях по каталогу «Пресса России». Подписной индекс: 34077

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

ЗАПОЛЬСКИЙ Сергей Васильевич	председатель редакционного совета, доктор юридических наук, профессор, г. Москва
ЕМЕЛИН Николай Михайлович	доктор технических наук, профессор, г. Москва
ИСАКОВ Владимир Борисович	доктор юридических наук, профессор, г. Москва
ЛОВЦОВ Дмитрий Анатольевич	главный редактор, доктор технических наук, профессор, г. Москва
СЕРГИН Михаил Юрьевич	доктор технических наук, профессор, г. Москва
ТЮТЮННИК Вячеслав Михайлович	доктор технических наук, профессор, г. Москва
УВАЙСОВ Сайгид Увайсович	доктор технических наук, профессор, г. Москва

Иностранные члены

КРУГЛИКОВ Сергей Владимирович	доктор технических наук, профессор, г. Минск, Белоруссия
ШАРШУН Виктор Александрович	кандидат юридических наук, г. Минск, Белоруссия

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

АЛЕКСЕЕВ Владимир Витальевич	доктор технических наук, профессор, г. Тамбов
БЕТАНОВ Владимир Вадимович	доктор технических наук, профессор, г. Москва
БУРЫЙ Алексей Сергеевич	доктор технических наук, г. Москва
ЛОВЦОВ Дмитрий Анатольевич	главный редактор, доктор технических наук, профессор, г. Москва
МАКАРЕНКО Григорий Иванович	шеф-редактор, г. Москва
МАРКОВ Алексей Сергеевич	доктор технических наук, доцент, г. Москва
ОМЕЛЬЧЕНКО Виктор Валентинович	доктор технических наук, профессор, г. Москва
СУХОВ Андрей Владимирович	доктор технических наук, профессор, г. Москва
ФЕДОСЕЕВ Сергей Витальевич	кандидат технических наук, доцент, г. Москва
ЦИМБАЛ Владимир Анатольевич	доктор технических наук, профессор, г. Серпухов, Московская область
АВЕРЬЯНОВА Татьяна Витальевна	доктор юридических наук, профессор, г. Москва
АТАГИМОВА Эльмира Исамудиновна	кандидат юридических наук, доцент, г. Москва
КАБАНОВ Павел Александрович	доктор юридических наук, профессор
МОИСЕЕВА Татьяна Федоровна	доктор юридических наук, кандидат биологических наук, профессор, г. Москва
ПОЛЯКОВА Татьяна Анатольевна	доктор юридических наук, профессор, г. Москва
ТЕРЕНТЬЕВА Людмила Вячеславовна	кандидат юридических наук, доцент, г. Москва
ЧУБУКОВА Светлана Георгиевна	кандидат юридических наук, доцент, г. Москва

EDITORIAL COUNCIL

Sergei ZAPOL'SKII	Chairman of the Editorial Council, Doctor of Science in Law, Professor, Moscow
Nikolai EMELIN	Doctor of Science in Technology, Professor, Moscow
Vladimir ISAKOV	Doctor of Science in Law, Professor, Moscow
Dmitrii LOVTSOV	Editor-in-Chief, Doctor of Science in Technology, Professor, Moscow
Mikhail SERGIN	Doctor of Science in Technology, Professor, Moscow
Viacheslav TIUTIUNNIK	Doctor of Science in Technology, Professor, Tambov
Saigid UVAISOV	Doctor of Science in Technology, Professor, Moscow

Foreign members

Sergei KRUGLIKOV	Doctor of Science in Technology, Professor, Minsk, Belarus
Viktor SHARSHUN	Ph.D. in Law, Minsk, Belarus

EDITORIAL BOARD

Vladimir ALEKSEEV	Doctor of Science in Technology, Professor, Tambov
Vladimir BETANOV	Doctor of Science in Technology, Professor, Moscow
Aleksei BURYI	Doctor of Science in Technology, Moscow
Dmitrii LOVTSOV	Editor-in-Chief, Doctor of Science in Technology, Professor, Moscow
Grigory MAKARENKO	Managing Editor, Moscow
Aleksei MARKOV	Doctor of Science in Technology, Associate Professor, Moscow
Viktor OMELCHENKO	Doctor of Science in Technology, Professor, Moscow
Andrey SUKHOV	Doctor of Science in Technology, Professor, Moscow
Sergei FEDOSEEV	Ph.D. in Technology, Associate Professor, Moscow
Vladimir TSIMBAL	Doctor of Science in Technology, Professor, Serpukhov, Moscow Oblast
Tat'iana AVER'IANOVA	Doctor of Science in Law, Professor, Moscow
El'mira ATAGIMOVA	Ph.D. in Law, Associate Professor, Moscow
Pavel KABANOV	Doctor of Science in Law, Professor
Tat'iana MOISEEVA	Doctor of Science in Law, Ph.D. in Biology, Professor, Moscow
Tat'iana POLIAKOVA	Doctor of Science in Law, Professor, Moscow
Liudmila TERENT'EVA	Ph.D. in Law, Associate Professor, Moscow
Svetlana CHUBUKOVA	Ph.D. in Law, Associate Professor, Moscow

LEGAL INFORMATICS

RESEARCH AND PRACTICE JOURNAL
2020, No. 3
The journal is published quarterly.

Registered by the Federal Service for Supervision in the Sphere of Telecom, Information Technologies and Mass Communications
Registration Certificate No. 015372
of the 1st of November 1996.

The journal is registered in the Russian Science Citation Index (RINTs) and CrossRef, the official Registration Agency of the International Digital Object Identifier (DOI) Foundation

Editor-in-Chief:
Doctor of Science in Technology, Professor
Dmitrii Lovtsov

Chair of the Editorial Council:
Doctor of Science in Law, Professor
Sergei Zapolski

Managing Editor,
Deputy Editor-in-Chief:
Grigory Makarenko

Founder and publisher:
Federal State-Funded Institution "Scientific Centre for Legal Information under the Ministry of Justice of the Russian Federation"

Printed by the Printing and Publication Division of the Scientific Centre for Legal Information under the Ministry of Justice of the Russian Federation.
Printed in digital colour. Approved for print on the 30th of September, 2020.
Number of items printed: 100. Free price.

Postal address:
Mikhalkovskaya str., bld. 65/1,
125 438, Moscow, Russia
Telephone: +7 (495) 539-23-14
E-mail: inform360@yandex.com
Guidelines for preparing manuscripts for publication can be found on the website http://uzulo.su/prav-inf

CONTENTS

MATHEMATICAL ASPECTS OF LEGAL INFORMATICS

MODELLING THE ORGANISATION OF INFORMATION PROCESSING IN A HIERARCHICAL ERGASYSTEM
Dmitrii Lovtsov 4

INFORMATIONAL AND AUTOMATED SYSTEMS AND NETWORKS

IMPROVING GOVERNMENT INFORMATION SYSTEMS AS A DIGITAL SOCIETY TREND
Aleksei Buryi 19

A SOFTWARE AND ALGORITHMIC COMPLEX FOR EVALUATING THE EFFICIENCY OF AN AUTOMATED ELECTRONIC OPTICAL SYSTEM
Dmitrii Gavrilov 29

INFORMATION AND ELECTRONIC TECHNOLOGIES IN THE LEGAL SPHERE

INFORMATIONAL ASSESSMENT OF THE IMPACT OF ADVANCED RADIO TECHNOLOGIES ON THE DEVELOPMENT OF INFRASTRUCTURE OF COMPLEX TECHNICAL SYSTEMS
Andrei Sukhov, Mikhail Zaitsev 40

A METHOD FOR HIGH-PRECISION POSITIONING OF SATELLITE SYSTEM INFORMATION CONSUMERS
Vladimir Betanov, Valerii Vovasov, Aleksandra Voropaeva 53

AN OPTIMISATION APPROACH IN MULTI-CRITERIAL STABILISATION OF UNMANNED AERIAL VEHICLES FOR SECURITY MONITORING
Aleksandr Zaitsev, Sergei Kanushkin 65

YOUNG RESEARCHERS FORUM

LEGAL INFORMATION SUPPORT FOR CIVIL ACTION PROCEEDINGS CONDUCTED BY THE JUSTICE OF THE PEACE
Elena Markina 78

The journal can be subscribed to at post offices through the Press of Russia (Pressa Rossii) Catalogue. Publication index: 34077

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ В ИЕРАРХИЧЕСКОЙ ЭРГАСИСТЕМЕ

Ловцов Д.А.*

Ключевые слова: *переработка информации, иерархическая эргасистема, ситуационное планирование, информационная неопределенность, парето-оптимальность, математические структуры, математическая модель, оптимальная координация, регулярный алгоритм, рандомизированный алгоритм, ситуационная функция выбора.*

Аннотация.

Цель работы: *совершенствование научно-методической базы теории правовой информатики.*

Метод: *системный анализ и математическое моделирование проблемной ситуации принятия решений по организации процессов переработки информации, формально-логическая разработка алгоритмов координационного планирования переработки информации.*

Результаты: *обоснованы принципы координационного планирования процессов переработки информации, предписывающие необходимость учета ситуационных факторов неопределенности при каждом новом решении задачи планирования; определена математическая структура модели проблемной ситуации принятия решений по организации процессов переработки информации в двухуровневой иерархической эргасистеме; разработаны многоэшелонный алгоритм рационального ситуационного планирования переработки информации, регулярные и рандомизированный алгоритмы оптимальной координации решений периферийных элементов, обеспечивающие выработку глобальных парето-оптимальных планов распределения средств, ресурсов и задач переработки информации в иерархической информационно-распределительной сети эргасистемы в условиях информационной неопределенности различного уровня.*

Полученные результаты являются базовыми для создания соответствующего эффективного информационно-математического обеспечения крупномасштабных эргасистем типа интегрированных АСУ объектами ракетно-космической техники, ГАС «Правосудие», ГАС «Выборы» и др.

DOI: 10.21681/1994-1404-2020-3-04-18

Введение

Все крупномасштабные эргасистемы (правовые, технические, экологические и др.) являются иерархическими, что обусловливает необходимость координации ситуационного [6, 10] планирования периферийными элементами эргасистемы процессов переработки информации на базе имеющихся у них штатных аппаратно-программных средств и ресурсов с оптимизацией распределения между периферийными элементами экзогенных (общесетевых) ресурсов для обеспечения информационной эффективности эргасистемы в целом.

С целью адекватного отражения реальных процессов *ситуационного* планирования переработки информации в иерархической эргасистеме, т.е. для реализации количественно обоснованного выбора ситуационного рационального варианта использования аппаратно-программных средств и ресурсов эргасистемы требуется построение специальной *математической модели проблемной ситуации принятия решений*, определяющей формальные шаги (этапы) процессов ситуационного распределения средств, ресурсов и отдельных задач переработки информации (ЗПИ) между периферийными и центральным (координирующим) элементом. А также определяющей стратегии оптимальной координации ситуационного планирования переработки информации в условиях частичной или полной информационной неопределенности.

Решаемая в центральном элементе эргасистемы задача оптимизации координации относится к классу задач многокритериальной оптимизации, которым

* ***Ловцов Дмитрий Анатольевич,*** *доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации, заместитель по научной работе директора Института точной механики и вычислительной техники им. С. А. Лебедева Российской академии наук, заведующий кафедрой информационного права, информатики и математики Российского государственного университета правосудия, Российская Федерация, г. Москва.*

E-mail: dal-1206@mail.ru

присуща неопределенность в выборе цели оптимизации, обусловленная наличием набора противоречивых критериев и трудно формализуемых моделей, таких как, например, модель поведения человека-оператора (в качестве элемента процесса принятия решений). Представляется актуальной разработка алгоритмов решения указанной задачи в условиях различного уровня неопределенности в выборе цели:

при *минимальной неопределенности* в выборе цели оптимизации (с полной информацией о выборе цели) – формулировка таких задач содержит всю информацию о наборе критериев, правил предпочтений и законе изменения этих правил, а алгоритмы решения реализуют регулярные стратегии оптимизации;

при *максимальной неопределенности* в выборе цели оптимизации (с максимально неполной информацией о выборе цели) – в таких задачах часто не удается на этапе постановки сформулировать правила предпочтений и (или) закон изменения этих правил, а алгоритмы выработки решений реализуют *рандомизированные* стратегии оптимизации, причем рандомизация и последующее сглаживание вводятся для построения у лица, принимающего решения (ЛПР), процедур принятия решений (выбора целей оптимизации) [2, 5, 13].

Принципы координационного планирования процессов переработки информации

Задачи ситуационного планирования переработки информации в иерархической эргасистеме входят в класс задач иерархического принятия (выбора) решений, для которых характерен упорядоченный выбор (процедура извлечения некоторого элемента из множества допустимых решений, вариантов, альтернатив) элементов сложной составной альтернативы:

$$W =< W_1, W_2, \dots W_n > \quad (1)$$

где W – план (вариант) распределения ЗПИ, средств и ресурсов, по своей сущности являющийся выбором с мультипредпочтением (с многими отношениями предпочтения $F_\alpha(W), \alpha = 0,1,2, \dots, n$).

Подклассом задач *иерархического выбора* являются задачи *координационного выбора*, связанные с введением координирующих сигналов (между уровнями, содержащими подсистемы принятия решений) с целью решения проблемы адекватного отражения сложных организационно-технических эргасистем. Основные достоинства координационного выбора проявляются в связи с учетом факторов неопределенности и уменьшением их влияния за счет разнесения выбора в пространстве [11, 13].

Координационным называется такой выбор в иерархической системе, при котором подсистема (элемент) верхнего уровня (эшелона) воздействует на подсистему (элементы) нижних уровней посредством координирующих сигналов, влияющих на выбор этих подсистем, что, в свою очередь, определяет и степень достижения цели подсистемой верхнего уровня (координирующим центром).

Таким образом, с содержательной точки зрения основная особенность координационного выбора в эргасистеме состоит в том, что центральный элемент (ЦЭ) достигает своих целей (экстремума своей целевой функции $F_0(W)$) опосредованно, путем соответствующего координирующего воздействия $W_0 =< W_1^0, W_2^0, \dots W_n^0 >$ на периферийные элементы (ПЭ).

Целью координации может быть *сатисфакция*, т.е. ограничение возможностей выбора для ПЭ некоторой удовлетворительной с точки зрения ЦЭ областью (множеством Δ допустимых альтернатив $W_b = W_s =< W_{1s}, W_{2s}, \dots \quad \dots W_{hs} >$) в соответствии с набором ограничений для целевых функций ПЭ $F_x \le F_{xs},\ x = \overline{1,n}$; либо *оптимизация*, т.е. достижение ЦЭ наилучших $W_b = W^* =< W_1^*, W_2^*, \dots, W_h^* >$ в соответствии со своей целевой функцией $F_{\text{ЦЭ}}(W) = F_0(W)$ и структурой (зависящей от факторов неопределенности $\omega \in \Omega$) выбора результатов. Координирующие сигналы $F_x[W(W^0)], x = \overline{1,n}$, выбираемые ЦЭ и сообщаемые им ПЭ, вводятся в целевые функции и (или) в ограничения оптимизационных задач ПЭ. При этом ПЭ производят выбор в соответствии с W_x^0 и своими результирующими отношениями предпочтения $F_{xp}[W_x(W_x^0)], x = \overline{1,n}$, а результирующее отношение предпочтения ЦЭ $F_{op}(W) = F_0[W(W^0)]$, где $W(W^0)$ – *ситуационная функция выбора* (СФВ), определяемая в соответствии с правилами согласования выбора для совокупности ПЭ.

Для рассматриваемого класса задач СФВ определяют выбор элемента W^0 в зависимости от ситуации, характеризуемой конкретными значениями W_x или пары $< W_x, \omega >$. Получение явных аналитических выражений для СФВ $W^0(W_x)$ и $W^0(W_x, \omega)$ не представляется возможным, но их можно определить с помощью табличных представлений или алгоритмически. Последнее означает, что в каждой конкретной ситуации задачу планирования переработки информации нужно решать заново при новых данных $\omega \in \Omega$.

В результате использования СФВ результирующее отношение предпочтения $F_{xp},\ x = \overline{1,n}$ (с учетом того, что W_x выбирается раньше W^0) представляется с помощью функции

$$F_{xp}(W_x) = F_x[W_x, W^0(W_x)], \quad (2)$$

а семейство $F_{xp}(\omega),\ x = \overline{1,n}$ – с помощью функций вида:

$$F_{xp}(W_x, \omega) = F_x[W_x, W^0(W_x, \omega)] \quad (3)$$

или

$$F_{xp}(W_x, \omega) = F_x[W_x, W^0(W_x, \omega), \omega]. \quad (4)$$

Для (2) при условии, что решение *задачи минимизации* существует, имеем:

$$W_x^* = \text{Argmin}\, F_x\, [W_x, W^0(W_x)]. \quad (5)$$

Для (3) и (4) при условии, что на множестве Ω неопределенностей задана вероятностная мера Q, введем осредненные результирующие отношения предпочтения с помощью функций:

$$F_{xp}(W_x) = M_W\,\{F_x[W_x^0(W_x,\omega)]\} \quad (6)$$

или

$$F_{xp}(W_x) = M_W\,\{F_x[W_x, W^0(W_x,\omega),\omega]\}, \quad (7)$$

где M_W– символ операции математического ожидания.

Тогда решения, соответственно, запишутся в виде:

$$W_x^* = \underset{W_x\in\Delta_x}{\mathrm{Argmin}}\ M_W\ \{F_x[W_x, W^0(W_x,\omega)]\}, \quad (8)$$

$$W_x^* = \underset{W_x\in\Delta_x}{\mathrm{Argmin}}\ M_W\ \{F_x[W_x, W^0(W_x,\omega),\omega]\}. \quad (9)$$

Для (4) возможна ситуация, когда никакие характеристики для множества Ω не вводятся. Тогда путями снятия неопределенности являются использование принципов *минимакса* и *минимина* и получения решений вида:

$$W_x^* = \underset{W_x\in\Delta_x}{\mathrm{Argmin}}\ \max_{\omega\in\Omega} F_x\ [W_x, W^0(W_x,\omega),\omega], \quad (10)$$

$$W_x^* = \underset{W_x\in\Delta_x}{\mathrm{Argmin}}\ \min_{\omega\in\Omega} F_x\ [W_x, W^0(W_x,\omega),\omega]. \quad (11)$$

Математическая структура модели проблемной ситуации

Изучение технологических процессов переработки информации (ТППИ) в иерархических эргасистемах [3] с использованием информационно-математических методов неизбежно приводит к исследованию соответствующих *математических структур* принятия (выбора) решений. В теории математических структур[1] [13] понятие рода математической структуры принятия решений, заданного на шкале множеств, определяется в виде следующей математической конструкции:

$$< \sum, \{\Delta_x\}_{x\in X}, \{\Delta_h^0\}_{h\in H}, \{\Lambda_l\}_{l\in L}, \{\mathrm{Y}_a\}_{a\in\Gamma}, \{\mathrm{Y}_b^*\}_{b\in\Gamma^*}, \boldsymbol{A}\ > , \quad (12)$$

где $\sum$ – род исходной математической структуры, с которым определённым образом связываются множества элементов (альтернатив) выбора, что обусловливает введение *косвенных*, вводимых с помощью специальных математических конструкций α– и β– ограничений (в отличие от прямых ограничений, вводимых непосредственным перечислением границ или характерных свойств допустимых альтернатив выбора, таких, как *целочисленность, булевость, положительность* и др.) при конкретизации математической структуры; α– ограничения *первого* рода, задаваемые функционально-операторным (в виде равенств и неравенств) или аксиоматическим (на языке исчисления предикатов) способами; β– ограничения *второго* рода, задаваемые типовыми (структурными) характеристиками (путём введения графовой или логико-алгебраической структуры и др.);

$\{\Delta_x\}_{x\in X}$ – множество, принадлежащее к совокупности основных базисных множеств элементов (альтернатив) выбора; в числе базисных множеств содержатся ситуационные множества случайных элементов $\{\Omega_y\}, y = 1,2,3,\ldots$, учитывающих факторы неопределённости;

$\{\Delta_h^0\}_{h\in H}$ – множество из совокупности вспомогательных базисных множеств элементов выбора;

$\{\Lambda_l\}_{l\in L}$ – вспомогательное базисное множество (шкала) оценок, вводимое в случае, если предусматриваются оценки, т.е. задаются отношения предпочтения с помощью функции полезности (целевой функции или функционала) F на соответствующей входной Y_a или выходной $\mathrm{Y}_b{}^*$ ступени (обычно $\Lambda_l = E_l$, где E_l – одномерное евклидово пространство);

$\{Y_a\}_{a\in\Gamma}, \{\mathrm{Y}_b^*\}_{b\in\Gamma^*}$ – схемы конструкции соответственно a-й входной и b-й выходной ступеней шкалы множеств выбора, строящихся над базисными множествами с помощью операций взятия декартовых произведений и булеанов по определённым правилам;

$\boldsymbol{A}$ – аксиоматика, постулирующая свойства исходных (входных) отношений предпочтения, задаваемых на входных ступенях и правила построения на выходных ступенях результирующих (выходных) отношений предпочтения или (и) результирующих функций выбора с учетом связей с математической структурой рода Σ.

Конкретизация выражения (12) для практической задачи планирования процесса переработки информации в двухуровневой иерархической *информационно-распределительной сети* (ИРС) эргасистемы на основе координации выбора оперативного рационального плана распределения аппаратно-программных средств переработки информации приводит к соответствующей *конкретной математической структуре* выбора со следующими компонентами (математическими свойствами)[2] [8]:

n базисными множествами

$\Delta_1 = \{W_1\},\ \Delta_2 = \{W_2\}, \ldots, \Delta_n = \{W_n\},$

$\Delta_x = \Delta_a\ \ (a\in\Gamma, x\in X, x = a = \overline{1,n});$

одним вспомогательным базисным множеством координирующих сигналов (элементов выбора) $\Delta_{h=1}^0 = \Delta^0 = \{W^0\};$

$n+1$ ситуационными множествами неопределенности $\Omega_0 = \{\omega_0\},\ \Omega_1 = \{\omega_1\},\ \Omega_2 = \{\omega_2\}, \ldots,$ $\Omega_n = \{\omega_n\};$

$n+1$ входными ступенями шкалы множеств вида:

а) $Y_0 = \Delta = \Delta_1\times\Delta_2\times\ldots\times\Delta_{nx} = \prod\Delta_x$ – входная ступень, на которой задается исходное отношение предпочтения ЦЭ с помощью функции $\mathrm{F}_0(W) = F_0(W_1, W_2, \ldots, W_n);$

б) $Y_a = \Delta^0\times\Delta_a\ (a\in\Gamma, a = \overline{1,n})$ – входные ступени, на которых задаются исходные отношения предпочтения ПЭ с помощью функций $F_a(W^0, W) = F_a(W_a^0, W_1, \ldots, W_n);$

$n+1$ выходными ступенями шкалы множеств вида:

а) $Y_0^* = \Delta^0\times\Omega_0$ – выходная ступень ЦЭ, на которой строится результирующее отношение предпочтения в виде:

[1] Бурбаки Н. Теория множеств. М.: Мир, 1965. 455 с.

[2] *См.*: Ловцов Д. А. Введение в информационную теорию АСУ: Монография. М.: ВА им. Петра Великого, 1996. 434 с.

$F_{op}(W,\omega) = F_0\{W[W^0(\omega_0),\omega)]\}$;

б) $Y_b^* = \Delta_b \times \Omega_b$ $(b \in \Gamma^* = \Gamma,\ b = a = \overline{1,n})$ – выходные ступени ПЭ, на множестве которых, точнее, на множестве $\Gamma^* = \{0,1,2,\dots,n\}$, введено отношение линейного частичного строгого порядка, которому удовлетворяют пары $< 0, x >$. Последнее означает, что ЦЭ первым выбирает координирующий сигнал в виде кортежа $W^0 =< W_1^0, W_2^0, \dots, W_n^0 >$, который он сообщает (в части касающейся, т.е. W_b^0, $b = \overline{1,n}$) ПЭ, производящим выбор на выходных ступенях Y_{b^*} в соответствии с W_{b^*} и своими результирующими отношениями предпочтения:

$$F_p(W^0, W, \omega) = P\{[F_b(W^0, W, \omega)],\ \ b = \overline{1,n}\} \quad (13)$$

где P – правило взаимодействия ПЭ.

В процессе целевого функционирования СДО в эргасистеме решаются задачи выбора кортежных альтернатив:

$$W =< W_1, \dots, W_n > \in \Delta = \Delta_1 \times \Delta_2 \times \dots \times \Delta_n, \quad (14)$$

$$W^0 =< W_1^0, \dots, W_n^0 > \in \Delta^0 = \Delta_1^0 \times \Delta_2^0 \times \dots \times \Delta_n^0, \quad (15)$$

где W_b, $b = \overline{1,n}$, – основное решение для b-го ПЭ; W_b^0 – ресурс, выделяемый b-му ПЭ.

Целевая функция эргасистемы:

$$F_p(W^0, W, \omega) = P\{[F_b(W^0, W, \omega)],\ \ b = \overline{1,n}\} \quad (16)$$

ограничения:

$$W^0 \in \Delta^{0*}(\omega), \quad \Delta^{0*}(\omega) \subseteq \Delta^0; \quad (17)$$

$$< W^0, W > \in \Delta', \quad \Delta' \subseteq \Delta^0 \times \Delta; \quad (18)$$

$$W \in \Delta_{\alpha\beta}(\omega), \quad \Delta_{\alpha\beta}(\omega) \subseteq \Delta. \quad (19)$$

Ограничения (17), (18) связаны с распределением *общего* (экзогенного) ресурса по ПЭ, причем в (17) учитывается влияние возмущений $\omega = \omega_0 \times \Omega$ на выбор ЦЭ; (19) – связано с условиями функционирования ПЭ, на которые воздействуют возмущающие факторы:

$$\omega_j =< \omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n > \in \Omega_1 \times \Omega_2 \times \dots \times \Omega_n, j = 1,2, \dots, \quad (20)$$

кроме того, Δ – множество, учитывающее косвенные α-, β-ограничения.

Возмущающие факторы $i = 0,1,2,\dots,n$; $j = 1,2,\dots$, в частности, можно учесть для конкретной ситуации принятия решения в виде дополнительных косвенных ограничений, задаваемых, если это возможно, перечисленными в (12) способами. При этом причинами возмущений могут явиться технические неисправности средств переработки информации; команды ЦЭ и вышестоящих инстанций и лиц; радиоэлектронная обстановка в районе элементов эргасистемы: вопросы электромагнитной совместимости и др.

Для перехода от данной конкретной *математической структуры* к структуре математической модели ситуации принятия решений по организации переработки информации в иерархической эргасистеме введем *предположения*:

– ПЭ полномочны принимать основные решения $W_b \in \Delta_b$ в условиях знания воздействия возмущающих факторов $\omega_0 \in \Omega_0$;

– ЦЭ выполняет функции распределения экзогенного ресурса $W^0 \in \Delta^{0*}(\omega)$, который рассматривается как кортеж координирующих сигналов $< W_1^0, W_2^0, \dots, W_n^0 >$ в условиях знания возмущающего воздействия $\omega_0 \in \Omega_0$;

– главная (глобальная) целевая функция:

$$F_0(W,\omega) = F_0\{F_1[W_1^0(\omega_0), W_1, \omega_1], \dots, \dots, F_n[W_n^0(\omega_0), W_n, \omega_n]\}; \quad (21)$$

– ограничения, за исключением $W^0 \in \Delta^{0*}(\omega)$, являются распадающимися и заменяются следующей эквивалентной системой ограничений:

$$< W_b^0, W_b > \in \Delta_b^0 \times \Delta_{b\alpha\beta},\ \ W_b \in \Delta_{b\alpha\beta}(\omega),\ \ b = \overline{1,n}, \quad (22)$$

т.е. ПЭ в своем выборе независимы по отношению друг к другу; решение каждой локальной оптимизационной задачи $F_b(W_b^0, W_b, \omega)$, решаемой ПЭ, существует и единственно.

В результате СФВ периферийных элементов определяются из соотношения:

$$W(W^0,\omega) = \langle \underset{W_1 \in \Delta_{1\alpha\beta}(\omega)}{\mathrm{Argmin}}\ F_1(W_1^0, W_1), \dots, \underset{W_n \in \Delta_{n\alpha\beta}(\omega)}{\mathrm{Argmin}}\ F_n(W_n^0, W_n)\rangle \quad (23)$$

или, точнее, из соотношения:

$$W(W^0,\omega) = \langle \underset{W_1 \in \Delta_1^*(W_1^0,\omega_1)}{\mathrm{Argmin}}\ F_1(W_1), \dots, \underset{W_n \in \Delta_n^*(W_n^0,\omega_n)}{\mathrm{Argmin}}\ F_n(W_n)\rangle, \quad (24)$$

$$\Delta_b^*(W_b^0, \omega_b) = \{W_b \mid < W_b^0, W > \in \Delta_b^0 \times \Delta_{b\alpha\beta},\ W_b \in \Delta_{b\alpha\beta}(\omega_b)\}, \quad (25)$$

а оптимальный координирующий сигнал (оптимальное распределение ресурса по ПЭ, т.е. аппаратно-программных средств переработки информации) находится из:

$$W^{0*} = \underset{W^0 \in \Delta^{0*}(\omega)}{\mathrm{Argmin}}\ F_0[W(W^0,\omega)] = \underset{W^0 \in \Delta^{0*}(\omega)}{\mathrm{Argmin}}\ F_0\{F_1[W_1^0(\omega_0), W_1, \omega_1], \dots, F_n[W_n^0(\omega_0), W_n, \omega_n]\}. \quad (26)$$

Принципиальную возможность решения ЦЭ многокритериальной задачи поиска W^{0*} предлагается обеспечить на основе агрегирования (свертки) локальных ЦФ (ЛЦФ), причем возможными видами глобальной ЦФ $F_0[W(W^0,\omega)$ могут, в частности, выступать свертки типа[3] [8, 13]:

– сумма ЛЦФ:

$$F_{01}{}^{(\Sigma)} = \sum_{x=1}^{n} F_x[W_x^0(\omega), W_x, \omega_x]; \quad (27)$$

– сумма взвешенных ЛЦФ:

$$F_{02}{}^{(\Sigma)} = \sum_{x=1}^{n} \lambda_x F_x[W_x^0(\omega_0), W_x, \omega_x]; \quad (28)$$

– произведение взвешенных степеней ЛЦФ:

$$F_{03}{}^{(\Pi)} = \prod_{x=1}^{n} (F_x[W_x^0(\omega_0), W_x, \omega_x])^{\vartheta_x}; \quad (29)$$

– сумма взвешенных степеней ЛЦФ:

[3] Ловцов Д. А., Семеряко И. И. Имитационное моделирование выработки решений в АСУ. М.: ВА им. Петра Великого, 1989. 235 с.

$$F_{04}{}^{(\Sigma)} = \sum_{x=1}^{n} \lambda_x (F_x[W_x^0(\omega_0), W_x, \omega_x])^{\vartheta_x}; \qquad 30)$$

– сумма степеней взвешенных ЛЦФ:

$$F_{05}{}^{(\Sigma)} = \left\{ \sum_{x=1}^{n} (\lambda_x F_x[W_x^0(\omega_0), W_x, \omega_x])^{\gamma} \right\}^{1/\gamma}; \qquad (31)$$

– сумма взвешенных отклонений ЛЦФ:

$$F_{06}{}^{(\Sigma)} = \sum_{x=1}^{n} \lambda_x (F_x - F_x^*), \qquad (32)$$

где

$$\lambda_x, \vartheta_x, x = \overline{1,n};\ \lambda_x \geq 0;\ \sum_{x=1}^{n} \lambda_x = 1;\ \vartheta_x \geq \geq 0;\ \sum_{x=1}^{n} \vartheta_x = 1 \qquad (33)$$

– приоритетные (весовые) коэффициенты и показатели, определяемые методом экспертных оценок, назначением или на основе сопоставления вектора значений ЛЦФ (вектора оценок) $F = \|F_1, F_2, \dots, F_n\|^{\mathrm{T}}$ с вектором, получаемым в результате тех или иных перестановок компонент F. В последнем случае формируются *правила*, позволяющие использовать информацию от ЛПР для определения равноценности и превосходства ЛЦФ, а также для определения степени превосходства.

В результате вводится система равенств и неравенств, позволяющих существенно уменьшить произвол в назначении коэффициентов, λ_x, ϑ_x (веса λ_x существуют по лемме С. Карлина для любого эффективного решения выпуклой задачи[4]); γ – произвольное, фиксированное положительное число, причем $\gamma > \gamma_{\text{п}}$ – порогового значения $(\gamma_{\text{п}} \geq 1)$, определяемого в результате решения сложных оптимизационных задач, или приближенно в каждом конкретном случае построения множества Парето [12] на основе $F_{05} \to \min$ в семействе тестовых задач, увеличивая при этом значение γ в (31) до тех пор, пока во всех тестовых задачах будут выявлены все паретовские точки; F_x^*, $x = \overline{1,n}$, – некоторые базовые значения, с которыми сравниваются оптимизируемые ЛЦФ.

Основные способы нормализации неоднородных (имеющих различную размерность) ЛЦФ в (27) можно представить следующим образом:

$$F_{x\,\max} - F_x(W^{\text{o}}, W);\quad F_x(W^{\text{o}}, W) - F_{x\,\min};$$

$$F_x(W^{\text{o}}, W) - F_{x\,\max};$$

$$\frac{F_{x\max} - F_x(W^{\text{o}}, W)}{F_{x\max}};\ \frac{F_{x\max} - F_x(W^{\text{o}}, W)}{F_{x\max} - F_{x\min}}; \qquad (34)$$

$$\frac{F_x(W^{\text{o}}, W) - F_{x\min}}{F_{x\max} - F_{x\min}}$$

В частности, когда ЛЦФ неоднородны, и одна часть $(x = \overline{1,k})$ ЛЦФ подлежит *максимизации*, а другая $(x = \overline{k+1,n})$ – *минимизации*, в качестве ГЦФ можно использовать относительную суммарную потерю всех ЛЦФ при выборе компромиссного решения:

$$F_0(W) = \sum_{x=1}^{k} \frac{F_{x\max}(W) - F_{x\max}(W^*)}{F_{x\max}(W^*)} + \sum_{x=k+1}^{n} \frac{F_{x\min}(W^*) - F_{x\min}(W)}{F_{x\min}(W^*)}$$

Недостаток, который присущ всем способам свертки, состоит в том, что при решении задачи оптимизации ГЦФ вклад каждой ЛЦФ в общий итог неразличим. При этом возможны ситуации, когда улучшение одной или нескольких ЛЦФ осуществляется в ущерб остальным, что не отражается на значении ГЦФ. В настоящее время существуют различные способы устранения данного недостатка, которые состоят в усложнении вида свертки или введении в нее значений $\lambda_x(F_x)$, зависящих от значений ЛЦФ и др. Однако пока не найдено эффективных методов, с помощью которых удается полностью устранить указанный недостаток.

Относительные убытки по различным ЛЦФ (другими словами, положение решения в области Парето) определяются не только значениями λ_x, $x = \overline{1,n}$, в ГЦФ, но и параметрами моделей (типа «вход – выход»), описывающих исходную задачу. И если для простой задачи вид такой зависимости определить сравнительно просто, то в случае сколько-нибудь сложных нелинейных моделей данный вопрос решать гораздо трудней, а часто и невозможно [4].

В общем виде проблема свертки ЛЦФ в скалярную ГЦФ формулируется как задача построения монотонной или выпуклой функции

$$Y[F_0(W)] = Y\{F_1(W), F_2(W), \dots, F_n(W)\}, \qquad (35)$$

отвечающей некоторым целям компромисса (глобальным целям оптимизации). В [13] сформулированы условия и доказывается теорема об их необходимости и достаточности для того, чтобы (35) была представлена в форме (28).

Семейство сверток, из которого выбирается конкретный набор сверток, должно удовлетворять следующим требованиям[5] [12]:

оптимум любой свертки из семейства принадлежит множеству Парето – *неизбыточность*;

для любой паретовской точки найдется свертка, оптимум которой как угодно близок к данной точке – *достаточность*.

Решения, получаемые с применением сверток видов (27) – (32), оптимальны по Парето. Однако применение агрегированных ГЦФ видов (29) – (32) гарантирует получение всех точек Парето в исследуемой многокритериальной дискретной задаче, а ГЦФ видов (27), (28) – не дает такой гарантии (в силу их линейности).

Предпочтение к виду $F_0(W, \omega)$ может исходить с учетом сказанного из практического опыта их применения, наличия необходимой априорной информации, а также из правила P взаимодействия ПЭ. В последнем

[4] Карлин С. Математические методы в теории игр, программировании и экономике. М.: Мир, 1964. 838 с.

[5] Кузин Л. Т. Основы кибернетики: В 2-х т. Т. 1. Математические основы кибернетики. М.: Энергия, 1973. 502 с. Т. 2. Основы кибернетических моделей. М.: Энергия, 1979. 584 с.

случае ЛЦФ являются взаимозависимыми, что проявляется в зависимости важности ЛЦФ от принимаемых ими значений, определяемых, в свою очередь, выбираемой альтернативой . При этом

$$F_{op}(W,\omega) = F\{\lambda(W), F_0(W), \omega\}, \quad (36)$$

где $\lambda(W)$ – неизвестная функция от W.

Для определения значений $\lambda(W)$ необходимо построение диалоговой (человеко-машинной) системы оптимизации, в которой по мере решения оптимизационной задачи на каждом æ-шаге определяется $F_0(W)$, и в соответствии с этим от ЛПР получается информация для определения $\lambda(W)$.

Кроме того, для обеспечения корректности и полноты формулировки многокритериальной оптимизационной задачи, решаемой ЦЭ, требуется введение *ограничений* (условий), которыми следует руководствоваться при оптимизации отдельных ЛЦФ ПЭ:

правил предпочтения, определяющих способ установления компромисса между противоречивыми требованиями, выдвигаемыми необходимостью минимизировать все ЛЦФ одновременно;

закона изменения правил предпочтения, устанавливающего правила перехода к новым правилам предпочтения на $(æ+1)$-шаге поиска решения, если на предыдущем æ-м шаге решение отсутствует.

Первые условия вводятся в виде соотношений:

$$\Delta F_x/\Delta F_{x+1} = \sigma_x, \quad x = \overline{1, n-1} \quad (37)$$

или

$$\Delta F_x/\Delta F_x{}^* = \sigma_x, \quad x = \overline{1, n}, \quad (38)$$

или

$$\Delta F_x \le \Delta F_x{}^*, \quad x = \overline{1, n}, \quad (39)$$

где ΔF_x – величина отклонения от оптимального значения x-й ЛЦФ; σ_x – заданные (заранее) пропорции, в которых осуществляется минимизация ЛЦФ по отношению друг к другу (37) или в отношении некоторого иного базового значения $\Delta F_x{}^*$ (38).

Выражение (39) определяет область U компромиссов, внутри которой либо все решения $W(W^0) \in \Delta_{\alpha\beta}$ считаются равноценными, либо минимизируется дополнительный $n+1$ критерий J. В последнем случае на множестве U решается дополнительная оптимизационная задача:

$$J: F_{n+1}[W(W^0)] \to \min_{W(W^0)\in U} \quad (40)$$

$$U = \{W(W^0) | F_x \le F_x{}^*, \ W(W^0) \in U \quad \forall x\}. \quad (41)$$

Закон изменения правил предпочтения, т.е. закон изменения σ_x, $F_x{}^*$, в (37), (38), (39), (41) устанавливает, на какую величину следует уменьшить или увеличить σ_x, $F_x{}^*$, перед каждым последующим шагом поиска решения. Закон изменения σ_x и $F_x{}^*$ может быть более сложным, если при отсутствии решения при первоначально заданных значениях σ_x, $F_x{}^*$ одни из коэффициентов могут уменьшаться, другие – увеличиваться.

Итак, получена *математическая структура* (23) – (26) модели проблемной ситуации принятия решений по организации процесса переработки информации в двухуровневой иерархической эргасистеме, определен *способ* (агрегирование ЛЦФ ПЭ с применением (27) – (32)) и рассмотрены *особенности* (использование приоритетных (p_x) коэффициентов $\lambda = \varphi(p_x)$, $p = \overline{1, m}$; $x = \overline{1, n}$, введение правил предпочтения и закона их изменения) решения в ЦЭ многокритериальных оптимизационных задач координации для обеспечения согласования локальных решений ПЭ с ГЦФ вида (21).

Многоэшелонный алгоритм рационального ситуационного планирования переработки информации в эргасистеме

На основе сказанного, а также с учетом структурно-функциональных особенностей ИРС эргасистем и специфики ситуационного планирования процессов переработки информации разработана многоуровневая процедура (алгоритм) координационного стохастического выбора рационального плана (решения $<W^*, W^{0*}>$) распределения задач и ресурсов в иерархической ИРС (рис. 1):

Шаг 1. Задание и ввод ситуационных исходных данных (СИД): множеств Δ, Δ^0, Ω_0, Ω; приоритетных коэффициентов $\lambda = \varphi(p_x)$, $x = 1, n$; правил предпочтения (ПП) и закона их изменения; удовлетворительного (сатисфакционного) значения F_{0S} ГЦФ; максимально допустимого времени T_p принятия решения (блок 1).

Шаг 2. Определение (в ЦЭ) ситуации, характеризуемой возмущающим воздействием $\omega_0 \in \Omega_0$, и формирование соответствующего множества $\Delta^{0*}(\omega_0) \in \Delta^0$ альтернативных координирующих сигналов (бл. 2, 3).

Шаг 3. Выбор начального (на первой итерации $æ = 1$) или коррекция текущего (при $æ > 1$) значения $W^0 = W^0(\lambda) \in \Delta^{0*}(\omega_0)$ сетевого координирующего сигнала (бл. 4 – 7).

Шаг 4. Определение (в ПЭ) ситуаций, характеризуемых возмущающими воздействиями ω_x, $x = \overline{1, n}$, и формирование соответствующего сетевого множества $\Delta_{\alpha\beta}(\omega) \subseteq \Delta$ основных решений (бл. 8, 9).

Шаг 5. Получение СФВ (решения) $W \in \Delta_{\alpha\beta}(\omega)$ (бл. 10, 11).

Шаг 6. Построение и расчет ГЦФ $F_0 = F_0\{W[\lambda(p_x)], \omega\}$ (бл. 12).

Шаг 7. Проверка на удовлетворительность (оптимальность): $F_0(W,\omega) \le F_{0S}$ и своевременность: $æT_x < T_p$ (T_x – среднее время итерации) полученного глобального плана $< W^*, W^{0*} > \in \Delta_{\alpha\beta}(\omega) \times \Delta^{0*}(\omega)$ и вывод результатов планирования (бл. 15).

Согласно данному многоуровневому (многоэшелонному) алгоритму оптимизации процедура выбора пары $< W^*, W^{0*} >$ носит итерационный характер: ЦЭ, получая информацию относительно решений $W_b^* \in \Delta_b(\omega_b), b = \overline{1, n}$ (оптимальных планов распределения ЗПИ) ПЭ и решая затем многокритериальную задачу оптимизации координации, подбирает для данных конкретных возмущающих воздействий

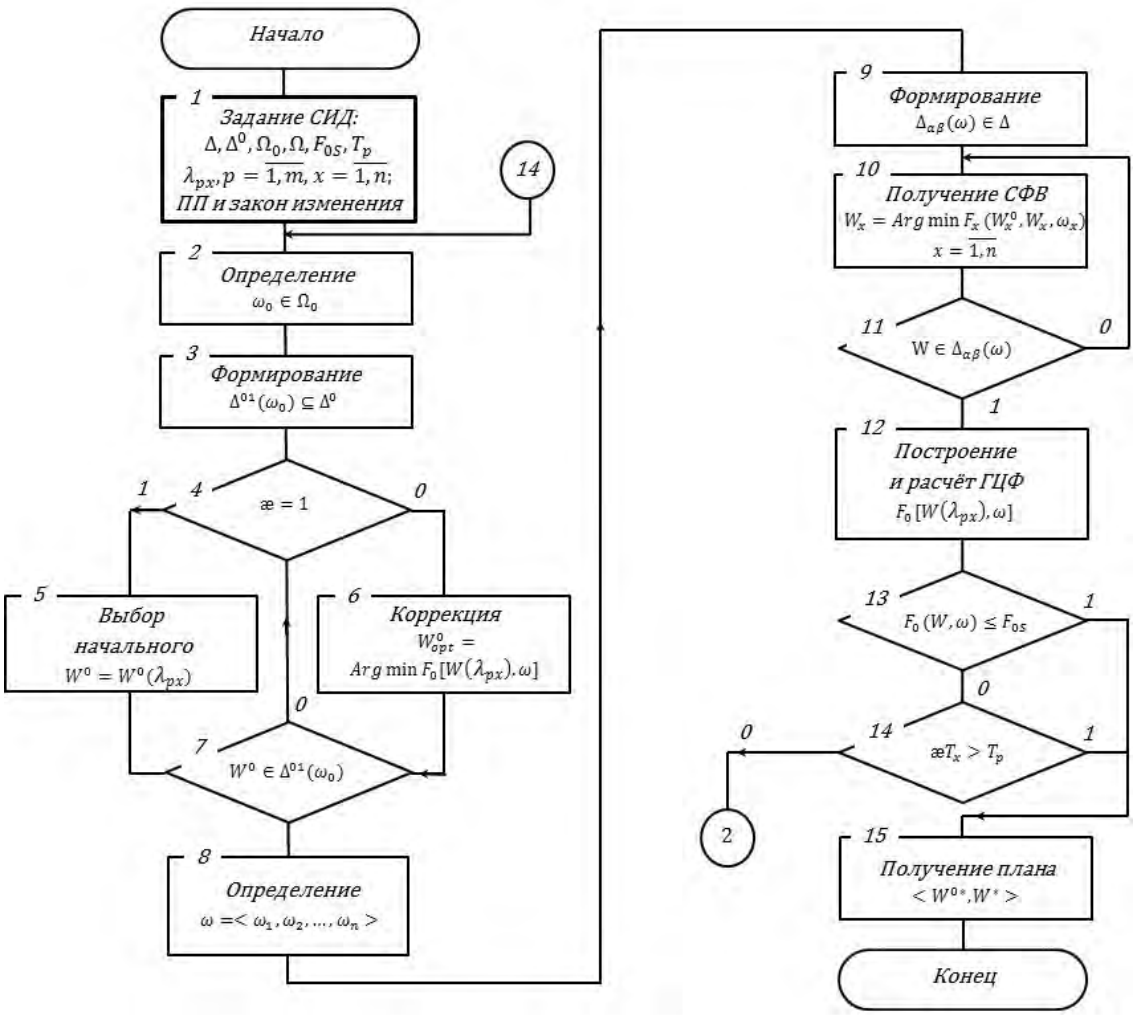


Рис. 1. Схема многоэшелонного алгоритма ситуационного планирования ТППИ в иерархической сети эргасистемы

$\omega_0 \in \Omega_0$ оптимальный координирующий сигнал W^{0*} (оптимальный план использования сетевых аппаратно-программных средств и ресурсов переработки информации), т.е. организуется итерационный процесс координации с целью коррекции W^{0*}. Сходимость алгоритма обеспечивается использованием конечных множеств и значений исходных данных.

Таким образом, рассмотрена *модель проблемной ситуации* принятия организационно-технических решений по планированию процессов переработки информации в иерархической ИРС эргасистемы, в структуру которой (см. (23) – (26)) введены координирующие сигналы между уровнями ИРС, содержащими подсистемы принятия решения, а алгоритм предписывает итерационный процесс выбора рационального решения.

Согласно данной модели оптимизацию ситуационного планирования переработки информации в иерархической ИРС эргасистемы следует осуществлять на двух эшелонах иерархии сети поэтапно:

– в ЦЭ оптимизировать координацию ПЭ по принципу согласования взаимодействий (предусматривающему модификацию ЛЦФ $F_x(W_x^0, W_x, \omega_x), x = \overline{1,n}$ ПЭ с помощью координирующих параметров W^0, задаваемых ЦЭ) на основе минимизации многомерной ГЦФ $F_0 = F_0\{W[\lambda(p_x)], \omega\}$ с учетом приоритетных коэффициентов $\lambda(p_x), x = \overline{1,n};\ p = \overline{1,m}$ ЛЦФ и складывающихся ситуаций;

– в ПЭ оптимизировать принятие основных решений (включающих решения на разбиение множества ЗПИ по уровням иерархии ИРС эргасистемы и на упорядочение одноуровневых ЗПИ) на основе минимизации одномерных ЛЦФ $F_x(W_x^0, W_x, \omega_x), x = \overline{1,n},$ с учетом складывающихся ситуаций и координирующих параметров W^0.

Регулярные алгоритмы оптимальной координации решений периферийных элементов

Вначале допустим, что имеется вся информация, необходимая для решения задачи координации в ИРС, т.е. заданы:

– набор локальных целевых функций

$$F_x[W(W^0)], x = \overline{1,n}; \tag{42}$$

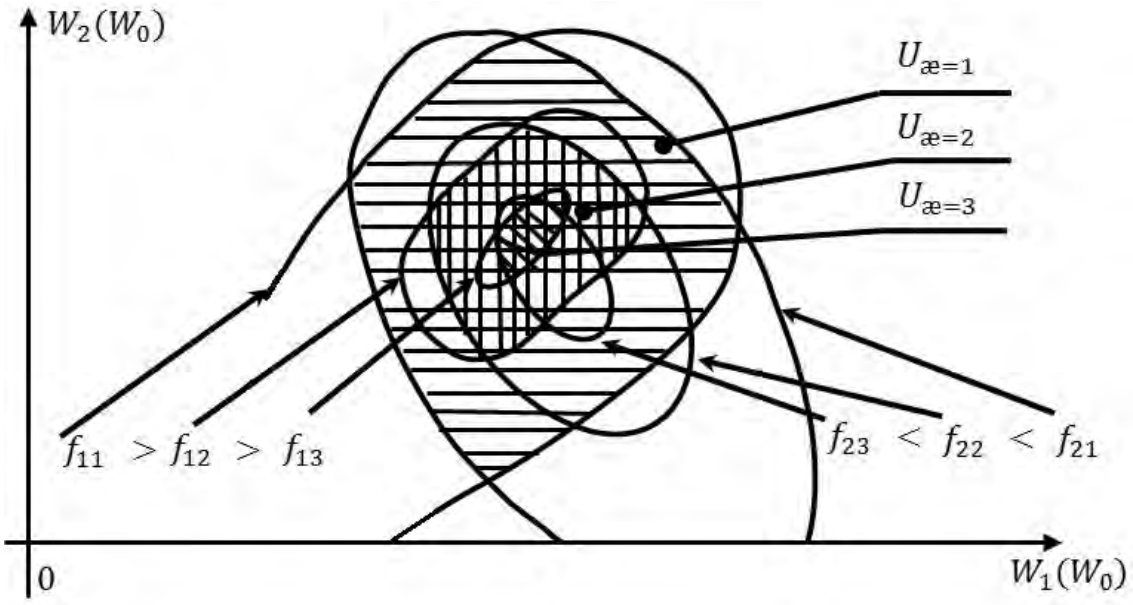


Рис. 2. Геометрическая интерпретация сужения парето-оптимальной области в ходе решения задачи координации

– парето-оптимальная область U в виде ограничений $F_x < F_x^*, x = \overline{1,n},$ (43)

где F_x^* – оптимальные значения ЛЦФ, полученные при их минимизации в периферийных элементах без учета остальных ЛЦФ (для аналогичного случая в [4] предлагается строить $\lambda_x = 1/F_x^*$, называя такой подход равномерным приближением к вектору $F_0^* = \{F_1^*, \dots, F_n^*\}$ в пространстве ЛЦФ);

– правило изменения значений F_x^* $\forall x$::

$$(F_x^* \ \forall x)_{æ} \to \{F_x^* \ \forall x\}_{æ+1}. \quad (44)$$

в случае, если при предыдущих величинах F_x^* (на $æ$-й итерации) область $U = \emptyset$.

Требуется найти решение $W^*(W^0)$, обеспечивающее попадание конца вектора $F_x[W^*(W^0)] = \{F_1[W_1^*(W^0)], \dots, F_n[W_n^*(W^0)]\}$ в область U.

Нужная информация (вид свертки, наличие соответствующей терминальной фреймовой[6] сети в информационной базе эргасистемы [7, 8], выражения для правил предпочтения и закона их изменения и др.) или способ ее получения восстанавливается на этапе постановки с участием ЛПР.

Пусть f_x – коэффициенты, отражающие степень близости ЛЦФ $F_x, x = \overline{1,n},$ к своим оптимальным значениям F_x^* и убывающие (в случае минимизации всех ЛЦФ) с ростом $æ$, где $æ$ – номер итерации поиска экстремума (рис. 2). Убывание $f_{x,æ}$ (с ростом $æ$) до предельных значений f_x^*:

$$\lim_{x\to\infty}(f_{x,æ}) = f_x^* \ \forall x \quad (45)$$

характеризует собой ужесточение требований к каждой ЛЦФ, а различный темп убывания Δf_x отдельных коэффициентов $f_{x,æ}$ реализует (в алгоритме) заданное правило предпочтения.

Таким образом, заданные правила предпочтения реализуются при помощи соответствующего выбора начальных значений $f_{x,1}(æ = 1)$, темпа убывания Δf_x и конечных значений параметров f_x^*, $x = \overline{1,n}$. Изменению правил предпочтения соответствует изменение части или всех этих параметров. Применяя матричную запись, правила предпочтения можно полностью задать при помощи $[n \times l]$-матрицы предпочтений (МП) M, где n – число ЛЦФ, а l – количество параметров управления решением (например, три параметра $f_{x,1}, \Delta f_x, f_x^*$).

Тогда закон изменения правил предпочтения можно задать некоторым набором МП: $M_1, M_2, \dots, M_\psi$ или некоторым соотношением X, при помощи которого осуществляется переход от одного правила предпочтения к другому:

$$M_{æ+1} = X(M_{æ}). \quad (46)$$

Если $X(M_{æ})$ представляет собой линейное преобразование (при помощи $[n \times n]$-матрицы B) $M_{æ}$ в $M_{æ+1}$, тогда, сформировав из столбцов матриц $M_{æ}$ и $M_{æ+1}$ (приписав их один под другим) составные векторы $y_{æ+1}$ и $y_{æ}$, можно записать

$$y_{æ+1} = (B \otimes I)y_{æ} = \bar{B} \ y_{æ}, \quad (47)$$

где I – единичная матрица; $\otimes$ – знак прямого произведения матриц.

Зависимость X может иметь более сложный вид [4]:

$$y_{æ+1} = B^n y_{æ} + B^{n-1} y_{æ} + \dots + y_{æ}. \quad (48)$$

Однако при больших значениях n и l даже для восстановления оператора B в (47) требуется получение значительной информации от ЛПР, поэтому более сложные выражения, как, например, (48), использовать на практике нецелесообразно.

[6] Поспелов Д. А. Логико-лингвистические модели в системах управления. М.: Энергоиздат, 1981. 232 с.

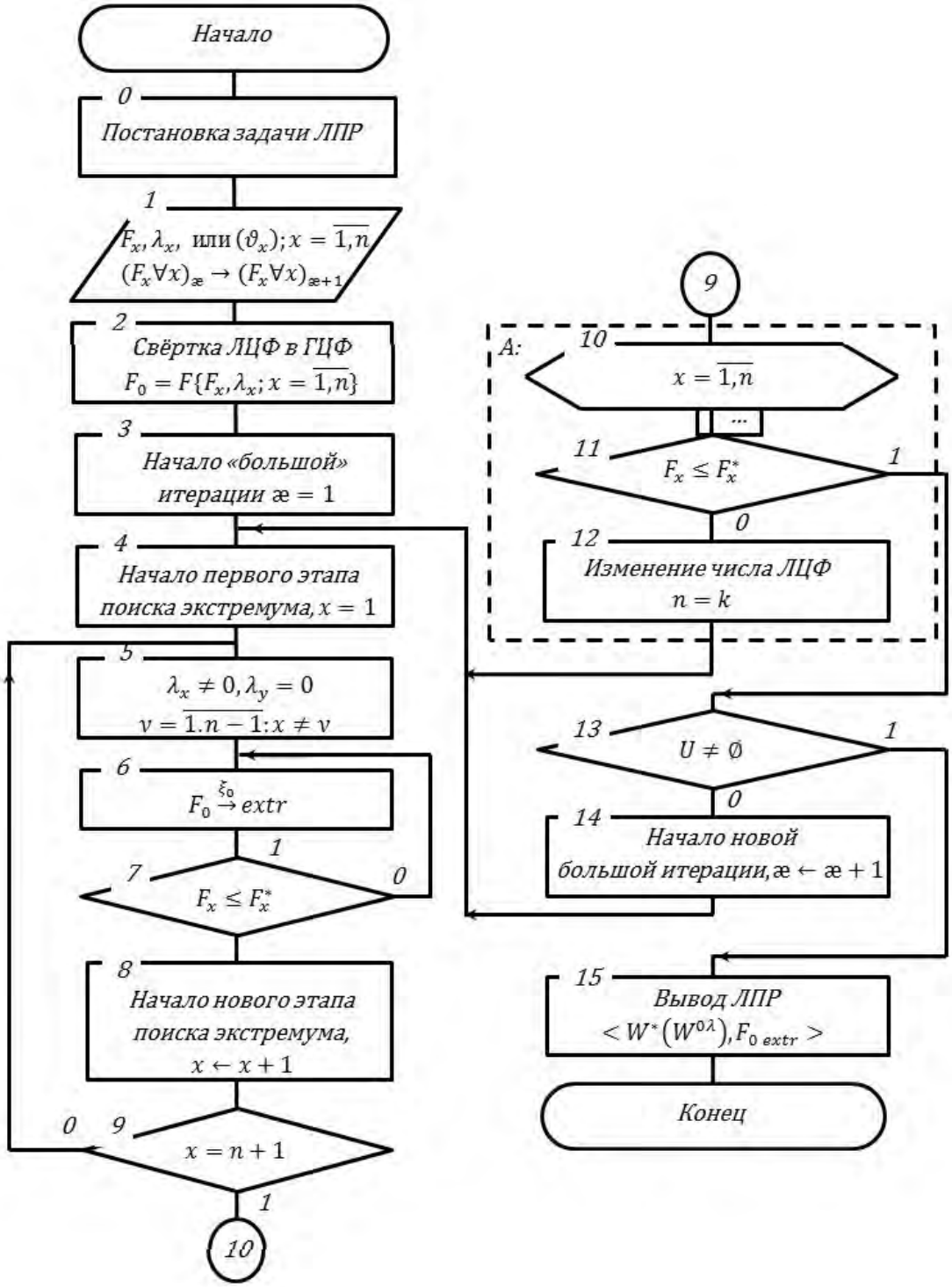


Рис. 3. Схема регулярного алгоритма координации решений периферийных элементов в иерархической сети эргасистемы

На этапе решения сформулированной оптимизационной задачи нет необходимости привлекать оператора (ЛПР), процесс решения полностью автоматизируется, а неопределенность в выборе цели оптимизации состоит в том, что цель оптимизации в ходе решения может изменяться (многократно) ЛПР [5]. Пространство стратегий изменения цели содержит конечное счетное или непрерывное бесконечное множество допустимых стратегий. При $n = 1$ данная задача вырождается в задачу с полной неопределенностью в выборе цели (однокритериальная оптимизация).

С учетом изложенного разработан алгоритм, реализующий регулярные стратегии поиска парето-оптимального с точностью до ε_0 $(|F_0 - F_0^*| \leq \varepsilon_0)$ решения задачи оптимизации координации (АОК-1) локальных решений ПЭ в ИРС и состоящий в следующем (рис. 3):

Шаг 0. Постановка задачи ЛПР оператору-исследователю (блок 0).

Шаг 1. Ввод исходных данных: приоритетных коэффициентов λ_x (или ϑ_x) ЛЦФ $F_x(W^0 = \lambda,\ W_x), x = \overline{1,n}$ и закона (44) изменения правил предпочтений (бл. 1).

Шаг 2. Осуществляется свертка вектора ЛЦФ в скалярную ГЦФ

$$F_0[W(W^0)] = F_0\{F_x, \lambda_x, x = \overline{1,n}\}. \quad (49)$$

Начало первой $(æ = 1)$ большой итерации (бл. 2. 3).

Шаг 3. На первом этапе поиска $x = 1$, все весовые коэффициенты λ_y, кроме λ_x, приравниваются к нулю (бл. 4, 5).

Шаг 4. Осуществляется поиск экстремума (49) с использованием модифицированного (с учетом дискретности альтернатив W) численного метода оптимизации (градиентного, релаксационного, случайного поиска и др.), причем на каждой итерации поиска проверяется условие

$$F_x[W(W^0)] \le F_x. \quad (50)$$

Если условие (50) не выполнено, поиск оптимума продолжается (бл. 6, 7).

Шаг 5. Если выполнено (50), λ_x принимает нулевое значение, а λ_{x+1} ненулевое (бл. 8) и процедура повторяется (начиная с бл. 5), для $x = x + 1$ до выполнения $x = n + 1$ (бл. 9).

Шаг 6. Осуществляется проверка выполнения условий (50) по всем ЛЦФ (модуль A:) и, если не выполнены некоторые из них, реализуется переход к *Шагу* 3, причем λ_x принимает ненулевые значения последовательно для всех $n = k$ ЛЦФ, для которых не выполнялось (50).

Шаг 7. Если (50) выполнено для всех x, определяется , получено ли решение задачи (т.е. $U \neq \emptyset$), в случае отрицательного результата номер «большой» итерации изменяется на единицу: $æ = æ + 1$, осуществляется переход к *Шагу* 3, и алгоритм решает задачу заново при новых ограничениях, т.е. при $\{F_x^*\ \forall x\}_{æ+1}$ (бл. 13, 14).

Шаг 8. Если решение получено, задача решена. Вывод (отображение) паретовской точки $W^*(W^0) \in U$ и значения F_0^* (бл. 15).

Незначительная модификация данного алгоритма позволяет получить ещё один регулярный алгоритм АОК-2 (рис. 4):

Шаги 0...5, 7, 8. Аналогичны соответствующим шагам алгоритма АОК-1.

Шаг 6. Проводится проверка на ненарушение ограничений на ЛЦФ, оптимизация по которым уже осуществлена (бл. 10, 11). Если они нарушены, из свертки (ГЦФ) приравниванием к нулю соответствующих коэффициентов λ_x выбрасываются (в обратной последовательности) ЛЦФ (модуль B:) и осуществляется переход к *Шагу* 4.

В случае если решение, найденное в результате рассмотренных алгоритмов, является неудовлетворительным по одной или нескольким ЛЦФ (с точки зрения ЛПР), оператор (ЛПР) осуществляет перестройку весовых коэффициентов в ГЦФ и повторно решает задачу. Данная процедура может повторяться многократно, и для повышения ее эффективности необходимо применение диалога «ЛПР – ЭВМ».

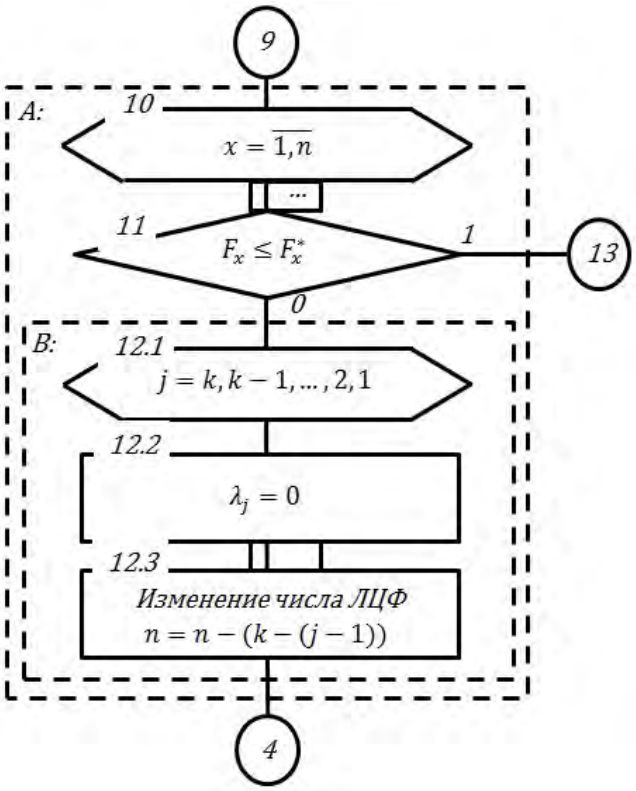


Рис. 4. Фрагмент схемы модифицированного регулярного алгоритма координации решений периферийных элементов

Управление процессом решения путем изменения весовых коэффициентов в ГЦФ может быть затруднено (особенно в нелинейных оптимизационных задачах), поэтому целесообразно в информационно-математическое обеспечение процесса оптимизации координации решений ПЭ включать алгоритмы восстановления зависимости $\lambda_x(F_x^*,\ \Delta F_x^*)$, что позволит ЛПР сформулировать требования к качеству решения в терминах допустимых отклонений от оптимума и реализовать эти требования путем перестройки весовых коэффициентов. В [4], например, для восстановления зависимости $\lambda_x(F_x^*,\ \Delta F_x^*)$, используются непараметрические процедуры.

Рандомизированный алгоритм оптимальной координации решений периферийных элементов

Теперь допустим, что при постановке задачи не сформулированы правила предпочтения, которые отражает МП M, и не формализован закон изменения правил предпочтения, т.е. правило перехода от $M_æ$ к $M_{æ+1}$. В случае, если на предыдущей итерации (при $M = M_æ$) решение, отвечающее правилам предпочтения $M_æ$, отсутствует, тогда для доопределения задач такого типа необходимо поставить эксперимент, в котором в процессе диалога «ЛПР – КСА» осуществляется набор (на игровых примерах или в процессе решения задачи) реализаций $M_1, M_2, \dots, M_\psi, \dots$. Поскольку при использовании предложенных регулярных алго-

ритмов (АОК-1, АОК-2) результат решения однозначно связан с видом МП, то для восстановления последовательности $M_1, M_2, \dots, M_\psi, \dots$ нет необходимости каждый раз решать оптимизационную задачу.

Можно организовать процедуру (модуль A: на рис. 5) случайной генерации результатов решений $W^{(1)}, W^{(2)}, \dots, W^{(j)}, \dots$ (бл. 3), которая должна формировать последовательность наборов ЛЦФ $F_1^{(1)}, \dots, F_n^{(1)}; F_1^{(2)}, \dots, F_n^{(2)}; \dots; F_1^{(j)}, \dots, F_n^{(j)}; \dots$ (бл. 4) и соответствующую им последовательность МП $M_1, \dots, M_j, \dots$ (бл. 5). После отбраковки (бл. 6) ЛПР абсолютно неприемлемых решений и расстановки оставшихся реализаций в порядке возрастания степени их непригодности, из МП формируется последовательность $M_1, \dots, M_\psi, \dots$, в соответствии с порядком расстановки отобранных решений (бл. 10). Однако при оценке качества отдельных решений в силу различных объективных и субъективных факторов мнение ЛПР даже относительно одной и той же реализации может в какой-то степени измениться. Различными будут и оценки разных экспертов.

Поэтому, когда получено первое приближение последовательности $M_1, M_2, \dots, M_\psi, \dots$ (бл. 10) и соответствующих им наборов решений, предлагается осуществить следующую процедуру (модуль C:) рандомизации и последующего сглаживания (подобно тому, как это сделано в [4]). Строится ряд последовательностей (бл. 12):

$$F_1^{(1)} + \delta_{1s}^{(1)}, \dots, F_n^{(1)} + \delta_{ns}^{(1)};$$
$$F_1^{(2)} + \delta_{1s}^{(2)}, \dots, F_n^{(2)} + \delta_{ns}^{(2)}; \dots; F_1^{(j)} + \delta_{1s}^{(j)}, \dots, F_n^{(j)} + \delta_{ns}^{(j)}; \dots, \quad (51)$$

где $\delta_{xs}^{(k)}, x = \overline{1,n}; k = \overline{1,j}$ – последовательность независимых случайных величин, малых (по абсолютной величине) по сравнению со значениями ЛЦФ, с которыми они суммируются.

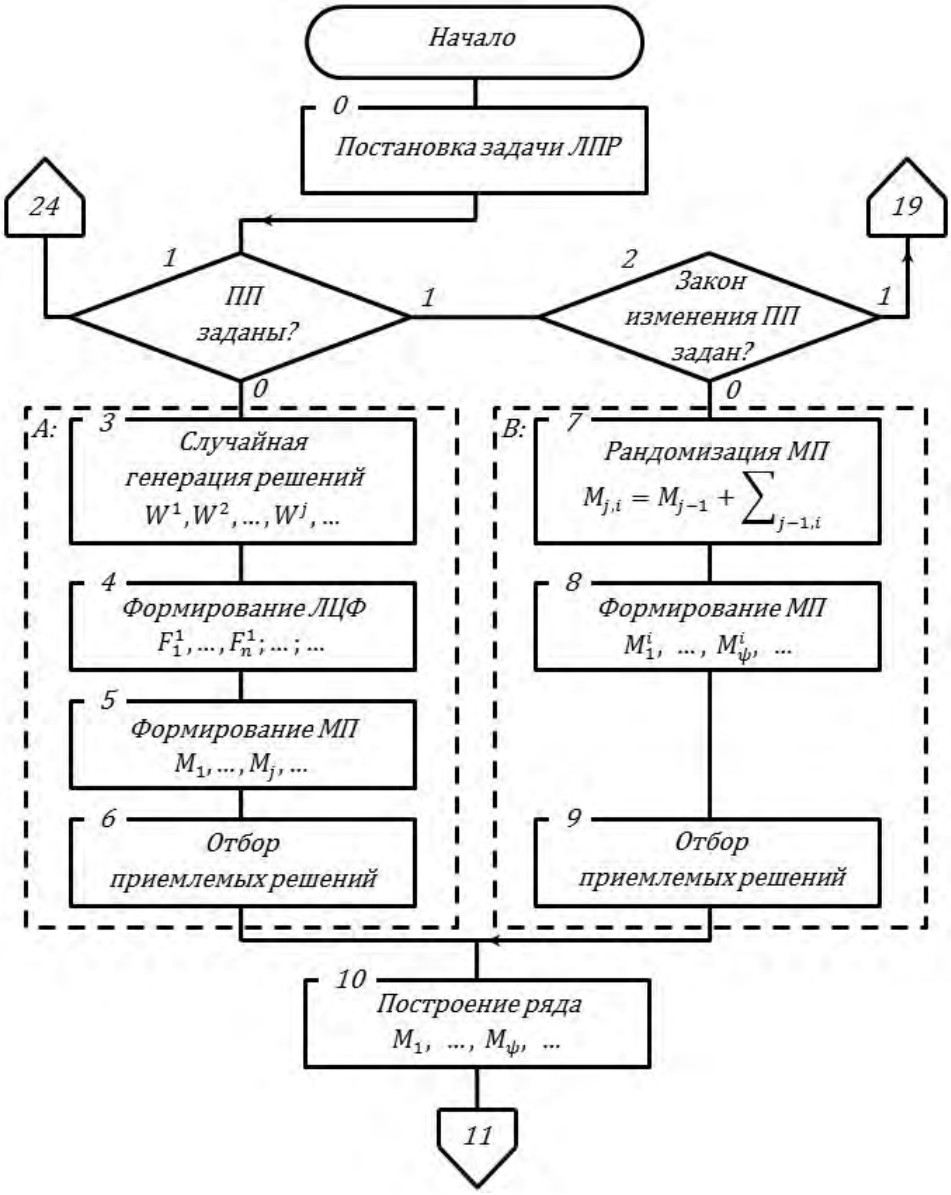


Рис. 5. Схема рандомизированного алгоритма координации решений периферийных элементов в иерархической ИРС

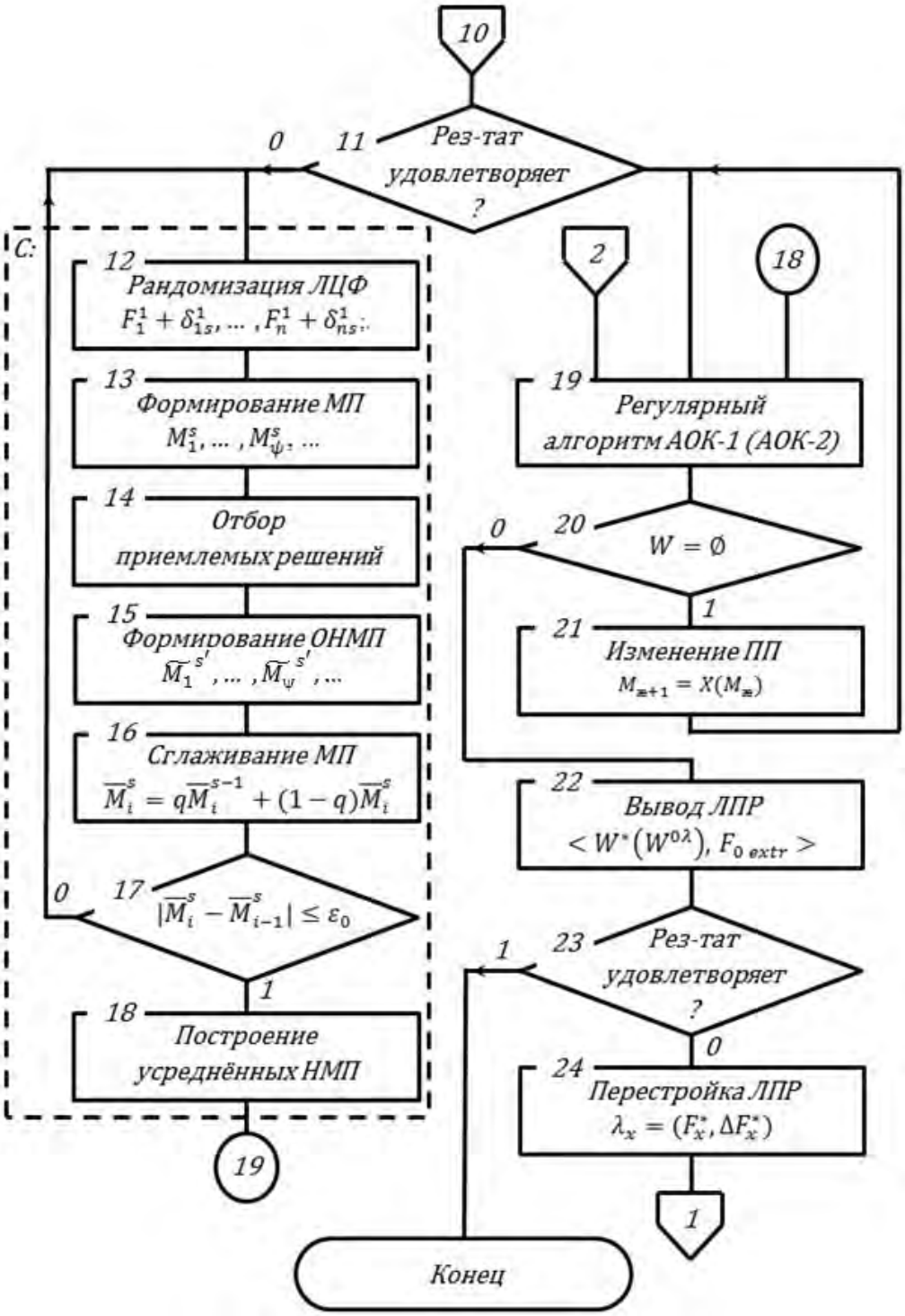


Рис. 5. (окончание)

Каждой последовательности $s = 1, \dots, p$ в (51) ставится в соответствие последовательность $M_1^s, \dots, M_\psi^s, \dots$ (бл. 13), они предъявляются ЛПР (или группе экспертов), который вновь выстраивает иерархию решений по степени их предпочтительности (бл. 14).

Соответствующим образом осуществляется и перестановка членов в рядах $M_1^s, \dots, M_\psi^s, \dots$ в результате чего получаем откорректированные наборы матриц предпочтений (ОНМП) $\widetilde{M}_1^{s'}, \dots, \widetilde{M}_\psi^{s'}, \dots$ (бл. 15), в общем случае не совпадающие с исходным рядом. Затем путем сглаживания результатов эксперимента при помощи соотношений

$$\overline{M}_i^s = q\overline{M}_i^{s-1} + (1-q)\overline{M}_i^s, i = \overline{1,\psi} \qquad (52)$$

получаем ряд усредненных МП $\overline{M}_i^s$ (бл. 18). Процедура прекращается, когда дальнейшие итерации (52) не приводят к существенному $(> \varepsilon_0)$ изменению сглаженных значений $\overline{M}_i^s$ (бл. 17).

В результате имеем последовательность $\overline{M}_i^s, i = \overline{1,\psi}$ которая является носителем закона из-

менения правил предпочтения и может использоваться при формировании решающих правил.

Если МП $\overline{M_i}^s$ при реализации регулярных алгоритмов АОК-1, АОК-2 (бл. 19) не обеспечивает нахождение отвечающего ей решения (решение задачи при $M = \overline{M_i}^s$ отсутствует), осуществляется повторный поиск решения при $M = \overline{M}_{i+1}^s$ (бл. 20, 21). Если ряд $\overline{M_i}^s, i = \overline{1, \psi}$ допускает достаточно простую аппроксимацию (например, типа (47)), то в целях экономии объема машинной (КСА) памяти можно, используя любой из известных методов идентификации [14], восстановить оператор $\overline{B}$. Тогда при переходе от $\overline{M_i}^s$ к $\overline{M}_{i+1}^s$ используется процедура (47) (бл. 21).

Рассмотрим случай, когда сформулированы правила предпочтения, т.е. на этапе постановки задачи выработаны правила, позволяющие заполнить МП M. В этом случае МП M может использоваться в качестве исходной для построения кортежа $M_1, \dots, M_\psi$ матриц, описывающего закон изменения правил предпочтения. Процедура (модуль B:) восстановления последовательности $M_1, \dots, M_\psi$ может осуществляться путем последовательной рандомизации (бл. 7, 8) матриц:

$$M_j = \mathrm{sat}\left(M_{j,i}\right);\ M_{j,i} = M_{j-1} + \sum\nolimits_{j-1,i} \square\ ; \qquad (53)$$
$$M_{j=i} = M;\ \ i = \overline{1, \sigma};\ j = \overline{1, \psi}\,,$$

где $\sum_{j-1,i} \square$ – матрица рандомизации со случайными элементами; i – номер случайной реализации матрицы $\sum \square$; $M_j = \mathrm{sat}\,(\cdot)$ – условная запись, означающая выбор ЛПР из набора МП $M_{j,i}$, рандомизированных матрицей наиболее приемлемой МП (бл. 9, 10).

Рандомизированный алгоритм оптимизации координации локальных решений ПЭ в сети эргасистемы является эффективным (обладают свойством сходимости или результативности) на множестве задач координации, определяемом исходными условиями (42), (43). *Сходимость* алгоритма, реализующего рандомизированные стратегии оптимальной координации в соответствии с приведенной схемой, обеспечивается использованием конечных значений параметров матриц (правил) предпочтений, а также сходимостью регулярных алгоритмов, используемых для непосредственного поиска глобального парето-оптимального решения. *Массовость* алгоритма обеспечивается его инвариантностью к видам ЛЦФ и к виду зависимости, при помощи которой задается закон изменения правил предпочтений.

Заключение

На практике переход от содержательного описания задачи к соответствующему *математическому* представлению и последующей реализации на средствах ЭВМ часто осуществляется неудовлетворительно [1], так как используются примитивные идеализированные модели, в недостаточной мере учитывающие реальные ограничения и требования к качеству задач и др. Для устранения этих недостатков применяются методы системного анализа в сочетании с современными численными алгоритмами оптимизации на основе методологии структурно-математического подхода [9, 13].

Основным понятием структурно-математического подхода является понятие *рода математической структуры* (РМС), который определяется введением базисных множеств и набора отношений, строящихся на так называемых ступенях шкалы множеств [13] и удовлетворяющих определённым аксиомам. Ступени шкалы множеств образуются из базисных множеств с помощью операций взятия декартовых произведений или булеанов. Путём наделения базисных множеств определёнными конкретными математическими свойствами осуществляется переход к *конкретным математическим структурам* (КМС). Если же базисные множества и отношения получают реальную интерпретацию, позволяющую считать данную КМС отражением реальной эргасистемы (функциональной подсистемы, АСУ) или процессов в последней, то эта КМС представляет собой *структуру математической модели* (СММ) реальной эргасистемы.

Методологическая схема «РМС ⇨ КМС ⇨ СММ» позволяет выявить связи между конструкциями математики, использующими определённый уровень абстракции, и математическими моделями реальных систем [9, 13]. Последние могут носить как *формальный* (числовой), так и (а это очень важно для системных приложений) *неформальный* (нечисловой) характер, что позволит обеспечить тесное взаимодействие математики и смежных отраслей, таких, как теория систем, кибернетика, теория принятия решений. Информационно-кибернетические представления (понятия) при этом оказываются связанными с такими основополагающими математическими понятиями, как *отображение, математическая структура, эквивалентность, упорядочение, связность, композиция и декомпозиция, морфизмы* и др. (опираются на концепции современной математики, её определенную архитектуру), обеспечивая необходимый уровень их математизации.

Рассмотренные обоснованные принципы и разработанные модели и алгоритмы позволяют вырабатывать глобальные парето-оптимальные планы распределения средств, ресурсов и ЗПИ в иерархической ИРС эргасистемы в условиях информационной неопределенности различного уровня [8]. Они являются базовыми для создания соответствующего эффективного информационно-математического обеспечения [10, 15, 16] крупномасштабных эргасистем типа интегрированных АСУ сложными объектами ракетно-космической техники, ГАС «Правосудие», ГАС «Выборы» и др.

Рецензент: ***Омельченко Виктор Валентинович****, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки и техники РСФСР, советник секретариата научно-технического совета ВПК «НПО Машиностроения», г. Москва. E-mail: omvv@yandex.ru*

Литература

1. Бусленко Н. П. Моделирование сложных систем. М.: Наука, 1978. 399 с.
2. Гермейер В. Б. Игры с непротивоположными интересами. М.: Наука, 1976. 328 с.
3. Информатизация управления: Монография / Под ред. Д. А. Ловцова. М.: ВА им. Петра Великого, 2003. – 263 с.
4. Кебец Е. П. Об одном классе алгоритмов оптимизации при векторном критерии качества // Модели и алгоритмы принятия решений в автоматизированных системах. Фрунзе: Илим, 1977. С. 45 – 53.
5. Кузьмин Е. А. Неопределенность и определенность в управлении организационно-экономическими системами. Екатеринбург: Ин-т экономики УрО РАН, 2012. 184 с.
6. Ловцов Д. А. Основные методологические понятия, концептуальные принципы и теоретико-прикладные положения правовой информатики // Правовая информатика. – 2018. – № 3. – С. 4 – 15. DOI: 10.21681/1994-1404-2018-3-4-15
7. Ловцов Д. А. Информационная теория эргасистем: основные положения // Правовая информатика. – 2019. – № 3. – С. 4 – 20. DOI: 10.21681/1994-1404-2019-3-4-16
8. Ловцов Д.А. Теоретические основы системной информатизации правового регулирования // Правовая информатика. – 2019. – № 4. – С. 12 – 28. DOI: 10.21681/1994-1404-2019-4-12-28.
9. Ловцов Д. А. Системный анализ. Часть. 1. Теоретические основы. – М.: РГУП, 2018. – 224 с. ISBN 978-5-93916-701-7
10. Ловцов Д. А. Ситуационное планирование процесса переработки измерительной информации в сети АСУ // Теория и системы управления – 1995. – № 5. – С. 239 – 247.
11. Моисеев Н. Н. Математические задачи системного анализа. М.: Наука, 1982. 250 с.
12. Ногин В. Д. Сужение множества Парето: аксиоматический подход. М.: Физматлит, 2016. – 272 с.
13. Резников Б. А. Анализ и оптимизация сложных систем. Планирование и управление в АСУ. Л.: ВИА им. А.Ф. Можайского, 1981. 148 с.
14. Цыпкин Я. З. Информационная теория идентификации. М.: Наука, 1995. 336 с.
15. Lovtsov D. A., Karpov D. S. Dynamic Planning of Navigation Determinations of Airspace and Missile Objects in an Automated Flight Test Control System // Solar System Research RAS. 2011. Vol. 45. No 7. Pp. 645 – 651.
16. Lovtsov D. A., Loban A. V. An effective new technology for distributed processing of measurement data by S/C automated control system // Solar System Research. RAS. 2015. Vol. 49. No 7. Pp. 1 – 7.

MODELLING THE ORGANISATION OF INFORMATION PROCESSING IN A HIERARCHICAL ERGASYSTEM

Dmitrii Lovtsov, *Dr.Sc. (Technology), Professor, Meritorious Scientist of the Russian Federation, Deputy Director for Research of Lebedev Institute of Precision Mechanics and Computer Engineering of the Russian Academy of Sciences, Head of the Department of Information Technology Law, Informatics and Mathematics of the Russian State University of Justice, Russian Federation, Moscow.*
E-mail: *dal-1206@mail.ru*

Keywords: *information processing, hierarchical ergasystem, situational planning, information uncertainty, Pareto optimality, mathematical structures, mathematical model, optimal coordination, regular algorithm, randomised algorithm, situational selection function.*

Abstract.
Purpose of the work: *improving the scientific and methodological basis of the legal informatics theory.*
Methods used: *system analysis and mathematical modelling of the problem situation of decision making for organising information processing, formal logical development of algorithms for coordination planning of information processing.*
Results obtained: *principles of coordination planning of information processing which prescribe the need to consider situational uncertainty factors for each new solving of the planning problem are justified. A mathematical structure of the model of the problem situation of decision making for organising information processing in a two-level hierarchical ergasystem is determined. A multi-level algorithm for rational situational planning of information processing, regular and randomised algorithms for optimal coordination of solutions for peripheral elements ensuring working out global Pareto-optimal plans for distributions of funds, resources and information processing tasks in a hierarchical information distribution network of the ergasystem under the conditions of information uncertainty at various levels are developed.*
The results obtained are basic for setting up appropriate efficient mathematical information support for large-scale ergasystems such as integrated automated control systems of rocket and space equipment, government automated systems "Justice", "Elections", etc.

References

1. Buslenko N. P. Modelirovanie slozhnykh sistem. M. : Nauka, 1978, 399 pp.
2. Germeier V. B. Igry s neprotivopolozhnymi interesami. M. : Nauka, 1976, 328 pp.
3. Informatizatsiia upravleniia : monografiia. Pod red. D. A. Lovtsova. M. : VA im. Petra Velikogo, 2003, 263 pp.
4. Kebets E. P. Ob odnom klasse algoritmov optimizatsii pri vektornom kriterii kachestva. Modeli i algoritmy priniatiia reshenii v avtomatizirovannykh sistemakh. Frunze : Ilim, 1977, pp. 45-53.
5. Kuz'min E. A. Neopredelennost' i opredelennost' v upravlenii organizatsionno-ekonomicheskimi sistemami. Ekaterinburg : In-t ekonomiki UrO RAN, 2012, 184 pp.
6. Lovtsov D. A. Osnovnye metodologicheskie poniatiia, kontseptual'nye printsipy i teoretiko-prikladnye polozheniia pravovoi informatiki. Pravovaia informatika, 2018, No. 3, pp. 4-15. DOI: 10.21681/1994-1404-2018-3-4-15 .
7. Lovtsov D. A. Informatsionnaia teoriia ergasistem: osnovnye polozheniia. Pravovaia informatika, 2019, No. 3, pp. 4-20. DOI: 10.21681/1994-1404-2019-3-4-16 .
8. Lovtsov D.A. Teoreticheskie osnovy sistemnoi informatizatsii pravovogo regulirovaniia. Pravovaia informatika, 2019, No. 4, pp. 12-28. DOI: 10.21681/1994-1404-2019-4-12-28 .
9. Lovtsov D. A. Sistemnyi analiz. Chast'. 1. Teoreticheskie osnovy. M. : RGUP, 2018, 224 pp. ISBN 978-5-93916-701-7.
10. Lovtsov D. A. Situatsionnoe planirovanie protsessa pererabotki izmeritel'noi informatsii v seti ASU. Teoriia i sistemy upravleniia, 1995, No. 5, pp. 239-247.
11. Moiseev N. N. Matematicheskie zadachi sistemnogo analiza. M. : Nauka, 1982, 250 pp.
12. Nogin V. D. Suzhenie mnozhestva Pareto: aksiomaticheskii podkhod. M. : Fizmatlit, 2016, 272 pp.
13. Reznikov B. A. Analiz i optimizatsiia slozhnykh sistem. Planirovanie i upravlenie v ASU. L. : VIA im. A.F. Mozhaiskogo, 1981, 148 pp.
14. Tsypkin Ia. Z. Informatsionnaia teoriia identifikatsii. M. : Nauka, 1995, 336 pp.
15. Lovtsov D. A., Karpov D. S. Dynamic Planning of Navigation Determinations of Airspace and Missile Objects in an Automated Flight Test Control System. Solar System Research, RAS, 2011, vol. 45, No, 7, rp. 645-651.
16. Lovtsov D. A., Loban A. V. An effective new technology for distributed processing of measurement data by S/C automated control system. Solar System Research, RAS, 2015, vol. 49, No. 7, rp. 1-7.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ГОСУДАРСТВЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ КАК ТРЕНД ЦИФРОВОГО ОБЩЕСТВА

*Бурый А.С.**

Ключевые слова: *информационно-коммуникационные технологии, информационное общество, электронное правительство, государственные информационные системы, единое информационное пространство, системы межведомственного электронного взаимодействия, стратегия, концепция.*

Аннотация.

Цель работы: *совершенствование концептуально-методической базы информационно-коммуникационных технологий для формирования единого информационного пространства в государственном секторе управления.*

Метод: *комплексирование системного и сравнительного анализа на основе статистических выводов и приемов функционально-логической классификации.*

Результаты: *на основе анализа хода реализации стратегии государства на построение цифрового общества, направленного как на повышение качества предоставляемых гражданам электронных услуг, так и на рост эффективности коммуникационных процессов органов государственного управления, предлагается комплексное использование перспективных информационно-коммуникационных технологий и системного подхода при формировании требований к государственным информационным системам и к разработке их правового, методического, информационного, программного и модельно-алгоритмического обеспечения, опираясь на концепции онтологического инжиниринга, потенциал методов интеллектуального анализа данных, технологии облачных вычислений и социальных коммуникаций.*

DOI: 10.21681/1994-1404-2020-3-19-28

Введение

Одним из критериев устойчивого развития государства, его авторитетности в мировом сообществе является уровень состояния и доступности его *информационно-коммуникационной среды*, как для обычных граждан, коммерческих предприятий, так и для госучреждений различного уровня, с соответствующим информационно-аналитическим обеспечением, характеризующимся *достоверностью*, *защищенностью*, *оперативностью*, т.е. свойствами, определяющими понятие качества данных[1] [15]. Процесс сбора, хранения, обработки, анализа и передачи данных обеспечивают *информационно-коммуникационные технологии* (ИКТ), согласно терминологии ГОСТ Р 56256-2014[2]. При этом ИКТ определяет общую структуру и формирует основные принципы построения информационных потоков в информационной среде, в которой осуществляются инфокоммуникации, например, между поставщиками услуг и потребителями информации, на основании их запросов. Понятие *информационной технологии* (ИТ) формирует, на наш взгляд, нижний технологический слой коммуникаций относительно слоя ИКТ и представляет собой регламентированный *информационный процесс*, который за счет совокупности средств и методов обработки, передачи, хранения, тиражирования, поиска, распространения и др. данных обеспечивает получение информации нового качества или информационного продукта в виде телетекстов, аудио- и видеоотчетов, графических, а также текстовых документов в выбранном пользователем (потребителями информации) формате [4]. Под *инфраструктурой* инфокоммуникаций понимается комплекс

[1] Дружинин Г. В., Сергеева И. В. Качество информации. – М.: Радио и связь, 1990. – 172 с.

[2] ГОСТ Р 56256–2014. Руководящие указания по обеспечению доступности оборудования и сервисов в области информационно-коммуникационных технологий. – М.: Стандартинформ. – 2019. – 38 с.

* ***Бурый Алексей Сергеевич,*** *доктор технических наук, эксперт РАН, директор департамента ФГУП «Российский научно-технический центр информации по стандартизации, метрологии и оценке соответствия», Российская Федерация, г. Москва. E-mail: a.s.burij@gostinfo.ru*

аппаратно-программных средств (АПС) и организационных мероприятий, обеспечивающих предоставление услуг по передаче, приему и выдачи актуальной информации пользователям, разнесенным в пространстве, в пределах текущих возможностей выбранной коммуникации [13]. С целью обмена информацией и реализации полномочий государственных органов, как определено в Федеральном законе № 149-ФЗ «Об информации, информационных технологиях и защите информации»[3], создаются *государственные информационные системы* (ГИС) [24] для выполнения функций либо федерального, либо регионального уровня. Основным форматом представления циркулирующей в ГИС информации является документированная информация, удовлетворяющая стандарту качества ИСО 9001:2015 и предоставляемая по запросам авторизированных пользователей, зарегистрированных в ГИС. Современная информационная среда находится в постоянном развитии. В настоящее время за счет реализации методов искусственного интеллекта на основе алгоритмов с самообучением удается существенно повысить *оперативность* человеко-машинного взаимодействия путем реализации типовых сценариев обслуживания в ходе поиска документов, подготовки проектов документов и других этапов их жизненного цикла [10]. По существу, цифровизация общества выступает в роли технологического форсайта [5], определяющего стратегию развития государства на основе ИТ, обеспечивающих поступательное развитие многих современных отраслей системы хозяйствования (промышленности, транспорта, образования, здравоохранения и многих других), сокращая и упрощая процесс обращения человека к государственным информационным ресурсам, что особенно актуально в условиях пандемии COVID-19, когда возрос спрос и значимость электронных сервисов, организации удаленной работы, в том числе и для государственных служащих. Активная разработка и внедрение ГИС позволит существенно повысить эффективность коммуникаций органов государственного управления за счет перехода на новый качественный уровень электронного взаимодействия.

1. Предпосылки и основные тенденции

В развитие Федерального закона № 149-ФЗ в 2010 г. была принята государственная программа «Информационное общество (2011–2020)»[4] (далее – ГП-2020). В дальнейшем в ГП-2020 вносились изменения на основании Указа Президента Российской Федерации № 646 «Об утверждении Доктрины информационной безопасности Российской Федерации»[5] (2016 г.), а также Указа Президента Российской Федерации № 203 «О Стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017–2030 годы»[6] (далее – Стратегия информатизации) в 2017 г.

В ГП-2020 и затем в Стратегии информатизации развиваются направления по созданию телекоммуникационной базы *цифрового* государства с учетом современных тенденций в области ИТ [1, 2, 6, 7, 10]. При этом среди главных задач в области повышения эффективности управления, на основе развития информационного общества, опираясь на методологию системного подхода и его приложений, выделим следующие:

– повышение роли государственного сектора (ГС) в принятии управленческих решений путем комплексного подхода к организации построения распределенных информационных систем[7] [6, 21] и разработке аналитических механизмов по автоматизации систем поддержки принятия решений (СППР) [8 , 2 6] с опорой на цифровые технологии, построенные на основе датацентричной парадигмы [1], согласно которой приложения (порталы, службы, сервисы) являются такими же потребителями данных, как и все участники коммуникационного взаимодействия, при полной открытости и информационной доступности ГИС [22];

– повышение эффективности государственного управления за счет децентрализации процессов управления и передачи ряда полномочий региональным и местным органам власти, обеспечивая за счет развития ИКТ стирание географических и временных рамок в получении населением цифровых услуг;

– использование ИКТ для управления всеми видами информационного обмена [14, 20, 25], информационной безопасности [11, 12] в ГС и реализации концепции развития цифровых сервисов «умного» города [9], обеспечивая конкурентные преимущества путем создания новой технологической основы как производственного фактора для всех сфер социально-экономической деятельности. В качестве основных *приоритетных* путей реализации Стратегии информатизации определены такие, как формирование единого информационного пространства (ЕИП), обеспечивающего потребности граждан и общества в получении качественных и достоверных сведений за счет внедрения единых стандартов обслуживания, а также развитие ИКТ и инфраструктуры на основе новых «прорывных» технологий, включая интеллектуальный анализ данных (*data mining*), методы машинного обучения (*machine learning*), организацию хранения и обработки больших данных (*big data*) [1], обеспечивающих новые возможности в повышении *информационной безопасности*[8] *[16], выявлении новых знаний из данных, повышая тем самым уровень человеческого потенциала – существенного фактора*

[3] Федеральный закон от 27 июля 2006 № 149-ФЗ «Об информации, информационных технологиях и о защите информации» // РГ. – 2006. – 29 июл.

[4] [Электронный ресурс]. – URL: https://digital.gov.ru/ru/activity/programs/1/ (дата обращения 13.06.2020).

[5] [Электронный ресурс]. – URL: http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201612060002?index = 2&rangeSize=1

[6] Там же, номер опубликования: 0001201705100002.

[7] *См., например*: Бурый А. С. Введение в теорию синтеза отказоустойчивых многозвенных систем переработки навигационно-баллистической информации. – М.: ВА им. Петра Великого, 1999. – 299 с.

[8] Ловцов Д.А. Проблема обеспечения информационной безопасности России // Обозреватель-Observer. – 1999. – № 2. – С. 44 – 50.

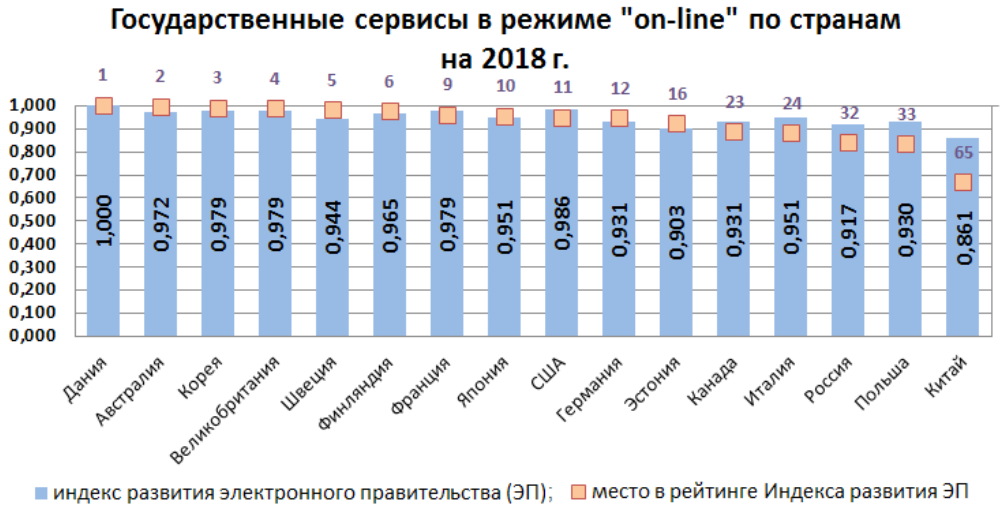


Рис. 1. Рейтинг стран с наибольшим уровнем развития электронного правительства

современного общества. В Стратегии информатизации определено понятие инфраструктуры электронного правительства (ЭП), объединяющего ГИС, АПС и коммуникационную инфраструктуру, обеспечивающие осуществление заданных функций при оказании услуг в электронной форме для типовых уровней взаимодействия между потребителями и поставщиками услуг: органы государственной власти – органы местного самоуправления или уровень *G2G* (*Government-to-Government*); органы государственной власти – граждане или уровень *G2C* (*Government-to-Citizen*); органы государственной власти – юридические лица (представители бизнеса) или уровень *G2B* (*Government-to-Business*). Традиционно в европейском представлении (по данным ООН)[9] ЭП рассматривается как общая технология использования ИКТ для повышения эффективности государственных учреждений в ходе предоставления государственных услуг для открытых правительственных данных гражданам и предприятиям. Основным целевым фактором в деятельности ЭП является улучшение внутренней работы государственного сектора за счет лучшей интеграции информационных потоков и процессов и обеспечение эффективного, а также прозрачного использования информационных ресурсов в сфере ГС. Счетная палата России провела анализ открытости ГИС, в ходе которого эксперты оценивали *доступность*, *оперативность* и *качество* получаемых в ГИС данных по 12 показателям[10], в том числе условия и возможности интеграции между отдельными ГИС. Наивысший рейтинг получили ГИС, операторами которых являются [24] Министерство финансов РФ, Министерство культуры РФ, Федеральная налоговая служба, а самыми закрытыми – Единая ГИС в сфере здравоохранения, Автоматизированная информационная система (ИС) «Национальная электронная библиотека», Федеральная ГИС общественного контроля в области охраны окружающей среды и природопользования. Уровень развития ИКТ во многом определяется экономическими возможностями государства (см. рис. 1 [23]), но также является основой для создания цифровой экономики. Индекс развития ЭП является составным индикатором, анализируется в отчетах ООН раз в два года и рассчитывается по трем показателям, включая развитие электронных услуг, телекоммуникационной инфраструктуры и человеческого капитала.

По рейтингу работы ЭП в отдельных городах, составленному с учетом технологических и организационных аспектов, информационному наполнению и продвижению местных сайтов госуслуг, направленных на привлечение граждан к таким услугам, столица РФ Москва заняла *первое* место. Для сравнения, Париж и Лондон поделили 4–5 места, а Мадрид и Нью-Йорк – 14–15 места[11].

2. Основные технологические маркеры формирования ГИС

Текущий этап внедрения информационных технологий в сферу управления в рамках направления создания «электронного правительства» характеризуется следующими факторами, включающими:

- реализацию концепции *умного правительства* как результат применения ИКТ, обеспечивающих беспрепятственное информационное взаимодействие между государственными учреждениями на основе интуитивно понятного интерфейса для осуществления обслуживания граждан и учреж-

[9] UN E-Government Knowledgebase. [Электронный ресурс]. – URL: https://publicadministration.un.org/ egovkb/en-us/About/UNeGovDD-Framework (дата обращения 10.06.2020).

[10] ИТ в федеральных ведомствах России // TAdviser. [Электронный ресурс]. – URL: https://www.tadviser.ru/ (дата обращения 10.06.2020).

[11] Рейтинг электронного правительства ООН (EGDI) // TAdviser. [Электронный ресурс]. – URL: https://www.tadviser.ru/

дений по всем государственным программам во всех областях деятельности ГС[12];

- внедрение облачных технологий в структуру информационно-телекоммуникационного взаимодействия для предоставления услуг в рамках принятой «Концепции создания государственной единой облачной платформы»[13], что повышает стабильность функционирования и безопасность информационных ресурсов, а также снижает стоимость ИКТ (по некоторым оценкам от 10–15% до 25–50% [27]) за счет масштаба или объема (количества предоставляемых услуг, числа применяемых технологических моделей облачных вычислений, когда клиенты могут использовать такие облачные сервисы, как выбранную инфраструктуру – *Infrastructure as a Service, IaaS*) использования базы данных или отдельных приложений: платформы *PaaS* (*Platform as a Service*), программного обеспечения SaaS (*Software as a Service*) и др. [6, 10 , 27] поставщика (провайдера) облачных услуг;
- формирование устойчивого ЕИП поддержки функций электронного правительства за счет обеспечения интероперабельности информационных систем различных ведомств (на уровне федеральных органов исполнительной власти) на основе семантической интеграции при создании единого тезауруса как систематизированной совокупности данных (включая пространственные данные [19]), позволяющих пользователям удобно и оперативно ориентироваться в нем при составлении запросов в ходе решения задач информационного поиска;
- активное использование в ГИС технологий социальных коммуникаций [2], широко применяемых в бизнесе для анализа клиентской среды при прогнозировании поведения пользователей и/или ситуационном анализе действий профилей (клиентов) в ходе формирования заявок на обслуживание:

1) при разовых оплатах предоставляемых сервисов (услуги жилищно-коммунального хозяйства, штрафы ГИБДД и др.);

2) при реализации возможности *омниканальности* взаимодействия при обращении граждан за предоставлением услуг любым удобным способом, включая социальные сети, банковские приложения, мобильные устройства[14];

3) в научном сообществе для анализа коммуникаций в базах цитирования по выбранным публикациям или их авторам [7].

При формировании требований к ГИС надо основываться как на тенденциях в области ИКТ, так и на следующих факторах:

1) модернизация инфраструктуры вызвана перегруженностью многих архивов, устаревшими методами организации баз данных, необходимостью оцифровки хранящейся на бумаге, но действующей нормативно-правовой информации;

2) новые подходы к организации информационной безопасности требуют учитывать вид хранимых данных, их востребованность и актуализацию, а также развитие методов электронной идентификации пользователей[15], включая криптографические подписи, голосовую индикацию и другие *биометрические данные* [17];

3) необходимость в интеграции информационных ресурсов даже внутриведомственного масштаба, вызванная хаотичным (в результате «лоскутной», фрагментарной разработки) и отчасти бессистемным развитием и внедрением информационных систем, что затрудняет информационный обмен и снижает *оперативность* и *устойчивость* функционирования СППР;

4) широкое и повсеместное внедрение технологий *Big Data* для повышения *мобильности*, *прозрачности*, *защищенности* данных с привлечением новых сервисных возможностей и технологий машинного анализа для переработки неструктурированной информации, повышения *наглядности*, *логичности* и, в конечном итоге, *понятности* ее представления. По отчетам *Gartner,* до 40% задач интеллектуального анализа данных планируется полностью автоматизировать уже в текущее время[16];

5) развитие когнитивных методов анализа и структурирования данных с учетом релевантных классов объектов, отношений и связей, онтологий построения баз данных [3], обеспечивая при этом требования по *гармонизации*, например, для ряда документов в области стандартизации и права, путем стыковки текстовых смысловых единиц для организации терминологического соответствия документов, *управления знаниями* при комплексировании различных технологий и приложений, а также для контроля интегрированных терминологических словарей на *непротиворечивость* при создании ЕИП;

6) организацию и внедрение процедуры модернизации и увеличения числа предоставляемых гражданам услуг, что объясняется постоянным развитием сферы ИТ. Так, в облачных вычислениях, помимо указанных выше трех сервисов (инфраструктура, платформы, программное обеспечение), предлагаются подготовленные структуры баз данных (*DB*) – *DBaaS*, сервисы по восстановлению данных и приложений – *RaaS* (*Recovery-as-a-Service*), ИТ-сервис как услуга –

[12] Акаткин Ю. М., Дрожжинов В. И., Ясиновская Е. Д. Эволюция моделей электронного правительства // Федерализм. – 2016. – № 4(84). – С. 101 – 122.

[13] Распоряжение Правительства РФ от 28 августа 2019 г. № 1911-р. [Электронный ресурс]. – URL: http://government.ru/docs/ 37804/ (дата обращения 10.06.2020).

[14] Суперсервисы и цифровая трансформация госуслуг. [Электронный ресурс]. – URL: https://digital.gov.ru/ru/activity/ directions/854/ (дата обращения 13.06.2020).

[15] Moore S. Public-sector CIOs can use this list of strategic technology trends as inspiration and factor them into their organizations' strategic plans. – URL: https://www.gartner.com/smarterwithgartner/ technology-trends-future-government/ (дата обращения 13.06.2020).

[16] Thorn S. Top public sector tech trends to watch in 2020. [Электронный ресурс]. – URL: https://technative.io/top-public-sector-tech-trends-to-watch-in-2020/ (дата обращения 13.06.2020).

Таблица

Примеры государственных информационных систем

№	Государственные информационные системы	Решаемые задачи
1	Федеральная ГИС «Единый портал государственных и муниципальных услуг»	Обеспечение информирования населения и юридических лиц о государственных и муниципальных услугах, функциях, включая электронные функции, выполняемые федеральными и муниципальными ведомствами
2	Федеральная ГИС территориального планирования	Информационно-аналитическая система доступа к государственным информационным ресурсам, обеспечивающим градостроительную деятельность
3	Единая ГИС социального обеспечения	Обеспечение информационной безопасности социально нуждающихся граждан
4	ГАС РФ «Правосудие»	Информатизация деятельности федеральных судов общей юрисдикции и территориальных органов Судебного департамента
5	Федеральная ГИС «Единая система нормативной справочной информации (ЕСНСИ)»	Обеспечение автоматизированного формирования, актуализации и использования реестра базовых государственных информационных ресурсов, а также размещение, хранение и актуализация нормативной справочной информации, используемой при межведомственном взаимодействии[18]
6	Единая система межведомственного электронного взаимодействия (СМЭВ)	Организация информационного взаимодействия между ИС участников СМЭВ в целях предоставления госу-дарственных и муниципальных услуг и исполнения государственных и муниципальных функций в электронной форме
7	ГИС Стандартизации «Береста»	Предназначена для автоматизации основных процессов деятельности участников национальной системы стандартизации, в том числе при управлении жизненным циклом документов по стандартизации, а также при их разработке, редактировании, экспертизе, мониторинге и контроле разработки документов
8	Федеральный информационный фонд стандартов	Распространение документов, разрабатываемых и применяемых в национальной системе стандартизации, а также международных и региональных стандартов
9	Единая ГИС здравоохранения	Оптимизация всех медицинских учреждений и увеличение объема экспорта медицинских услуг
10	ГИС единого государственного реестра недвижимости	Механизм реализации единого кадастрового учета и государственной регистрации прав на недвижимость

EaaS (*Environment-as-a-Service*), что еще называется «все как услуга», а общий перечень сервисов уже насчитывает более двух десятков;

7) развитие концепции онтологического структурирования знаний, как инструмента семантически-ориентированного доступа к разнородным информационным ресурсам для подсистем СППР в условиях слабоструктурированных баз данных и знаний применительно к распределенным информационным системам (на примере ГИС);

8) при разработке ГИС следует неуклонно руководствоваться принятыми стандартами в области системной и программной инженерии [28], которые должны обеспечить архитектурный «каркас» многофакторного выбора структуры информационные системы на базе построения единой междисциплинарной онтологии представления информационных процессов и систем. В настоящее время в России количество ГИС составляет около 2 500[17]. По уровню доступа ГИС делятся на системы с *общим* доступом и системы с *ограниченным* доступом, связанным с условиями распространения содержащихся в них сведений. По функциональному назначению ГИС разрабатываются:

– по федеральным государственным службам (досудебного обжалования; ЖКХ, Росстата, Росимущества, Росаккредитации и др.);

– по отраслевой принадлежности (отрасли хозяйствования, сектора экономики, образование, культура и др.);

– по уровню (масштабу) распространения (федеральные, региональные);

– по предоставляемым услугам (платежные системы, информационно-справочные, реестровые или регистрационные).

Примеры ГИС и решаемые ими задачи представлены в таблице.

Государственная автоматизированная система (ГАС) РФ «Правосудие» (см. таблицу) представляет собой крупномасштабную территориально-распределённую *информационно-правовую систему*, обеспечивающую формирование ЕИП [18] судебной системы России и информационно-аналитическую поддержку судопроизводства на базе принципа сбалансированности информационных потребностей граждан, общества и

[17] Развитие 2500 ИТ-систем государства: тихая революция // C-News. [Электронный ресурс]. – URL: https://www.cnews.ru/ (дата обращения 13.06.2020).

[18] Единая система нормативно-справочной информации. [Электронный ресурс]. – URL: https://digital.gov.ru/ru/activity/directions/491/ (дата обращения 13.06.2020).

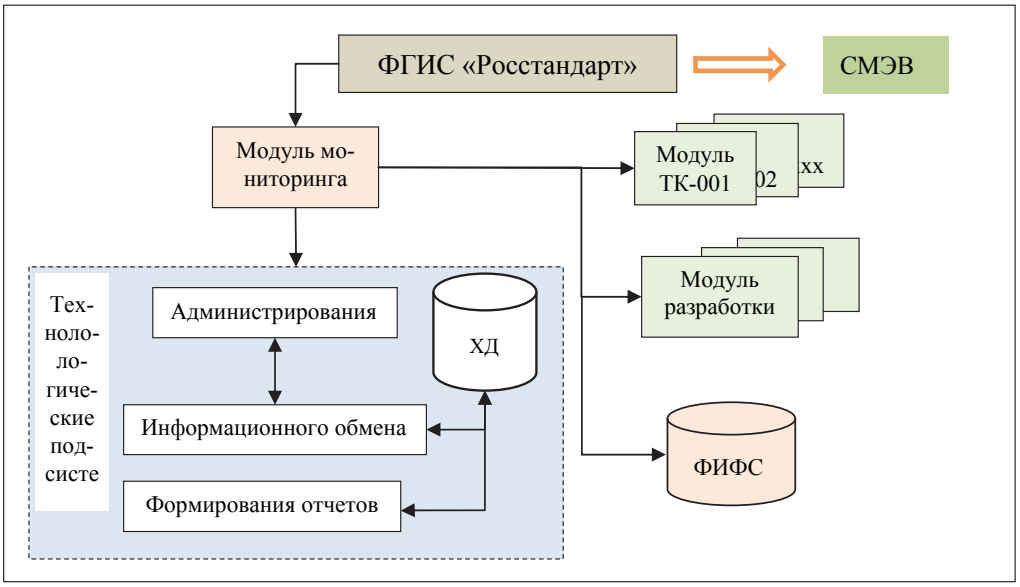


Рис.2 Структура Федеральной ГИС «Росстандарт»

государства (баланса между потребностью свободного обмена информацией и необходимыми ограничениями на её распространение) [14, 20].

С 2009 г. в России функционирует Единый портал государственных и муниципальных услуг, интегрированный в дальнейшем с Единой системой идентификации и аутентификации, на котором размещается информация, формы заявок и через который проводятся платежи [20].

На рис. 2 представлена организационная структура Федеральной ГИС «Росстандарт», включающая:

– модули разработки и проведения экспертизы документов по стандартизации, число которых в основном определяется действующими техническими комитетами (ТК) по стандартизации;

– модуль мониторинга разработки документов по стандартизации[19];

– технологические подсистемы: информационного контура управления для обеспечения хранения данных (ХД), информационного обмена, формирования отчетов и организационного управления – подсистема администрирования.

Представленная на рис. 2 концептуальная схема отражает взаимосвязи в ходе реализации процессов разработки документов по стандартизации, принятия национальных стандартов и размещения их в Федеральном информационном фонде стандартов (ФИФС). Информация по документам стандартизации посредством СМЭВ загружается в ЕСНСИ (см. *таблицу*) для предоставления в формате госуслуг.

3. Информационным технологиям – межведомственный формат

Существующая федеральная ГИС межведомственного электронного взаимодействия (СМЭВ), включающая в свой состав информационные базы, сведения об имеющихся у органов и организаций АПС, обеспечивает возможность доступа к их информационным ресурсам путем предоставления электронных государственных сервисов. Созданная в соответствии с ГП-2020 СМЭВ постоянно совершенствуется, привлекая все новые технологические возможности, руководствуясь нормативно-правовой базой, которая ввиду важности данного направления для задач управления постоянно актуализируется, находясь на пике внимания[20]. Основное целевое предназначение СМЭВ – обеспечение исполнения государственных и муниципальных функций в электронной форме. При этом несомненным достоинством СМЭВ является повышение качества взаимодействия за счет сокращения сроков подготовки электронных документов при одновременном расширении количества предоставляемых услуг, обеспечение приоритета защиты передаваемых данных (запросов, ответов на них, почтового сервиса), ведения реестра электронных сервисов контроля выполнения запросов для информационных систем, подключенных к СМЭВ, что обеспечивает пользователям формат «единого окна», когда «окном» является любая точка доступа в Интернет (рабочее место, в том числе и для работников, выполняющих свои функциональные обязанности в удаленном режиме).

[19] О стандартизации в Российской Федерации [Текст]: Федеральный закон от 29 июня 2015 г. №162-ФЗ. – М.: ФГУП «Стандартинформ», 2015. – 72 с.

[20] Технологический портал электронного правительства. [Электронный ресурс]. – URL: https://smev.gosuslugi.ru/portal/index.jsp (дата обращения 3.07.2020).

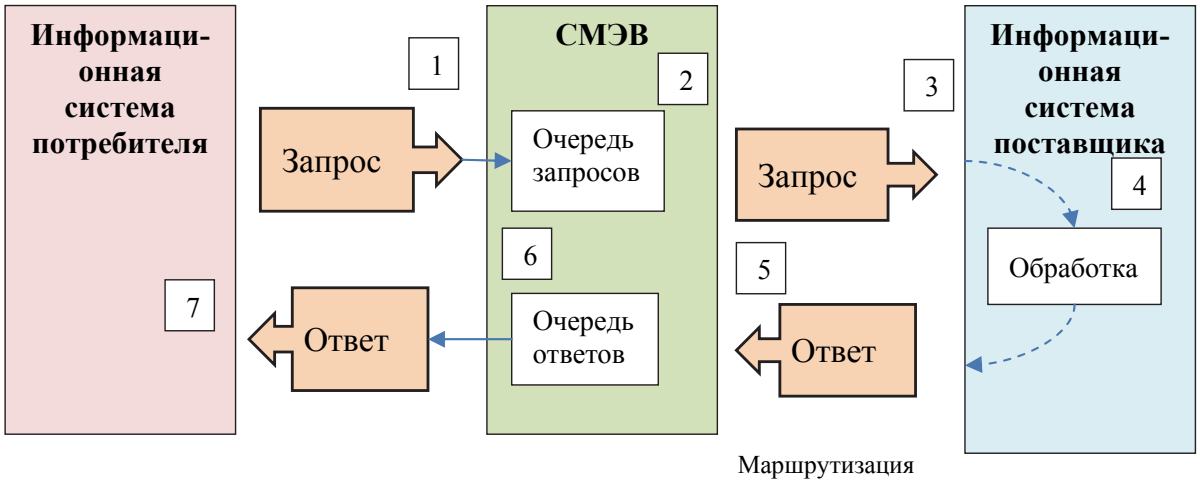


Рис.2 Структура Федеральной ГИС «Росстандарт»

Отказ от бумажного обмена данными ускоряет решение многих вопросов, устраняет возможные факторы, связанные с доставкой письменной корреспонденции. Кроме того, упрощается взаимодействие с региональными органами власти.

При этом возрастают требования к следующим факторам:

- защищенности информации, передаваемой по каналам связи;
- интеграции в действующие в организации системы документооборота; автоматизации, непрерывности и оперативности обмена данными;
- соответствие форматов (шаблонов) документов регламентам, принятым нормативным документом и действующим требованиям СМЭВ.

Опуская технические вопросы при организации документооборота, связанные с выбором операционной среды, подготовкой интерфейсов, адаптацией серверного оборудования и др., отметим такие требования СМЭВ, которые необходимо обеспечить в организации при подготовке к переходу в новую информационную среду[21]:

1) документы, формируемые в СМЭВ в заданных форматах, разрабатываются по единым шаблонам, обязательным для участников СМЭВ;

2) документы, предназначенные для межведомственного обмена, сопровождаются электронной подписью;

3) формирование регистрационных данных, позволяющих контролировать процесс прохождения документов (их обработку – регистрацию и назначение исполнителей, а также выполнение связанных с ними поручений).

Участники взаимодействия в СМЭВ могут либо запрашивать, либо предоставлять сведения, тогда соответствующие информационные системы, представленные на схеме (рис. 3)[22], можно разделить на ИС потребителя сведений и ИС поставщика сведений.

Обмен сообщениями включает следующие шаги:

1 – передачи запроса от ИС потребителя в СМЭВ;

2 – размещение запроса в СМЭВ в очереди поставщика;

3 – получение запроса ИС поставщика из СМЭВ;

4 – подготовка поставщиком ответа на запрос;

5 – передача подготовленного ответа из ИС поставщика в СМЭВ;

6 – размещение ответа в СМЭВ в очереди ответов потребителя;

7 – получения ответа ИС потребителя.

Маршрутизация сообщений в ходе взаимодействия осуществляется на основе сведений, заложенных в запросе. Структура сообщения включает:

- блок идентификационных данных (СМЭВ-конверт с адресами поставщика и потребителя, тип сообщения (запрос, ответ, рассылка), идентификатор сообщения);
- блок содержимого, включая вложения;
- электронную подпись как участника СМЭВ.

Файлы вложений (блока содержимого в сообщении) могут иметь различный формат, включая текстовый, графический, формат электронных таблиц (.xls, .wks, .dfg и ряд других), а также могут передаваться в виде архива в формате zip. Документ, не содержащий вложений, передается в СМЭВ в формате XML.

Заключение

Таким образом, разработка ГИС осуществляется в рамках единой Стратегии информатизации, что в ко-

[21] Юмашева Ю. Ю. От машинно-ориентированных к электронным документам: эволюция объектов и терминов // Документ. Архив. История. Современность. – 2017. – № 17. – С. 417 – 445.

[22] Методические рекомендации по разработке электронных сервисов и применению технологии электронной подписи при межведомственном электронном взаимодействии. Версия 3.0.9.4. 2014. – URL: http://forum.minsvyaz.ru/assets/files/MR_SMEV_ver.0.9.4.pdf (дата обращения 13.06.2020).

нечном итоге позволит исключить дублирование инфраструктур в отдельных ведомствах или регионах. Оператором программы построения информационного государства выступает Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций РФ.

Реализация Стратегии информатизации нацелена в настоящее время главным образом на решение следующих первоочередных задач:

– развитие информационно-коммуникационной инфраструктуры сетевого взаимодействия государственных органов, а также инфраструктуры хранения и обработки данных;

– нормативно-правовое, информационное, организационное и методическое обеспечение информационно-коммуникационного взаимодействия существующих ГИС;

– обеспеченность информационно-коммуникационной инфраструктурой базовых ИТ в малонаселенных районах РФ, направленная на устранение цифрового неравенства как для социальных групп, вызванных низким уровнем компьютерной грамотности, так и по причинам территориальной удаленности участников цифровых коммуникаций.

Рецензент: ***Увайсов Сайгид Увайсович,*** *доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой конструирования и производства радиоэлектронных средств Российского технологического университета – МИРЭА, г. Москва.*
E-mail: uvajsov@mirea.ru

Литература

1. Акаткин Ю. М., Ясиновская Е. Д. Цифровая трансформация правительства датацентричность и моделе-ориентированность // Информационные ресурсы России. – 2019. – № 1(167). – С. 2 – 7.
2. Архипова З. В. Трансформация «Электронного правительства» в «Цифровое правительство» // Известия Байкальского гос. ун-та. – 2016. – Т. 26. – № 5. – С. 818 – 824. DOI: 10.17150/2500-2759.2016.26(5).818-824.
3. Буракова Е. Е., Боргест Н. М., Коровин М. Д. Языки описания онтологий для технических предметных областей // Вестник Самарского ГАУ. – 2014. – №3(45). – С. 144 – 158.
4. Бурый А. С. Информационно-поисковые социотехнические системы: термины и определения. – М.: Горячая линия – Телеком, 2018. – 166 с. ISBN 978-5-9912-0675-4.
5. Бурый А. С. Картирование технологий как метод в форсайт-исследованиях // Транспортное дело России. – 2014. – № 5. – С. 155 – 157.
6. Бурый А. С. Тенденции развития распределенных информационных систем на основе облачных технологий // Транспортное дело России. – 2013. – № 6. – С. 160 – 162.
7. Бурый А. С., Балванович А. В. Научные коммуникации как распре-деленные информационные структуры // Правовая информатика. – 2020. – № 2. – С. 17 – 27. DOI: 10.21681/1994-1404-2020-2-17-27.
8. Бурый А. С., Шевкунов М. А. Интеллектуализация процессов принятия решений в эргатических системах // Транспортное дело России. – 2015. – № 4. – С. 48 – 50.
9. Бухановский А. В. Национальный центр когнитивных разработок (центр компетенций НТИ): искусственный интеллект на службе профессиональной деятельности // Инновации. – 2019. – № 11(253). – С. 105 – 111. DOI: 10.26310/2071-3010.2019.253.11.012.
10. Государство и право в новой цифровой реальности: монография / под общ. ред. И. А. Умновой-Конюховой, Д. А. Ловцова. – М.: ИНИОН РАН, 2020. – 259 с. ISBN 978-5-248-00959-6.
11. Демидов А. А., Никифоров О. Г., Саенко И. Б. Разработка концепции обеспечения информационной безопасности информационно-телекоммуникационных систем органов государственной власти // Труды СПИИРАН. – 2012. – № 3(22). – С. 71 – 83.
12. Карцхия А. А., Севастьянов В. Л. Информационная безопасность: правовые аспекты // Правовая информатика. – 2018. – № 4. – С. 43 – 49. DOI:10.21681/1994-1404-2018-4-43-49.
13. Кузовкова Т. А., Тимошенко Л. С. Анализ и прогнозирование развития инфокоммуникаций. – М.: Горячая линия – Телеком, 2016. – 174 с. ISBN 978-5-9912-0517-7.
14. Ловцов Д. А. Теоретические основы системной информатизации правового регулирования // Правовая информатика. – 2019. – № 4. – С. 12 – 28. DOI: 10.21681/1994-1404-2019-4-12-28.
15. Ловцов Д. А. Информационная теория эргасистем: Тезаурус. – М.: Наука, 2005. – 248 с. ISBN 5-02-033779-X.
16. Ловцов Д. А. Проблема гарантированного обеспечения информационной безопасности крупномасштабных автоматизированных систем // Правовая информатика. – 2017. – № 3. – С. 66 – 74. DOI: 10.21681/1994-1404-2017-3-66-74.
17. Ловцов Д. А., Князев К. В. Защищённая биометрическая идентификация в системах контроля доступа. I. Математические модели и алгоритмы // Информация и космос. – 2013. – № 1. – С. 100 – 103.
18. Ловцов Д. А., Ниесов В. А. Формирование единого информационного пространства судебной системы России // Российское правосудие. – 2008. – № 11. – С. 78 – 88.

19. Ловцов Д. А., Черных А. М. Геоинформационные системы. – М.: Российская академия правосудия, 2012. – 188 с. ISBN 978-5-93916-340-8
20. Ловцов Д. А., Федичев А. В. Место и роль правовой информатики в системе информационно-правовых знаний // Правовая информатика. – 2017. – № 1. – С. 5 – 12. DOI: 10.21681/1994-1404-2017-1-05-12.
21. Омельченко В.В. Информационное обеспечение системы государственного управления национальными ресурсами: риск-ориентированный подход // Правовая информатика. – 2019. – № 1. – С. 4 – 17. DOI: 10.21681/1994-1404-2019-1-4-17.
22. Сорокина Г. П., Широкова Л. В., Астафьева И. А. Цифровые технологии как фактор повышения эффективности государственного и муниципального управления // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2019. – № 2. – С. 73 – 83. DOI: 10.25198/2077-7175-2019-2-73.
23. Цифровая экономика: 2020: краткий статистический сборник / Г. И. Абдрахманова, К. О. Вишневский, Л. М. Гохберг и др. – М.: НИУ ВШЭ, 2020. – 112 с. ISBN 978-5-7598-2148-9.
24. Черных А. М. Основные направления интеграции федеральных государственных информационных систем и пространственных данных // Правовая информатика. – 2018. – № 2. – С. 47 – 56. DOI: 10.21681/1994-1404-2018-2-47-56.
25. Buryi A. S., Loban A. V., Lovtsov D. A. Compression models for arrays of measurement data in an automatic control systems // Automation and Re-mote Control. – 1998. – Vol. 59. – No 5. – Part 2. – P. 613 – 631.
26. Buryi A. S., Sukhov A. V. Optimal control of complicated technical complexes in an automatic information space // Automation and Remote Control. – 2003. – Vol. 64. – No 8. – P. 1329 – 1345. DOI: 10.1023/A:1025039702499.
27. Davies R. E-Government: using technology to improve public services and democratic participation // European Parliamentary Research Service. Completed in July 2015. DOI: 10.2861/150280.
28. Varga M. Zachman framework in teaching information systems // 25th International Conference of Information Technology Interfaces ITI. – Cavtat (Croatia). 2003. –P. 161 – 166.

IMPROVING GOVERNMENT INFORMATION SYSTEMS AS A DIGITAL SOCIETY TREND

Aleksei Buryi, *Dr.Sc. (Technology), expert of the Russian Academy of Sciences, Director of a department of the Russian Scientific and Technical Centre for Information on Standardisation, Metrology and Conformity Assessment, Russian Federation, Moscow.*
E-mail: *a.s.burij@gostinfo.ru*

Keywords: *information and communication technologies, information society, electronic government, government information systems, single information space, interagency electronic interaction systems, strategy, concept.*

Abstract.

Purpose of the work: *improving the conceptual and methodological basis of information and communication technologies for the formation of a single information space in the public administration sector.*

Method used: *combined system and comparative analysis based on statistical conclusions and approaches of functional and logical classification.*

Results obtained: *based on the analysis of implementation of the government strategy for building a digital society aimed both at improving the quality of electronic services provided to citizens and at increasing the efficiency of communication processes in public authorities, it is proposed to jointly use advanced information and communication technologies as well as the systemic approach in working out requirements for government information systems and for the development of their legal, methodological, information, software and algorithmic model support based on the concepts of ontological engineering, the data mining methods potential, cloud computing and social communication technologies.*

References

1. Akatkin Iu. M., Iasinovskaia E. D. Tsifrovaia transformatsiia pravitel'stva: datatsentrichnost' i modele-orientirovannost'. Informatsionnye resursy Rossii, 2019, No. 1(167), pp. 2-7.
2. Arkhipova Z. V. Transformatsiia "elektronnogo pravitel'stva" v "tsifrovoe pravitel'stvo". Izvestiia Baikal'skogo gos. un-ta, 2016, t. 26, No. 5, pp. 818-824. DOI: 10.17150/2500-2759.2016.26(5).818-824.
3. Burakova E. E., Borgest N. M., Korovin M. D. Iazyki opisaniia ontologii dlia tekhnicheskikh predmetnykh oblastei. Vestnik Samarskogo GAU, 2014, No. 3(45), pp. 144-158.

4. Buryi A. S. Informatsionno-poiskovye sotsiotekhnicheskie sistemy: terminy i opredeleniia. M. : Goriachaia liniia-Telekom, 2018, 166 pp. ISBN 978-5-9912-0675-4.
5. Buryi A. S. Kartirovanie tekhnologii kak metod v forsait-issledovaniiakh. Transportnoe delo Rossii, 2014, No. 5, pp. 155-157.
6. Buryi A. S. Tendentsii razvitiia raspredelennykh informatsionnykh sistem na osnove oblachnykh tekhnologii. Transportnoe delo Rossii, 2013, No. 6, pp. 160-162.
7. Buryi A. S., Balvanovich A. V. Nauchnye kommunikatsii kak raspredelennye informatsionnye struktury. Pravovaia informatika, 2020, No. 2, pp. 17-27. DOI: 10.21681/1994-1404-2020-2-17-27.
8. Buryi A. S., Shevkunov M. A. Intellektualizatsiia protsessov priniatiia reshenii v ergaticheskikh sistemakh. Transportnoe delo Rossii, 2015, No. 4, pp. 48-50.
9. Bukhanovskii A. V. Natsional'nyi tsentr kognitivnykh razrabotok (tsentr kompetentsii NTI): iskusstvennyi intellekt na sluzhbe professional'noi deiatel'nosti. Innovatsii, 2019, No. 11(253), pp. 105-111. DOI: 10.26310/2071-3010.2019.253.11.012.
10. Gosudarstvo i pravo v novoi tsifrovoi real'nosti : monografiia. pod obshch. red. I. A. Umnovoi-Koniukhovoi, D. A. Lovtsova. M. : INION RAN, 2020, 259 pp. ISBN 978-5-248-00959-6.
11. Demidov A. A., Nikiforov O. G., Saenko I. B. Razrabotka kontseptsii obespecheniia informatsionnoi bezopasnosti informatsionno-telekommunikatsionnykh sistem organov gosudarstvennoi vlasti. Trudy SPIIRAN, 2012, No. 3(22), pp. 71-83.
12. Kartskhiia A. A., Sevast'ianov V. L. Informatsionnaia bezopasnost': pravovye aspekty. Pravovaia informatika, 2018, No. 4, pp. 43-49. DOI: 10.21681/1994-1404-2018-4-43-49.
13. Kuzovkova T. A., Timoshenko L. S. Analiz i prognozirovanie razvitiia infokommunikatsii. M. : Goriachaia liniia-Telekom, 2016, 174 pp. ISBN 978-5-9912-0517-7.
14. Lovtsov D. A. Teoreticheskie osnovy sistemnoi informatizatsii pravovogo regulirovaniia. Pravovaia informatika, 2019, No. 4, pp. 12-28. DOI: 10.21681/1994-1404-2019-4-12-28.
15. Lovtsov D. A. Informatsionnaia teoriia ergasistem: Tezaurus. M. : Nauka, 2005, 248 pp. ISBN 5-02-033779-Kh.
16. Lovtsov D. A. Problema garantirovannogo obespecheniia informatsionnoi bezopasnosti krupnomasshtabnykh avtomatizirovannykh sistem. Pravovaia informatika, 2017, No. 3, pp. 66-74. DOI: 10.21681/1994-1404-2017-3-66-74.
17. Lovtsov D. A., Kniazev K. V. Zashchishchennaia biometricheskaia identifikatsiia v sistemakh kontrolia dostupa. I. Matematicheskie modeli i algoritmy. Informatsiia i kosmos, 2013, No. 1, pp. 100-103.
18. Lovtsov D. A., Niesov V. A. Formirovanie edinogo informatsionnogo prostranstva sudebnoi sistemy Rossii. Rossiiskoe pravosudie, 2008, No. 11, pp. 78-88.
19. Lovtsov D. A., Chernykh A. M. Geoinformatsionnye sistemy. M. : Rossiiskaia akademiia pravosudiia, 2012, 188 pp. ISBN 978-5-93916-340-8.
20. Lovtsov D. A., Fedichev A. V. Mesto i rol' pravovoi informatiki v sisteme informatsionno-pravovykh znanii. Pravovaia informatika, 2017, No. 1, pp. 5-12. DOI: 10.21681/1994-1404-2017-1-05-12.
21. Omel'chenko V.V. Informatsionnoe obespechenie sistemy gosudarstvennogo upravleniia natsional'nymi resursami: risk-orientirovannyi podkhod. Pravovaia informatika, 2019, No. 1, pp. 4-17. DOI: 10.21681/1994-1404-2019-1-4-17.
22. Sorokina G. P., Shirokova L. V., Astaf'eva I. A. Tsifrovye tekhnologii kak faktor povysheniia effektivnosti gosudarstvennogo i munitsipal'nogo upravleniia. Intellekt. Innovatsii. Investitsii, 2019, No. 2, pp. 73-83. DOI: 10.25198/2077-7175-2019-2-73.
23. Tsifrovaia ekonomika: 2020: kratkii statisticheskii sbornik. G. I. Abdrakhmanova, K. O. Vishnevskii, L. M. Gokhberg i dr. M. : NIU VShE, 2020, 112 pp. ISBN 978-5-7598-2148-9.
24. Chernykh A. M. Osnovnye napravleniia integratsii federal'nykh gosudarstvennykh informatsionnykh sistem i prostranstvennykh dannykh. Pravovaia informatika, 2018, No. 2, pp. 47-56. DOI: 10.21681/1994-1404-2018-2-47-56.
25. Buryi A. S., Loban A. V., Lovtsov D. A. Compression models for arrays of measurement data in an automatic control systems. Automation and Remote Control, 1998, vol. 59, No. 5, part 2, pp. 613-631.
26. Buryi A. S., Sukhov A. V. Optimal control of complicated technical complexes in an automatic information space. Automation and Remote Control, 2003, vol. 64, No. 8, pp. 1329-1345. DOI: 10.1023/A:1025039702499.
27. Davies R. E-Government: using technology to improve public services and democratic participation. European Parliamentary Research Service. Completed in July 2015. DOI: 10.2861/150280.
28. Varga M. Zachman framework in teaching information systems. 25th International Conference of Information Technology Interfaces ITI. Cavtat (Croatia), 2003, pp. 161-166.

ПРОГРАММНО-АЛГОРИТМИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМЫ

*Гаврилов Д.А.**

Ключевые слова: *программно-алгоритмический комплекс, моделирование оптико-электронных систем, переработка визуальной информации, эффективность, показатели, алгоритмы первичной обработки видеосигнала, алгоритмы детектирования и локализации.*

Аннотация.

Цель работы: *совершенствование научно-методической базы оценки эффективности и качества сложных технических систем как элемента нормативно-правового регулирования в области стандартизации.*

Метод: *моделирование процессов переработки визуальной информации, позволяющее автоматизировать процесс проверки работы сложной информационно эффективной автоматизированной оптико-электронной системы аэрокосмического мониторинга.*

Результаты: *разработана интегрированная структура решения задачи оценки информационной эффективности сложной автоматизированной оптико-электронной системы аэрокосмического мониторинга и формально-математический аппарат оценки эффективности и функционального диагностирования. Для решения поставленной задачи разработан генератор, при помощи которого по набору определенных параметров регистрируется входящий видеоряд, параметрами могут являться траектории движения объектов, траектория движения камеры и искажения изображения кадра.*

Достигнутым результатом решения задачи оценки информационной эффективности и функционального диагностирования является соответствие между параметрами входного видео и численными коэффициентами оценки качества работы сложной автоматизированной оптико-электронной системы аэрокосмического мониторинга.

DOI: 10.21681/1994-1404-2020-3-29-39

Введение

Автоматическое сопровождение цели (АСЦ) – режим работы автоматизированной оптико-электронной системы (АОЭС) наземно-космического мониторинга (НКМ), при котором без участия человека-оператора, а только под его контролем обеспечивается изменение ориентации оси или направления движения некоторых элементов комплекса вслед за изменениями траекторий и скоростей движения наблюдаемых объектов. Обнаружение и захват цели предшествуют задаче автоматического сопровождения цели [1]. В процессе АСЦ вычисляются текущие координаты и углы упреждения. Естественные или искусственные помехи могут вызвать необходимость перехода с режима АЦ на ручное сопровождение, что приводит к снижению устойчивости сопровождения [7].

АСЦ может быть основано на радиолокационном, фотооптическом, инфракрасном, квантово-оптическом, акустическом, магнитном и других принципах излучения и приёма сигналов, обрабатываемых счётно-решающим устройством по заданной программе [3, 8, 14].

Существенное значение имеет тестирование и оценка качества работы АОЭС НКМ в процессе разработки [2, 3]. Универсальным способом тестирования является сравнение вероятностей ошибок алгоритма. Оценки вероятностей ошибок могут быть получены эмпирически или с помощью тестирования на некоторой базе примеров или образцов [20]. Известны методы исследования *устойчивости* алгоритмов обнаружения и локализации объектов к различным искажениям, основанные на вычислении оценки вероятности ошибок с использованием метода Монте-Карло [15]. Используя наложение шума на изображение, возможно вычисление изменений качества алгоритма в зависимости от уровня зашумленности.

* ***Гаврилов Дмитрий Александрович,*** *кандидат технических наук, докторант Института точной механики и вычислительной техники им. С. А. Лебедева Российской академии наук, Российская Федерация, г. Москва.*

E-mail: gavrilov.da@mipt.ru

Кроме того, для оценки качества алгоритмов могут быть использованы имитаторы шумового сигнала или многоцелевой сцены. Недостатками известных имитаторов является имитация работы исключительно радиолокационного оборудования и невозможность тестирования и контроля систем, работающих в видимом и/или инфракрасном диапазонах длин волн, и/или основанных на квантово-оптическом, акустическом, магнитном и других принципах излучения, а также невозможность симуляции искусственного видеосигнала, позволяющего воспроизводить сгенерированный файл в системе автоматического и/или полуавтоматического обнаружения местонахождения и сопровождения цели [17].

Для оценки эффективности и функционального диагностирования реализованы следующие мероприятия: симуляция входных сигналов для АОЭС НКМ; визуальный и численный контроль результатов работы АОЭС НКМ [18, 19]. Интегрированная структура решения задачи оценки информационной эффективности и функционального диагностирования включает решение нескольких независимых подзадач. *Во-первых*, симуляция, в процессе которой осуществляется формирование входящего визуального информационного сигнала, а также запись *Ground Truth* – информации о нахождении отметок на каждом кадре, т.е. положения их центров и маски. *Во-вторых*, визуализация, в процессе которой формируется визуальный информационный сигнал с маркерами отметок, обнаруженных АОЭС НКМ. *В-третьих*, оценка, в результате которой обеспечиваются количественные показатели качества работы АОЭС НКМ. На вход подзадачи оценки подаются *Ground Truth* и результат работы АОЭС НКМ. Решением является проверка близости исходных значений результатам работы АОЭС НКМ [13].

Целью работы является моделирование процессов переработки визуальной информации[1] [9], позволяющее автоматизировать проверку работы АОЭС НКМ. Результат достигается тем, что обеспечивается возможность оценки соответствия между параметрами входного видео и численными коэффициентами оценки качества сопровождения объекта интереса, а также возможность модификации видеосигнала для создания уникальных параметров исходного видео, что дает возможность повышать качество оценки информационной эффективности АОЭС НКМ [5, 12].

Методика оценки информационной эффективности и функционального диагностирования АОЭС НКМ

Для достижения поставленной цели разработан программно-алгоритмический комплекс оценки качества работы АОЭС НКМ, при помощи которого по набору определенных параметров регистрируется входящий видеоряд. Параметрами могут являться траектории движения объектов, траектория движения камеры и искажения изображения кадра.

Разработанная методика оценки информационной эффективности [10] и функционального диагностирования АОЭС НКМ включает следующие этапы (рис. 1):

1. Формирование входящего видео, запись исходных данных о движении камеры и целей.
2. Определение объективных параметров информационного потока, влияющих на качество трекинга, включая конфигурацию траекторий объектов и камеры,конфигурацию динамических параметров, параметры входного информационного потока, искажения потока, телеметрия тряски камеры.
3. Математическое моделирование входного информационного видеопотока.
4. Формирование эталонных данных.
5. Вычисление числовых параметров оценки качества сопровождения объекта.
6. Сопоставление вычисленных и эталонных значений.
7. Оценка эффективности АОЭС НКМ на основе сопоставления вычисленных и эталонных значений.

Разработанный программно-алгоритмический комплекс (рис. 2) оценки качества работы АОЭС НКМ, в зависимости от содержания входного визуального сигнала, состоит из следующих независимых модулей:

симулятор – формирует входящее видео, а также записывает исходные данные о движении камеры и целей (в иностранной литературе *Ground Truth*) – информацию о нахождении отметок на каждом кадре, т.е. положения их центров и маски;

визуализатор – формирует видео с маркерами отметок, обнаруженные АОЭС НКМ;

оценщик – предоставляет количественные показатели качества работы телеавтомата; оценщик принимает на вход *Ground Truth* и результат работы АОЭС НКМ, затем проверяет, насколько близки исходные значения с теми, что выдает АОЭС НКМ.

Формирование набора объективных параметров, влияющих на качество трекинга, осуществляется на этапе подготовки исходного видеоизображения. Результатом работы программно-алгоритмического комплекса является соответствие между параметрами входного видео и численными коэффициентами оценки качества сопровождения объекта интереса (трекинга).

Описание симулятора

Симулятор (рис. 3) входного видео состоит из трех отдельных модулей, включая: интерполятор траекторий; интерполятор динамических параметров; генератор видео по модели 2,5-мерной сцены.

Интерполятор траекторий осуществляет преобразование входного набора ключевых точек траек-

[1] *Ловцов Д. А.* Информационные оценки технологической эффективности переработки информации // Научно-техническая информация. Сер. 2. Информ. процессы и системы. – 1997. – № 11. – С. 22 – 26.

Рис. 1. Методическая диаграмма оценки информационной эффективности и функционального диагностирования АОЭС НКМ

торий движения, а также скоростей целей и камеры в плавные траектории, разбитые на кадры с заданной частотой видео.

Интерполятор динамических параметров преобразует набор ключевых точек временной диаграммы динамических параметров в наборы параметров для каждого кадра. Интерполяция между ключевыми точками осуществляется линейно.

Генератор видео по набору дискретных траекторий производит формирование изображения для каждого кадра. Кроме того, с помощью генератора выполняется запись полной информации о сцене, которая в дальнейшем используется для оценки качества трекинга.

Моделью 2,5*D* сцены называется сцена, составленная из упорядоченных по удаленности от наблюдателя двумерных слоев. Большинство элементов сцены явля-

Рис. 2. Архитектура программно-алгоритмического комплекса оценки качества работы АОЭС НКМ

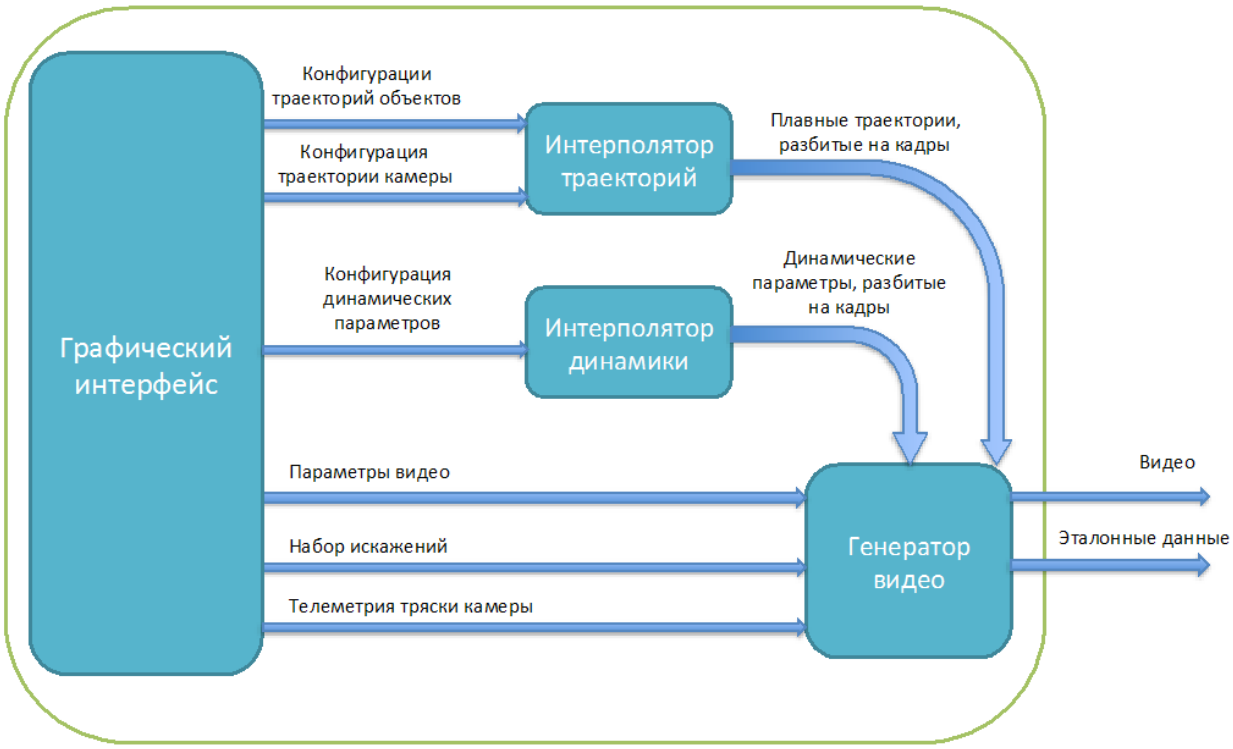


Рис. 3. Высокоуровневая схема симулятора

ются спрайтовыми, т.е. представляют собой не объёмные модели, а анимированные двухмерные изображения, претерпевающие проективные преобразования. В общем случае элементы сцены могут подменяться в зависимости от положения (ракурса) объекта относительно наблюдателя.

В реализации 2,5-мерной модели сцены модель описывается следующими характеристиками:

- камера фиксирована в одной точке, траекторией камеры является совокупность поворотов направления ее оптической оси;
- изображение фона «прикреплено» к бесконечно удаленной сфере;
- изображения целей не меняют ракурс, спрайты целей могут лишь поворачиваться вокруг оптической оси камеры, приближаться и удаляться. При этом удаление цели от наблюдателя можно заменить масштабом спрайта. Данная степень свободы является 2,5-мерным пространством.

Генератор видео представляет собой модуль, реализованный в среде *Matlab*, осуществляющий формирование изображения кадра для каждого момента времени.

Основные функции генератора:

1) определение области фона, попадающей в кадр – для осуществления данной функции изображение масштабируется с учетом удаленности объекта от камеры и фокусного расстояния объектива, далее к нему применяется вектор трансляции и поворот.

2) для каждой траектории цели выполняются следующие действия:

- изображение спрайта цели масштабируется и поворачивается в соответствии с заданными значениями масштаба и угла;
- изображение спрайта накладывается на изображение фона текущего кадра по заданным координатам.

Интерполятор траекторий предназначен для преобразования траектории движения цели в 2,5D-модель. Схема интерполятора траекторий представлена на рис. 4.

Входные данные для симулятора готовятся специально разработанной утилитой, решающей задачу создания плавной траектории движения цели. На рис. 5 изображен пример построения плавной траектории по опорным точкам.

В конфигурации также указывается тип траектории – камера или цель, а также частота кадров видео. Декартовы координаты и скорости указываются в метрах и в метрах в секунду соответственно.

Основной задачей *генератора видео* является создание видеопоследовательности по траекториям движения объектов и камеры. Объекты представлены в виде спрайтов и перемещаются на фоне панорамного изображения. Траектория движения камеры в данном случае описывает связь системы координат кадра и реальной системы отсчета. Кроме того, генератор видео добавляет в каждый кадр искажения в виде помех, параметры которых указаны во входящем задании.

На траекторию движения камеры накладываются вибрации, загруженные из файлов телеметрии. В файле телеметрии представлена информация как о движении

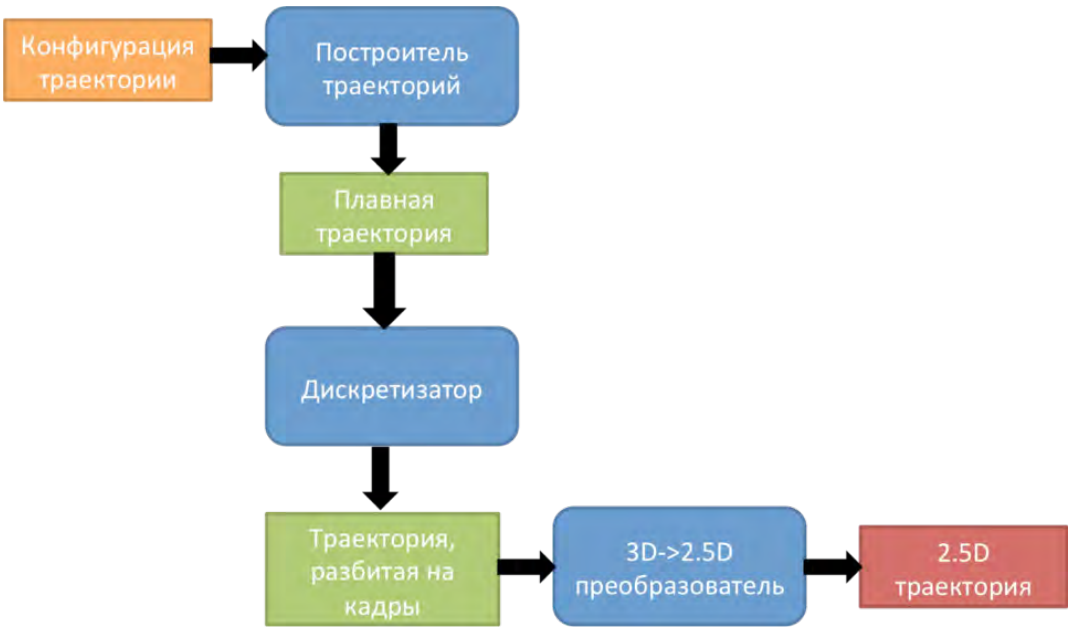


Рис. 4. Вычислитель траекторий

машины относительно земли, так и о вибрациях камеры относительно машины. Таким образом, вычисляется суммарная вибрация камеры относительно земли, которая накладывается на траекторию.

На выход симулятора подаются собираемые в видеопоследовательность изображения сцены, разбитые на кадры, а также набор параметров и *Ground Truth* (запись движений камеры и целей).

Формально-математический аппарат оценки эффективности и функционального диагностирования

На вход АОЭС НКМ подается набор ключевых точек, по которым строится аппроксимированная сплайнами кривая, а также свойства спрайта цели. Ключевые точки траектории цели задаются в земной системе координат. Для определенности считается, что начало координат совпадает с положением камеры, ось $0x$ направлена на север, ось $0y$ – на запад, ось $0z$ – вдоль внешней нормали к земной поверхности.

Для расчета изображения, видимого камерой, требуется ориентация камеры. Для задания направления камеры используются азимутальный и зенитный углы, т.е. в промежуточных расчётах используются сферические координаты. В сферической системе координат (ССК) для задания положения точки в трёх измерениях используются три координаты (r, Θ, φ), где r – расстояние до начала координат; Θ и φ – зенитный и азимутальный углы соответственно.

Если заданы сферические координаты точки, то переход к декартовым осуществляется по формулам

$$\begin{cases} x = r\sin\Theta\cos\varphi, \\ x = r\sin\Theta\sin\varphi, \\ x = r\cos\Theta. \end{cases}$$

Обратный переход от декартовых к сферическим координатам осуществляется по формулам:

$$\begin{cases} r = \sqrt{x^2+y^2+z^2}, \\ \Theta = \arccos\left(\dfrac{z}{\sqrt{x^2+y^2+z^2}}\right) = \operatorname{arctg}\left(\dfrac{\sqrt{x^2+y^2}}{z}\right), \\ \varphi = \operatorname{arctg}\left(\dfrac{x}{y}\right). \end{cases}$$

Рис. 5. Построение плавной траектории по опорным точкам

Панорама представляет собой изображение бесконечно удаленных предметов в эквидистантной цилиндрической проекции. Преобразование в координаты в растре панорамы осуществляется следующим образом:

$$x = (\varphi - \varphi_0)\sin\theta, \quad y = \left(\frac{\pi}{2} - \theta\right)$$

Матрицы вращения вокруг оси декартовой системы координат на угол α в трёхмерном пространстве представлены в виде выражений:

– вращение вокруг оси x (приведена матрица поворота от результирующей системы координат к исходной):

$$M_x(\alpha) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\alpha & -\sin\alpha \\ 0 & \sin\alpha & \cos\alpha \end{pmatrix}.$$

– вращение вокруг оси y (приведена матрица поворота от результирующей системы координат к исходной):

$$M_y(\alpha) = \begin{pmatrix} \cos\alpha & 0 & \sin\alpha \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin\alpha & 0 & \cos\alpha \end{pmatrix}.$$

– вращение вокруг оси z (приведена матрица поворота от результирующей системы координат к исходной):

$$M_z(\alpha) = \begin{pmatrix} \cos\alpha & -\sin\alpha & 0 \\ \sin\alpha & \cos\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad P = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix},$$

$$R = M_z(\omega) \cdot M_x\left(\frac{\pi}{2} - \theta\right) \cdot M_y(\varphi) \cdot P,$$

$$K = \mathrm{diag}(f, f, 1),$$

$$T = K^{-1} \cdot R.$$

Для формирования нового кадра с помощью генератора выполняется преобразование из земной системы координат (*метры*) в систему координат картинной плоскости (*пиксели*).

Выполнено математическое моделирование помех и эффектов:

– *туман* (уменьшение контрастности) – создает полутоновое изображение путем контрастирования исходного полутонового изображения;
– *ошибка экспозиции* – добавляет к значению интенсивности каждой точки исходного изображения величину коррекции экспозиции (*correction*), которая может принимать значения в диапазоне [–1…1];
– *неоднородная засветка* – моделируется точечный источник света, расположенный в левом верхнем углу кадра. Распределение интенсивности от источника в зависимости от расстояния описывается выражением:

$$I = A \cdot e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}},$$

$$\sigma = \max(w, h) \cdot S$$

где S – коэффициент масштаба засветки, принимающий значения в диапазоне $[0\ldots1]$, единица соответствует засветке всего кадра целиком; A – амплитуда засветки, принимающая значения в диапазоне $[0\ldots1]$; w, h – размеры изображения кадра.

– *ошибка* фокусировки симулируется размытием границ объектов;
– *смазанное изображение*, вызванное движением камеры, симулируется путем наложения усредняющего двумерного фильтра, параметризуемого длиной (амплитуда) и углом наклона.

Некоторые типы помех могут приводить к улучшению значений выбранных случайным образом параметров, например, создавать дополнительную текстуру. Для выделения особенностей, созданных искажениями, необходимо осуществить оценку значения каждого параметра до и после наложения искажений. Норма разности данных параметров принимается как компонент метрики величины искажений. Таким образом, «артефактные» ключевые точки учитываются в качестве компонента шума.

Построена физически корректная математическая модель шумов камеры. Процесс возникновения и считывания сигнала имеет следующие особенности. В монохромном изображении пиксели расположены в узлах квадратной сетки. При полном отсутствии света в ячейку стекает темновой ток $i^t_{i,j}$. После окончания экспозиции происходит считывание величины накопленного в каждом пикселе заряда $q_{i,j}$. Основными источниками шумов матрицы являются флуктуации числа фотонов, темновой шум и шум считывания. Число фотонов n, переносимых в единицу времени, представляет собой случайную величину с распределением Пуассона $P(\lambda,n)$. Данный вид шума становится заметным при малой интенсивности света. Шум, вызванный флуктуациями темнового сигнала, определен в виде:

$$n^t = \sqrt{N_t},$$

где N_t – значение темнового сигнала, выраженное в электронах.

Шум считывания связан с тем, что работа электронной схемы считывания сигнала с фоточувствительной матрицы также является источником шума.

Входными параметрами разработанной модели являются:

1) матрица темнового кадра $q^d_{i,j}$ – представляет собой запись темнового сигнала, накопленного за фиксированное время в отсутствии света;

2) матрица калибровки чувствительности пикселей матрицы (*flat field*) – чувствительность пикселей $s_{i,j}$ достаточно однородна и содержит единицы «битых» пикселей r_b, интенсивность которых *flat field* генерируется симулятором в начале очередного прогона и в течение прогона не измеряется;

3) коэффициент преобразования числа накопленных электронов в отсчеты матрицы k;

4) исходный кадр $I_{i,j}$ – исходный кадр рассмотрен как запись интенсивностей света, падающего на каж-

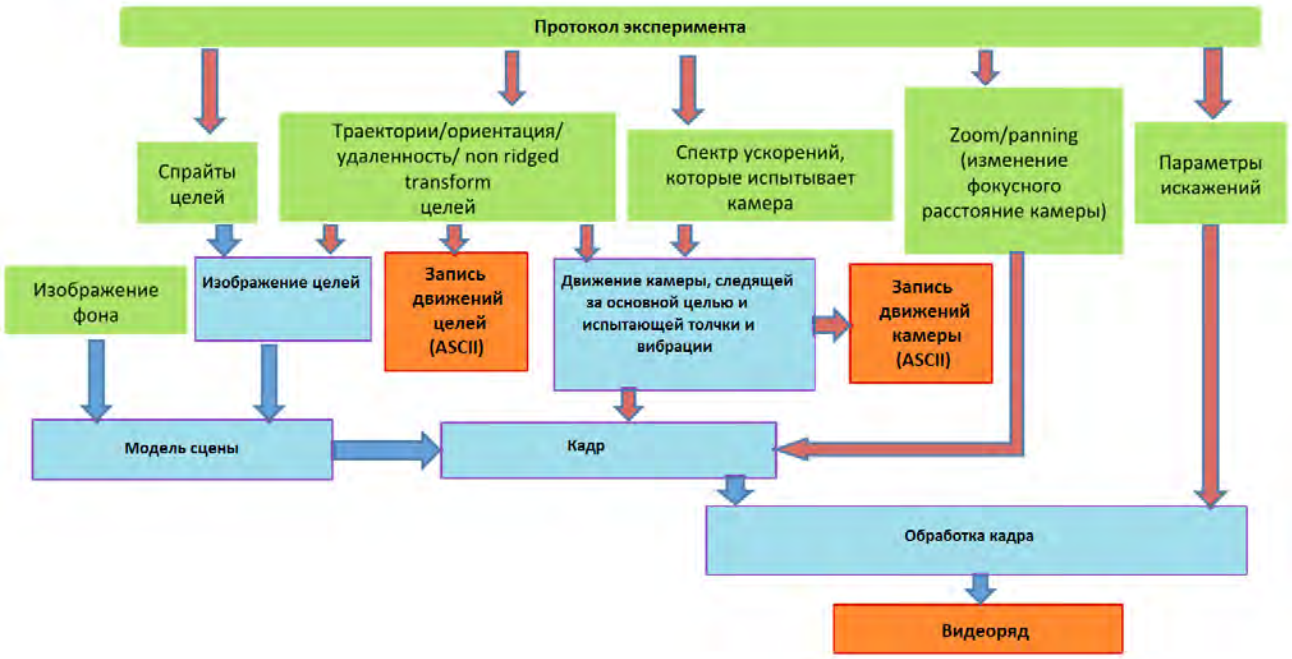


***Рис. 6. Генерация видеоряда и** Ground Truth*

дый пиксель изображения, выраженных в отсчетах камеры за единичное время экспозиции;

5) величина экспозиции – для применения модели из исходного кадра определено количество электронов, накопленных в каждой ячейке матрицы

$$N_{i,j}^{e,l} = k \cdot \tau \cdot I_{i,j}.$$

Вычислены средние количества «темновых» электронов

$$N_{i,j}^{e,t} = k \cdot q_{i,j}^{d} \cdot \tau,$$

где τ – время экспозиции.

На траекторию движения камеры накладываются вибрации, загруженные из файлов телеметрии. В файле телеметрии представлена информация как о движении машины относительно земли, так и о тряске камеры относительно машины. Таким образом, вычисляется суммарная вибрация камеры относительно земли, которая накладывается на траекторию.

На выход симулятора подаются собираемые в видеопоследовательность изображения сцены, разбитые на кадры.

Кроме того, на выходе симулятор формирует: набор параметров; *Ground Truth* (запись движений камеры и целей).

Процесс формирования видеоряда и *Ground Truth* представлен на рис. 6.

Оценка информационной эффективности АОЭС НКМ

В качестве результата оценки рассматривается маска переднего плана или области изображения, занятые отметками. Задачей АОЭС в данном случае является формирование сегментированной по отметкам маски переднего плана для каждого кадра входного видео.

Основными компонентами оценки результата работы являются: сегментация объектов, перезахват, отклонение положения центра, вероятность обнаружения объекта. Общий принцип системы оценки качества работы АОЭС представлен на рис. 7.

В результате сегментации происходит присвоение ярлыков-меток (*labels*) принадлежности к той или иной отметке. Номером отметки считается метка-ярлык большинства видимых пикселей данной отметки.

Вычисляются следующие характеристики оценки:

– доля пикселей, ошибочно отнесенных к данной отметке (*false positive*);
– доля пикселей, ошибочно не отнесенных к данной отметке (*false negative*).

Коэффициенты оценки сегментации численно описываются следующим образом:

– коэффициент истинно задетектированных пикселей отметок:

$$TP = \frac{Fs \cap Ft}{As}.$$

– коэффициент ложно-положительно задетектированных пикселей отметок:

$$TP = \frac{Ft - Fs \cap Ft}{As}.$$

– коэффициент ложно-отрицательно задетектированных пикселей отметок:

$$FN = \frac{-Ft \cap Fs}{As}.$$

Рис. 7. Принцип работы системы оценки качества АОЭС НКМ

где Fs – матрица размера $N \times M$, содержащая исходную бинарную маску переднего плана, полученную в результате симуляции; Ft – матрица размера $N \times M$, содержащая бинарную маску переднего плана, полученную в результате трекинга; As – количество точек Fs со значением 1; At – количество точек Ft со значением 1.

Перезахватом считается ситуация изменения номера отметки. В качестве количественной характеристики определено среднее количество перезахватов, приходящееся на один кадр.

Для определения отклонения положения центра для каждой отметки вычисляется расстояние между ее истинным центром и центром, который вычислил трекер. Затем вычисляется усредненная характеристика по числу отметок и кадров.

Для каждого кадра оценивается успешность q обнаружения объекта в зависимости от размера окрестности ε. При этом успешным обнаружением считается событие, при котором для истинной отметки есть хотя бы один обнаруженный объект, центр которого лежит в радиусе заданной окрестности.

Экспериментальные исследования

С помощью разработанного программно-алгоритмического комплекса проведены экспериментальные исследования алгоритмов первичной обработки видеосигнала:

1) алгоритм выделения уникальных фрагментов (А-1);

2) алгоритм досвязывания совместно движущихся фрагментов объекта (А-2);

3) пирамидальный алгоритм выделения и вычисления свойств объектов, отличающихся от средней интенсивности локального фона [6] (А-3);

4) алгоритм и вычисления свойств объектов, отличающихся от локального фона по уровню серого [16] (А-4).

Основными метриками оценки алгоритмов являются вероятности обнаружения цели и вероятность «ложной тревоги». В ходе эксперимента проводились испытания алгоритмов с помощью имитатора видеосигнала на синтетическом видео и реальных видеозаписях фоноцелевой обстановки, а также исследовалась *пропускная способность* видеосигнала. В результате осуществлялась визуализация и количественная оценка результатов работы каждого из испытываемых алгоритмов. Контроль качества работы алгоритма осуществляется оператором визуально с помощью видеофайла, генерируемого модулем «Визуализатор». В ходе проверки фиксируются количественные характеристики качества работы алгоритма и статистические данные, вычисляемые модулем «Оценщик».

Результаты испытаний в виде усредненных ознакомительных данных представлены в табл. 1.

*Таблица **1***

Результаты испытаний алгоритмов

Метод первичной обработки	Усредненная вероятность обнаружения	Усредненная вероятность «ложной тревоги»
Алгоритм А-1	0,72	0,31
Алгоритм А-2	0,79	0,28
Алгоритм А-3	0,71	0,35
Алгоритм А-4	0,68	0,38

В табл. 1 приведены значения усредненной вероятности обнаружения и усредненной вероятности «ложной тревоги» каждого из испытываемых алгоритмов. В общем случае, ложная тревога – это ситуация, когда отображается наличие цели, в то время как в действительности цели нет. Вероятность ложной тревоги оценивается значением частоты ложной тревоги. Разработанный программно-алгоритмический комплекс обеспечивает *статистический анализ* [11] и оценку информационной эффективности переработки визуальной информации в АОЭС НКМ, а также сравнение с заданными значениями вероятности правильного обнаружения цели и ложной тревоги. Полученные количественные характеристики качества работы алгоритмов позволяют скорректировать их функциональные характеристики и осуществить выбор оптимальных параметров в зависимости от цели дешифрирования.

Заключение

Таким образом, разработан программно-алгоритмический комплекс оценки информационной эффективности и качества многоуровневой автоматизированной оптико-электронной системы наземно-космического мониторинга, основанный на информационно-математических методах симуляции входного сигнала и визуализации информационного сигнала, включающих методы математического моделирования динамических параметров, конфигураций траекторий и шумов камеры и объекта; определены и обоснованы количественные показатели качества и численного контроля результатов работы АОЭС НКМ, включающие интегрированную структуру решения задачи оценки.

Разработана методологическая диаграмма оценки информационной эффективности и функционального диагностирования АОЭС, учитывающая специфические параметры входного информационного потока, а также функциональные характеристики АОЭС, обеспечивающая оценку эффективности АОЭС с помощью сопоставления вычисленных данных и результатов математического моделирования, с обеспечением выбора оптимальных характеристик в зависимости от цели дешифрирования.

Разработан формально-математический аппарат оценки информационной эффективности АОЭС НКМ, основанный на информационно-математических методах симуляции входного сигнала и визуализации информационного сигнала, включающих методы математического моделирования динамических параметров, конфигураций траекторий и шумов камеры и объекта, определены и обоснованы количественные показатели качества и численного контроля результатов работы АОЭС НКМ.

Рецензент: ***Цимбал Владимир Анатольевич,*** *доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации, профессор кафедры автоматизированных систем управления Филиала военной академии имени Петра Великого, г. Серпухов, Российская Федерация.*
E-mail: tsimbalva@mail.ru

Литература

1. Бойков В. А., Колючкин В. Я. Алгоритм автоматического сопровождения изображений объектов // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение. – 2017. – №. 5. – С. 4 – 13.
2. Бурый А. С. Тестирование качества программного обеспечения в процессе его сертификации // Правовая информатика. – 2019.– № 1. – С. 46 – 55. DOI: 10.21681/1994-1404-2019-1-46-55.
3. Бурый А. С.Информационно-математическое обеспечение контроля качества компьютерных программ // Правовая информатика. – 2019. – № 2. – С. 15 – 25. DOI: 10.21681/1994-1404-2019-2-15-25.
4. Ворошилина Е. П.,Тисленко В. И. Анализ методов автоматического сопровождения целей по дальности // Известия Томского политехн. ун-та. Инжиниринг георесурсов. – 2006. – № 8. – С. 67 – 72.
5. Гаврилов Д. А. Программно-аппаратный комплекс тестирования алгоритмов детектирования и локализации объектов в видеопоследовательностях // Научное приборостроение.– СПб.: ИАП РАН, 2019. – Т. 29. – № 1. – С. 149 – 156.
6. Гаврилов Д. А. Нейросетевой алгоритм автоматического обнаружения и сопровождения объекта интереса в видеосигнале // Тр. 16-й нац. конф. по искусственному интеллекту (24 – 27 сентября 2018 г.) В 2-х тт. –Т. 2 / ФИЦ ИУ РАН. – М.: РКП, 2018. – С. 188 – 190.
7. Гаврилов Д. А., Павлов А. В., Щелкунов Д. Н. Аппаратная реализация сжатия динамического диапазона цифровых изображений на ПЛИС Xilinx // Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. –М.: ИРЭ РАН, 2018. – № 10. – Режим доступа: http://jre.cplire.ru/jre/oct18/6/text.pdf, DOI 10.30898/1684-1719.2018.10.6
8. Корзунов О. В., Лужинский А. И. Анализ алгоритмов обнаружения и измерения координат объектов в оптико-электронных системах // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2017. – Т. 3. – № 12. – С. 164 – 171.
9. Ловцов Д. А. Ситуационное планирование процесса переработки измерительной информации в сети АСУ // Теория и системы управления. – 1995. – № 5. – С. 239 – 247.
10. Ловцов Д. А. Эффективность правовых эргасистем в инфосфере // Правовая информатика. – 2020. – № 1. – С. 4 – 14. DOI: 10.21681/1994-1404-2020-1-04-14.

11. Ловцов Д. А., Богданова М. В., Паршинцева Л. С. Основы статистики / Под ред. Д. А. Ловцова. – М.: Росс. гос. ун-т правосудия, 2017. – 160 с. ISBN 978-5-93916-576-1.
12. Ловцов Д. А., Гаврилов Д. А. Формализация проблемы обеспечения эффективности автоматизированной оптико-электронной системы специального назначения // Тр. XXXVIII Всеросс. науч.-техн. конф. «Проблемы эффективности и безопасности функционирования сложных технических и информационных систем» (27 – 28 июня 2019 г.). В 8-ми ч. Ч. 3 / Филиал ВА им. Петра Великого. – Серпухов: ФВА, 2019. – С. 100 – 105.
13. Ловцов Д. А., Гаврилов Д. А. Моделирование оптико-электронных систем дистанционно пилотируемых аппаратов: Монография. – М.: «Технолоджи-3000». – 2019. – 164 с. ISBN 978-5-94472-036-8.
14. Мазо А. М., Маркова Е. И., Лаптева Р. Р. Система наведения РЛС сопровождения на цель // Современные проблемы проектирования, производства и эксплуатации радиотехнических систем: Сб. науч. тр. – Ульяновск: УлГТУ. – 2016. – С. 105 – 107.
15. Перевалов Д. С. Исследование алгоритмов обнаружения и локализации объекта на изображниях в условиях структурных искажений // Вычислительные технологии. – 2009. – Т. 1. – № 14. – С. 94 – 106.
16. Пунь А. Б., Гаврилов Д. А., Щелкунов Н. Н., Фортунатов А. А. Алгоритм адаптивной бинаризации объектов в видеопоследовательности в режиме реального времени // Успехи современной радиоэлектроники. – М.: Радиотехника, 2018. – № 8. – С. 40 – 48.
17. Савченко В. В. Информационная система автоматизации процесса поиска известных (подтвержденных) уязвимостей программного обеспечения // Правовая информатика. – 2011. – № 1. – С.42 – 45.
18. Щелкунов Н. Н.,Гаврилов Д. А., Щелкунов Д. Н. Прикладной программный модуль «Игра» как пример мультиагентного подхода к моделированию действий виртуального противника // Научный вестник оборонно-промышленного комплекса России. – 2018. – № 3. – С. 85 – 94.
19. Щелкунов Н. Н., Гаврилов Д. А., Щелкунов Д. Н. Программно-аппаратный комплекс моделирования, анализа и оценки поведения виртуального противника // Научный вестник оборонно-промышленного комплекса России. – 2018. – № 2. – С. 73 – 79.
20. Courtney P., Thacker N.A. Performance characterisation in computer vision: the role of statistics in testing and design // Imaging Vis. Syst. Theiry.– Assess. Appl. – January 2001. – https://www.researchgate.net/publication/244 1144.

A SOFTWARE AND ALGORITHMIC COMPLEX FOR EVALUATING THE EFFICIENCY OF AN AUTOMATED ELECTRONIC OPTICAL SYSTEM

Dmitrii Gavrilov, *Ph.D. (Technology), doctoral student at the Lebedev Institute of Precision Mechanics and Computer Engineering of the Russian Academy of Sciences, Russian Federation, Moscow.*
E-mail: *gavrilov.da@mipt.ru*

Keywords: *software and algorithmic complex, electronic optical systems modelling, visual information processing, efficiency, indicators, primary video signal processing algorithms, detection and localisation algorithms.*

Abstract.

Purpose of the work: *improving the scientific and methodological basis for evaluating the efficiency and quality of complex technical systems as an element of legal regulation in the field of standardisation.*

Method used: *visual information processing modelling, allowing to automate the process of testing the functioning of a complex, informationally efficient, automated electronic optical system for aerospace monitoring.*

Results obtained: *an integrated structure for solving the problem of evaluating the information efficiency of a complex automated electronic optical system for aerospace monitoring as well as a formal mathematical apparatus for evaluating efficiency and functional diagnostics are developed. For solving this problem a generator is constructed for registering the input video sequence using a set of certain parameters, these can be the object and camera movement trajectories and the distortion of the frame image.*

The achieved result of solving the problem of evaluating the information efficiency and functional diagnostics is the correspondence between the parameters of the input video and the numerical coefficients evaluating the quality of functioning of a complex automated electronic optical system for aerospace monitoring.

References

1. Boikov V. A., Koliuchkin V. Ia. Algoritm avtomaticheskogo soprovozhdeniia izobrazhenii ob"ektov. Vestnik MGTU im. N.E. Baumana, ser. Priborostroenie, 2017, No. 5, pp. 4-13.

2. Buryi A. S. Testirovanie kachestva programmnogo obespecheniia v protsesse ego sertifikatsii. Pravovaia informatika, 2019, No. 1, pp. 46-55. DOI: 10.21681/1994-1404-2019-1-46-55.
3. Buryi A. S. Informatsionno-matematicheskoe obespechenie kontrolia kachestva komp'iuternykh programm. Pravovaia informatika, 2019, No. 2, pp. 15-25. DOI: 10.21681/1994-1404-2019-2-15-25.
4. Voroshilina E. P., Tislenko V. I. Analiz metodov avtomaticheskogo soprovozhdeniia tselei po dal'nosti. Izvestiia Tomskogo politekhn. un-ta, Inzhiniring georesursov, 2006, No. 8, pp. 67-72.
5. Gavrilov D. A. Programmno-apparatnyi kompleks testirovaniia algoritmov detektirovaniia i lokalizatsii ob"ektov v videoposledovatel'nostiakh. Nauchnoe priborostroenie. SPb. : IAP RAN, 2019, t. 29, No. 1, pp. 149-156.
6. Gavrilov D. A. Neirosetevoi algoritm avtomaticheskogo obnaruzheniia i soprovozhdeniia ob"ekta interesa v videosignale. Tr. 16-i nats. konf. po iskusstvennomu intellektu (24-27 sentiabria 2018 g.), v 2-kh tt., t. 2, FITs IU RAN. M. : RKP, 2018, pp. 188-190.
7. Gavrilov D. A., Pavlov A. V., Shchelkunov D. N. Apparatnaia realizatsiia szhatiia dinamicheskogo diapazona tsifrovykh izobrazhenii na PLIS Xilinx. Zhurnal radioelektroniki [elektronnyi zhurnal]. M. : IRE RAN, 2018, No. 10. URL: http://jre.cplire.ru/jre/oct18/6/text.pdf . DOI: 10.30898/1684-1719.2018.10.6.
8. Korzunov O. V., Luzhinskii A. I. Analiz algoritmov obnaruzheniia i izmereniia koordinat ob"ektov v optiko-elektronnykh sistemakh. Izvestiia TulGU, Tekhnicheskie nauki, 2017, t. 3, No. 12, pp. 164-171.
9. Lovtsov D. A. Situatsionnoe planirovanie protsessa pererabotki izmeritel'noi informatsii v seti ASU. Teoriia i sistemy upravleniia, 1995, No. 5, pp. 239-247.
10. Lovtsov D. A. Effektivnost' pravovykh ergasistem v infosfere. Pravovaia informatika, 2020, No. 1, pp. 4-14. DOI: 10.21681/1994-1404-2020-1-04-14.
11. Lovtsov D. A., Bogdanova M. V., Parshintseva L. S. Osnovy statistiki. Pod red. D. A. Lovtsova. M. : Ross. gos. un-t pravosudiia, 2017, 160 pp. ISBN 978-5-93916-576-1.
12. Lovtsov D. A., Gavrilov D. A. Formalizatsiia problemy obespecheniia effektivnosti avtomatizirovannoi optiko-elektronnoi sistemy spetsial'nogo naznacheniia. Tr. XXXVIII Vseross. nauch.-tekhn. konf. "Problemy effektivnosti i bezopasnosti funktsionirovaniia slozhnykh tekhnicheskikh i informatsionnykh sistem" (27-28 iiunia 2019 g.), v 8-mi ch., ch. 3, Filial VA im. Petra Velikogo. Serpukhov : FVA, 2019, pp. 100-105.
13. Lovtsov D. A., Gavrilov D. A. Modelirovanie optiko-elektronnykh sistem distantsionno pilotiruemykh apparatov : monografiia. M. : "Tekhnolodzhi-3000", 2019, 164 pp. ISBN 978-5-94472-036-8.
14. Mazo A. M., Markova E. I., Lapteva R. R. Sistema navedeniia RLS soprovozhdeniia na tsel'. Sovremennye problemy proektirovaniia, proizvodstva i ekspluatatsii radiotekhnicheskikh sistem : sb. nauch. tr., Ul'ianovsk: UlGTU, 2016, pp. 105-107.
15. Perevalov D. S. Issledovanie algoritmov obnaruzheniia i lokalizatsii ob"ekta na izobrazheniiakh v usloviiakh strukturnykh iskazhenii. Vychislitel'nye tekhnologii, 2009, t. 1, No. 14, pp. 94-106.
16. Pun' A. B., Gavrilov D. A., Shchelkunov N. N., Fortunatov A. A. Algoritm adaptivnoi binarizatsii ob"ektov v videoposledovatel'nosti v rezhime real'nogo vremeni. Uspekhi sovremennoi radioelektroniki. M. : Radiotekhnika, 2018, No. 8, pp. 40-48.
17. Savchenko V. V. Informatsionnaia sistema avtomatizatsii protsessa poiska izvestnykh (podtverzhdennykh) uiazvimostei programmnogo obespecheniia. Pravovaia informatika, 2011, No. 1, pp. 42-45.
18. Shchelkunov N. N., Gavrilov D. A., Shchelkunov D. N. Prikladnoi programmnyi modul'"Igra" kak primer mul'tiagentnogo podkhoda k modelirovaniiu deistvii virtual'nogo protivnika. Nauchnyi vestnik oboronno-promyshlennogo kompleksa Rossii, 2018, No. 3, pp. 85-94.
19. Shchelkunov N. N., Gavrilov D. A., Shchelkunov D. N. Programmno-apparatnyi kompleks modelirovaniia, analiza i otsenki povedeniia virtual'nogo protivnika. Nauchnyi vestnik oboronno-promyshlennogo kompleksa Rossii, 2018, No. 2, pp. 73-79.
20. Courtney P., Thacker N.A. Performance characterisation in computer vision: the role of statistics in testing and design. Imaging Vis. Syst. Theory. Assess. Appl. January 2001. URL: https://www.researchgate.net/publication/2441144 .

ИНФОРМАЦИОННАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ РАДИОТЕХНОЛОГИЙ НА РАЗВИТИЕ ИНФРАСТРУКТУРЫ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

*Сухов А.В., Зайцев М.А.**

Ключевые слова: *электромагнитная совместимость, информационная оценка, технологическая инфраструктура, сложная техническая система, транспортный комплекс, радиотехнологии, энтропия покрытия, методика, показатели, эффективность, экспертное оценивание.*

Аннотация.

Цель работы: *совершенствование научно-методической базы информационной оценки эффективности сложных технических систем с использованием энтропии покрытия.*

Метод: *концептуально-логическое моделирование информационных процессов, метод анализа иерархий, экспертное оценивание, метод ранговой корреляции Кендалла.*

Результаты: *на примере развития радиоэлектронных средств и радиотехнологий транспортного комплекса Российской Федерации приведён основанный на энтропии покрытия подход к информационной оценке влияния перспективных технологий на эффективность развития технологической инфраструктуры. Представленный материал показывает, как можно с единых информационных позиций с применением энтропии покрытия проводить оценивание возможных решений для сложных технических систем.*

DOI: 10.21681/1994-1404-2020-3-40-52

Введение

Одной из важных задач, поставленных в целях развития технологической инфраструктуры, является расстановка приоритетов по возможным направлениям развития рассматриваемого технологического комплекса, определяющих оптимальную стратегию управления ресурсами. Эта задача связана с оптимизацией *распределения ресурсов* [6] с целью получения максимального эффекта при развитии технологического комплекса.

Для решения подобных задач существует достаточно много оптимизационных подходов, основанных на различных методах оптимизации. Наиболее приемлемыми являются методы оптимизации, в которых сформулирована *целевая функция*, явно отражающая физическую цель решаемой задачи. Общим *недостатком* существующих подходов является то, что постановка таких задач осуществляется в предметной области отношений, в которой цель и приоритеты можно сформулировать только в виде ограничений на реальные ресурсы. Но при этом «затеняется» целевое назначение, достаточность или недостаточность имеющихся ресурсов.

Устранить эти недостатки помогает применение информационного подхода к оптимизации, основанного на *энтропии покрытия* – информационной мере, отражающей целевую достаточность или недостаточность имеющихся и динамически изменяющихся ресурсных показателей [6, 13, 14, 16].

1. Методические основы оценки влияния перспективных РЭС и радиотехнологий на эффективность развития технологической инфраструктуры транспортного комплекса Российской Федерации

В качестве примера рассмотрим методический подход к оценке влияния перспективных радиоэлектронных средств (РЭС) и радиотехнологий, рассматриваемых в рамках конференции «ВКР-19»[1] международного

[1] Последняя (проходит один раз в 3–4 года) Всемирная конференция радиосвязи (ВКР) прошла с 28 октября по 22 ноября 2019 г. в Шарм-аль-Шейхе (Египет) с целью пересмотра Регламента электросвязи – международного договора, регулирующего использование

* ***Сухов Андрей Владимирович,*** *доктор технических наук, профессор, старший научный сотрудник научно-производственного объединения «Специальная техника и связь», Российская Федерация, г. Москва.*

E-mail: avs57@mail.ru

Зайцев Михаил Алексеевич, *кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры информационных систем Московского университета имени С. Ю. Витте, Российская Федерация, г. Москва.*

E-mail: mihey-82@mail.ru

сообщества по электросвязи, прошедшей в 2019 г., на эффективность развития технологической инфраструктуры транспортного комплекса Российской Федерации (ТИТК РФ). Такая методика должна обеспечивать оценку влияния выполнения пунктов повестки дня (ППД) «ВКР-19» на эффективность развития ТИТК РФ по выбранным *показателям* эффективности.

Основными разделами методики оценки влияния перспективных РЭС и радиотехнологий на эффективность развития ТИТК РФ являются:

1) выбор и обоснование показателей эффективности (ПЭ) оценки развития ТИТК РФ;

2) ранжирование показателей эффективности по значимости для развития ТИТК РФ и задание коэффициентов приоритета;

3) для каждого ППД из определённых в Техническом задании на НИР ППД «ВКР-19» установление повышения эффекта от его выполнения (в процентах) по каждому показателю эффективности. При этом учитывается знак значения, определяемый физическим смыслом показателя: положительные значения ориентированы на рост эффективности, а отрицательные – на издержки, связанные с технической реализацией;

4) по каждому ППД «ВКР-19» с учётом рангов ПЭ рассчитываются обобщённые значения роста эффекта и издержек;

5) по результатам расчётов значений роста эффекта и издержек проводится расчёт энтропии покрытия, результаты выводятся в форме гистограмм и таблиц и по ним проводится аналитическая оценка совокупного *информационного эффекта* [2].

Теоретическими основами методики являются:

- применение метода анализа иерархий (Т. Саати[2]) [8];
- экспертное выставление оценок по показателям эффективности для рассматриваемых ППД «ВКР-19»;
- применение информационной оценки эффективности, основанной на энтропии покрытия.

Разделы методики по п. 2 и 4 ориентированы на работу экспертов. По п. 2 эксперты должны задать значения в матрицы попарных сравнений, по которым проводится расчёт приоритетов ПЭ, а по п. 4 – назначить значения роста эффекта и издержек в процентах для каждого ППД «ВКР-19» по всем показателям. Для этих целей разрабатываются специальные таблицы задания числовых значений.

Мнения экспертов, что естественно, могут различаться. Для достижения большего схождения их результатов могут использоваться различные подходы. Степень расхождения оценок экспертов можно охарактеризовать с использованием *коэффициентов конкордации Кендалла* [18].

Обосновать достаточность информационного подхода, основанного на энтропии покрытия, поможет определение её основных свойств.

2. Основные свойства энтропии покрытия

Энтропия покрытия (ЭП) – теоретико-множественная мера неопределённости сведения о соответствии параметров объекта их нормативным значениям относительного покрытия по приведению к норме множества реальных технических параметров объекта множеством требуемых параметров – определяется следующим образом [6, 13]:

$$H_{\text{п}} = k \log_2 \frac{\|(D_{\text{р}} \backslash D_{\text{н}}) \cup D_{\text{н}}\|}{\|D_{\text{н}}\|}, \textit{бит}, \qquad (1)$$

где $D_{\text{р}}$ – множество реальных показателей; $D_{\text{н}}$ – множество нормативных показателей; \ – операция разности множеств; $\| \, . \, \|$ – первая норма.

Определение 1: элемент покрытия $P_{\text{п}}$ – аргумент функции логарифма энтропии покрытия

$$P_{\text{п}} = \frac{\|(D_{\text{р}} \backslash D_{\text{н}}) \cup D_{\text{н}}\|}{\|D_{\text{н}}\|}.$$

Определение 2: количество $I_{\text{п}}$ информации покрытия является величиной, равной разности энтропии покрытия в начальный момент времени и энтропии покрытия в текущий момент времени, т.е. информация покрытия определяет состояние сложного технического комплекса (СТК) на текущем этапе функционирования.

Выражение для информации покрытия:

$$I_{\text{п}} = H_{\text{п}}(D_0) - H_{\text{п}}(D_t). \qquad (2)$$

Определение 3*:* условная энтропия $H_{\text{п}/i}$ покрытия – энтропия покрытия объекта, рассчитанная только по отдельному (отдельным) компоненту (компонентам) вектора показателей:

$$H_{\text{п}/i}(D) = H_{\text{п}}(D_i) = k \log \|(D_{\text{р}i} \backslash D_{\text{т}i}) \cup D_{\text{т}i}\| \,/\, \|D_{\text{т}i}\|, \; D_i \subseteq D. \qquad (3)$$

Определение 4*:* количество информации $I_{\text{п}i}$ элемента – количественная величина, отражающая характер участия элемента в ходе проведённых операций за время по его взаимодействию с другими элементами и (или) объектом, равная разности ЭП элемента до проведения операций и после.

$$I_{\text{п}i}(\Delta t) = H_i(t) - H_i(t + \Delta t). \qquad (4)$$

Определение 5: операция – последовательность действий элемента, включающая анализ ситуации, выработку управляющего воздействия и его реализацию, направленная на взаимодействие с другим элементом или с объектом.

Рассмотрим *свойства* энтропии покрытия.

Теорема 1. Энтропия покрытия является неотрицательной, монотонно возрастающей по элементу покрытия функцией (*свойство* 1).

На основании выражения (1) значения аргумента логарифмической функции не могут принимать значения меньше, чем единица, что следует из простого соотношения множеств:

$$D_{\text{т}} \subseteq [(D_{\text{р}} \backslash D_{\text{т}}) \cup D_{\text{т}}]. \qquad (5)$$

радиочастотного спектра, а также геостационарной и негеостационарной спутниковых орбит.

[2] Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. – М.: Радио и связь, 1993. – 278 с.

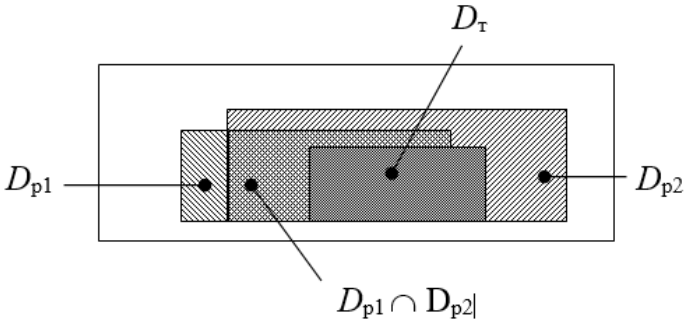


Рис. 1. Диаграмма Венна: соотношение между двумя множествами реальных показателей и множеством требуемых показателей

С учетом выражения для первой нормы:

$$\|\{r_i\}\|_1 = \sum_{i=1}^{m} |r_i| \quad (6)$$

и её свойств

$$\|D_т\|_1 \le \left\|(D_p \backslash D_т) \cup D_т\right\|_1 \Rightarrow$$
$$\Rightarrow \frac{\left\|(D_p \backslash D_т) \cup D_т\right\|_1}{\|D_т\|} \ge 1. \quad (7)$$

Из (7) следует, что функция логарифма от левой части (7) неотрицательная величина:

$$k \log \frac{\left\|(D_p \backslash D_т) \cup D_т\right\|_1}{\|D_т\|} \ge 0. \quad (8)$$

Следовательно, подтверждена *неотрицательность* энтропии покрытия.

Монотонное возрастание следует из свойств логарифмической функции, которая является монотонно возрастающей.

Теорема 2. Условная энтропия покрытия не превосходит безусловную (*свойство* 2), т.е.:

$$H_п(D) \ge H_{п/i}(D_i). \quad (9)$$

Условная энтропия определяется на подмножестве множества технических показателей. Выразим множество технических показателей через заданное энтропией подмножество и через его дополнение:

$$D_i \subseteq D \Rightarrow D = (D \backslash D_i) + D_i.$$

Тогда элемент покрытия для множества D равен:

$$P_п(D) = P_п(D \backslash D_i)\, P_п(D_i),$$

что следует из свойств первой нормы. С учётом свойства неотрицательности справедливо:

$$H_п(P_п(D)) = k \log\, [P_п(D \backslash D_i) P_п(D_i)] =$$
$$= H_п(P_п(D \backslash D_i)) + H_{п/i}\,(P_п(D_i)) \ge H_{п/i}(P_п(D_i)), \quad (10)$$

Теорема 3. Минимальное значение энтропии покрытия равно нулю (*свойство* 3):

$$H_{п\,\min} = 0. \quad (11)$$

Минимальным множеством $[D_p \backslash D_т \cup D_т]$ является множество $D_т$. В этом случае множество требуемых показателей $D_т$ полностью покрывает множество реальных показателей D_p и разность множеств реальных и требуемых показателей является пустым. Тогда аргументом логарифмической функции в (1) является отношение:

$$\|D_т\| / \|D_т\| = 1, \log 1 \equiv 0.$$

Теорема 4. Если множество показателей качества объекта можно разбить на непересекающиеся подмножества, то энтропия покрытия равна сумме условных энтропий покрытия по непересекающимся подмножествам (*свойство* 4 аддитивности):

$$H_п(D) = \sum_{i=1}^{m} H_п(D_i), D = \bigcup_{i=1}^{m} D_i,$$
$$\forall i, j: D_i \cap D_j = \emptyset. \quad (12)$$

Для доказательства учтём, что в определении энтропии покрытия (1) используется первая норма и то, что элементом множества показателей является вектор. Определим, что подмножеством множества показателей объекта является компонент или группа компонентов общего вектора показателей объекта:

$$D = \bigcup_{k=1,\dots,l} D_k, \quad D_k = \bigcup_{i=1,\dots,I_k} D_i,$$
$$\forall k, i \in \{1, \dots, l\}: D_k \cap D_i = \emptyset.$$

где l – количество подмножеств в разбиении.

На основании закона ассоциативности для элемента покрытия имеем:

$$P_п(D) = \prod_{k=1}^{l} P_п(D_k),$$

С учётом этого для энтропии покрытия имеем:

$$H_п\big(P_п(D)\big) = k \log P_п(D) = k \log \prod_{k=1}^{l} P_п(D_k)$$
$$= \sum_{k=1}^{l} k \log P_п(D_k) = \sum_{k=1}^{l} H_п[P_п(D_k)]\,.$$

Таким образом, свойство 4 доказано.

Рассмотрим *выполнение требований (аксиом) к метрическому пространству* для энтропии покрытия. Для этого используем (1) в качестве определения расстояния между элементами этого пространства. Тогда расстояние между элементами информационного пространства имеет вид:

$$H_п = k \log \frac{\left\|\left((D_{p1} \cup D_{p2}) \backslash (D_{p1} \cap D_{p2})\right) \cup D_т\right\|}{\|D_т\|} \quad (13)$$

Соотношение между элементами информационного пространства поясняет соотношение множеств, показанное на диаграмме Венна (рис. 1).

Для метрического пространства должны выполняться следующие аксиомы – неотрицательности, симметрии расстояния, неравенства треугольника.

Теорема 5. Неотрицательность расстояния, т.е.:

$$\rho(H_{п1}, H_{п2}) \geq 0. \quad (14)$$

В числителе (13) определяется первая норма множества, включающего в качестве подмножества множество $D_т$, а в знаменателе – множество $D_т$. Из свойств первой нормы следует, что норма подмножества не превосходит норму самого множества. Числитель не меньше знаменателя, следовательно, логарифм берётся от функции, не меньшей единицы. Таким образом, неотрицательность доказана.

Если вместо множества $D_{р2}$ подставить в выражение (13) множество $D_{р1}$, то в числителе множество дополнения является пустым и числитель дроби станет равен знаменателю. Тогда логарифм равен нулю. Следовательно, для любых аргументов ρ: $\rho(H_{п1}, H_{п2}) \geq 0$ при $D_{р1} \neq D_{р2}$ и если $D_{р1} = D_{р2}$, то $H_{п1} = H_{п2} = H_п$, $\rho(H_п, H_п) = 0$.

Теорема 6. Расстояние по информационной мере (13) симметрично, т.е.:

$$\rho(H_{п1}, H_{п2}) = \rho(H_{п2}, H_{п1}). \quad (15)$$

В выражении (13) операция симметрична к порядку использования множеств – из объединения двух множеств вычитается их пересечение. Это следует из свойств множеств. В результате выполнения этой операции мы имеем множество, состоящее из элементов, не входящих ни в одно из двух исходных множеств. Отсюда следует симметричность меры.

Теорема 7. Выполняется неравенство треугольника, т.е.:

$$\rho(H_{п1}, H_{п2}) \leq \rho(H_{п1}, H_{п3}) + \rho(H_{п2}, H_{п3}). \quad (16)$$

Неравенство треугольника определено на анализе трёх множеств: $D_{р1}$, $D_{р2}$, $D_{р3}$. От неравенства (16) можно перейти к эквивалентному, которое получается заменой множества $D_{р3}$ на множество требуемых показателей:

$$\rho(H_{п1}, H_{п2}) \leq \rho H_{п1}, H_т) + \rho(H_{п2}, H_т). \quad (17)$$

Подставив в (13) в качестве элемента множество требуемых показателей, получим выражение (1) для множества $D_{р1}$. Поэтому вместо (17) можем записать:

$$\rho(H_{п1}, H_{п2}) \leq H_п(D_{р1}) + H_п(D_{р2}). \quad (18)$$

При этом следует обратить внимание на то, что энтропия покрытия является расстоянием по мере (13) между энтропией покрытия для множества реальных показателей и энтропией покрытия для множества требуемых показателей, причём последняя равна нулю – нулевой элемент информационного пространства:

$$\rho(H_п(D_{р1}), H_п(D_т)) = H_п(D_{р1}), \ H_п(D_т) = 0. \quad (19)$$

Докажем неравенство (17). Разобьём объединение множеств $D_{р1}$ и $D_{р2}$ на три непересекающихся множества

$$D_{р1} \cup D_{р2} = [D_{р1} \backslash (D_{р1} \cap D_{р2})] \cup (D_{р1} \cap D_{р2}) \cup (D_{р1} \cap D_{р2}) \cup [D_{р2} \backslash (D_{р1} \cap D_{р2})]. \quad (20)$$

В соответствии со *свойством* 4 для энтропии покрытия по этим множествам имеем:

$$H_п(D_{р1} \cup Dp2) = H_п[D_{р1} \backslash (D_{р1} \cap D_{р2})] + H_п(D_{р1} \cap Dp2) + H_п\,[D_{р2} \backslash (D_{р1} \cap D_{р2})]. \quad (21)$$

Определим энтропию покрытия для множества

$$[D_{р1} \backslash (D_{р1} \cap D_{р2})] \cup [D_{р2} \backslash (D_{р1} \cap D_{р2})],$$

являющегося очевидным объединением двух непересекающихся множеств. Для этого подставим это множество в выражение (1) и сравним его с выражением (13) с учётом *свойства* 4 для энтропии покрытия:

$$\rho(H_{п1}, H_{п2}) = H_п\,\{[D_{р1} \backslash (D_{р1} \cap D_{р2})] \cup [D_{р2} \backslash (D_{р1} \cap D_{р2})]\} = H_п\,[D_{р1} \backslash (D_{р1} \cap D_{р2})] + H_п[D_{р2} \backslash (D_{р1} \cap D_{р2})]. \quad (22)$$

Разобьём множества $D_{р1}$ и $D_{р2}$ на непересекающиеся множества каждое и определим для них энтропию покрытия

$$H_п(D_{р1}) + H_п(D_{р2}) = H_п[D_{р1} \backslash (D_{р1} \cap D_{р2})] + 2H_п(D_{р1} \cap D_{р2}) + H_п[D_{р2} \backslash (D_{р1} \cap D_{р2})]. \quad (23)$$

Теперь сравним (21), (22), (23) с учётом неотрицательности энтропии покрытия $H_п(D_{р1} \cap D_{р2})$ (*свойство* 1):

$$\rho(H_{п1}, H_{п2}) \leq H_п(D_{р1} \cup D_{р2}) \leq H_п(D_{р1}) + H_п(D_{р2}). \quad (24)$$

Таким образом, аксиома о неравенстве треугольника доказана.

Дополнительно доказано, что расстояние между двумя элементами информационного пространства не превосходит энтропию покрытия объединения множеств реальных показателей для этих элементов.

Также доказано, что энтропия покрытия объединения множеств реальных показателей не превосходит сумму энтропий покрытия этих множеств.

3. Показатели эффективности развития технологической инфраструктуры транспортного комплекса Российской Федерации

Ожидаемая эффективность развития технологической инфраструктуры транспортного комплекса Российской Федерации может быть сформулирована на основании анализа следующих руководящих документов:

- Государственная программа Российской Федерации «Развитие транспортной системы»;
- Федеральная целевая программа «Развитие транспортной системы России (2010 – 2020 годы)»;
- Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года.

На основании ожидаемой эффективности развития ТИТК РФ, а также учитывая существующую базу РЭС транспортно-технологической инфраструктуры, могут быть сформулированы *показатели эффективности,* по которым оценивается влияние выполнения пунктов повестки дня «ВКР-19» на транспортный комплекс Российской Федерации. Эти показатели эффективности, которые следует задавать для каждого ППД «ВКР-19» в процентах, следующие:

1) интегрирование транспортного комплекса РФ в мировую транспортно-технологическую инфраструктуру;

2) снижение эксплуатационных издержек;

3) повышение безопасности;

4) качество работы линий связи и управления на транспорте;

5) внедрение инновационных транспортных технологий;

6) повышение эффективности работы технологической инфраструктуры и транспортного комплекса РФ;

7) повышение конкурентоспособности на мировом рынке;

8) дополнительное привлечение инвестиций;

9) степень использования существующей транспортно-технологической инфраструктуры.

Интегрирование транспортного комплекса РФ в мировую транспортно-технологическую инфраструктуру учитывает результаты выполнения пунктов повестки дня «ВКР-19» по степени связанности технологической базы транспортно-технологического комплекса (ТТК) РФ с аналогичными средствами мирового ТТК, возможности их совместного использования, связанность и взаимодействие всех входящих в их состав элементов, что обеспечивает единое гармоничное использование и развитие ТТК.

Снижение эксплуатационных издержек учитывает развитие ТТК, направленное в том числе и на сокращение затрат от его эксплуатации, что является продуктом научно-технического прогресса в затрагиваемых областях при условии выполнения рассматриваемых ППД «ВКР-19».

Показатель повышения безопасности характеризует обеспечение (повышение) безопасности перевозок, транспортировки грузов, эксплуатации соответствующих технических средств, связанное с выполнением рассматриваемых ППД «ВКР-19».

Повышение качества работы линий связи и управления на транспорте характеризует степень развития и совершенствования телекоммуникаций от выполнения рассматриваемых ППД «ВКР-19»: увеличение информационного трафика и скорости информационного обмена, обеспечение заданного уровня качества при передаче сообщений, повышение надёжности и оперативности каналов управления как структурными подразделениями, входящими в состав ТТК РФ, так и транспортными средствами.

Внедрение инновационных транспортных технологий характеризует уровень влияния на ТТК РФ результатов применения открытий, изобретений, новых оригинальных технологий, знаний, умений и др., связанных с выполнением рассматриваемых ППД «ВКР-19».

Повышение эффективности работы технологической инфраструктуры и транспортного комплекса РФ показывает, на сколько процентов возрастёт уровень решения поставленных перед ТТК РФ задач при реализации рассматриваемых ППД «ВКР-19».

Повышение конкурентоспособности на мировом рынке предусматривает степень повышения спроса на услуги ТТК РФ не только отечественными, но и зарубежными пользователями транспортных услуг при реализации рассматриваемых ППД «ВКР-19», что может быть обеспечено расширением спектра предоставляемых услуг, повышением их оперативности, снижением стоимости, обеспечением безопасности и др.

Уровень дополнительного привлечения инвестиций обеспечивается спектром, качеством и привлекательностью предоставляемых транспортных услуг, связанных с выполнением рассматриваемых ППД «ВКР-19».

Степень использования существующей транспортно-технологической инфраструктуры характеризует возможности по использованию существующей базы ТТК РФ, не требующей дополнительных расходов. Однако этот показатель следует воспринимать как уровень необходимых дополнительных издержек, обеспечивающий возможность решения перспективных задач для ТТК РФ, связанных с рассматриваемыми ППД «ВКР-19», которые в той или иной степени могут быть решены существующим отечественным ТТК.

4. Оценка сравнительной значимости показателей эффективности технологической инфраструктуры и транспортного комплекса Российской Федерации

Значимость приведённых показателей эффективности на оценку развития ТИТК РФ различная и может быть оценена экспертами в рассматриваемой области. Наилучший подход для ранжирования и оценки значимости ПЭ даёт *метод анализа иерархий* (МАИ), основанный на попарных сравнениях ПЭ. Этот метод позволяет дать количественную оценку факторам, которые обычно не поддаются эффективной количественной оценке.

Совершенной согласованности оценок значимости ПЭ на практике трудно достигнуть. Под *согласованностью* здесь подразумевается не просто традиционное требование транзитивности предпочтений (если один ПЭ предпочтительнее второго, а второй предпочтительнее третьего, то первый ПЭ должен быть предпочтительнее третьего), а фактическая степень предпочтения, которая проходит через всю последовательность сравниваемых ПЭ. *Несогласованность* означает отсутствие пропорциональности, которое может вызвать нарушение транзитивности, а может и не вызвать его. Применяемый метод анализа иерархий для исследования согласованности не только показывает несогласованность при отдельных сравнениях, но и дает численную оценку того, как сильно нарушена согласованность для всей рассматриваемой задачи.

Попарные сравнения позволяют повысить согласованность путем использования всей возможной информации. Для того чтобы измерения воспроизводили реальность, делаются следующие *предположения*[3]:

1. Физическая реальность согласована, и при контролируемых условиях от опыта к опыту можно рассчитывать на получение одинаковых результатов.

2. Суждения должны стремиться к согласованности, являющейся желаемой целью. У эксперта могут быть весьма согласованные мысли, которые не соответствуют реальным ситуациям в мире. Согласованность явля-

[3] Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. М.: Радио и связь, 1993. 278 с.

ется центральной проблемой в конкретных оценках, в суждениях и в мыслительном процессе.

3. Для получения лучших оценок реальности, при проведении суждений следует систематически направлять оценки на повышение объективности и понижение слишком большой субъективности.

4. Для получения хороших результатов (соответствующих реальности) требуется:

а) применить математику для построения правильной теории, которая предоставит численные шкалы суждений и других сравнительных измерений;

б) использовать шкалу, которая будет различать суждения так, чтобы обеспечить соответствие между качественными суждениями и числами этой шкалы;

в) иметь возможность воспроизводить измерения реальности, которые уже известны из физики и экономики;

г) иметь возможность определить величину несогласованности.

Используемый подход к оценке шкал отношений основан на максимальном собственном значении *матрицы попарных сравнений* ПЭ и позволяет измерить отклонение от согласованности. При этом обеспечивается сравнение суждений, полученных на основе информированности, с разобщёнными или случайными суждениями, что служит средством оценки отклонения от основной шкалы отношений [12].

При попарных сравнениях ПЭ по значимости между собой используется шкала оценок, представленная в табл. 1. Наибольший вклад в исследование вопроса стимулов и реакций внесли Э. Вебер (1795–1878), Г. Фехнер (1801–1887) и С. Стивенс (1906–1973).

Матрица попарных сравнений A размера $n \times n$, получаемая с применением правил, приведённых в табл. 1, является положительной обратно-симметричной, т.е. все её элементы связаны обратной зависимостью:

$$a_{ij} = 1/a_{ji}, \quad (25)$$

Таблица 1

Шкала попарных сравнений значимости ПЭ

Степень важности	Определение	Объяснение
1	Одинаковая значимость	Два действия вносят одинаковый вклад в достижение цели
3	Некоторое преобладание значимости одного действия перед другим (слабая значимость)	Опыт и суждение дают лёгкое предпочтение одному действию перед другим
5	Существенная или сильная значимость	Опыт и суждение дают сильное предпочтение одному действию перед другим
7	Очень сильная или очевидная значимость	Предпочтение одного действия перед другим очень сильно. Его превосходство практически явно
9	Абсолютная значимость	Свидетельство в пользу предпочтения одного действия другому в высшей степени предпочтительны
2, 4, 6, 8	Промежуточные значения между соседними значениями шкалы	Ситуация, когда необходимо компромиссное решение
Обратные величины приведённых выше чисел	Если ПЭ *i* при сравнении с ПЭ *j* приписывается одно из приведённых выше чисел, то ПЭ *j* при сравнении с ПЭ *i* приписывается обратное значение	Обоснованное предположение
Рациональные значения	Отношения, возникающие в заданной шкале	Если постулировать согласованность, то для получения матрицы требуется n числовых значений

а все элементы главной диагонали равны единице, т.е.:

$$\forall i = 1 \ldots n: a_{ii} = 1. \quad (26)$$

Максимальное собственное значения матрицы является решением уравнения:

$$|A\lambda - \lambda E| = 0, \quad (27)$$

где λ – собственное число матрицы; E – единичная матрица; $|\cdot|$ – операция взятия определителя матрицы.

Собственные числа матрицы являются корнями получаемого в ходе решения полинома n-й степени. Для уравнений 3-й степени такие корни находятся сравнительно легко. Для нахождения корней уравнений 4-й степени существуют методы Феррари, Декарта-Эйлера и др. [4]. Для решения уравнений более высокого порядка обычно используют численные методы. На практике лучше всего в этих целях использовать специальные математические пакеты прикладных программ [9].

Для уравнений n-й степени существует n корней. Эти корни могут быть кратными и комплексно-сопряжёнными. Но для положительной обратно-симметричной матрицы будет всегда существовать максимальное действительное положительное собственное значение. Для максимального собственного значения этой матрицы всегда справедливо неравенство $\lambda_{\max} \geq n$, которое становится равенством только для абсолютно согласованной матрицы.

Вычисление вектора приоритетов ПЭ по данной матрице в математических терминах означает вычисление главного собственного вектора, который после нормализации становится вектором приоритетов. Собственный вектор квадратной матрицы для i-го собственного значения является ненулевым решением уравнения:

$$Ax = \lambda x. \quad (28)$$

В отсутствие ЭВМ, позволяющей точно решить эту задачу, можно получить оценки этого вектора x следующими четырьмя способами, которые представлены *в порядке увеличения точности оценок*:

1. Суммировать элементы каждой строки и нормализовать делением каждой суммы на сумму всех элементов; сумма полученных результатов будет равна единице. Первый элемент результирующего вектора будет приоритетом первого объекта, второй – второго объекта и т. д.

2. Суммировать элементы каждого столбца и получить обратные величины этих сумм. Нормализовать их так, чтобы их сумма равнялась единице, разделить каждую обратную величину на сумму всех обратных величин.

3. Разделить элементы каждого столбца на сумму элементов этого столбца (т. е. нормализовать столбец), затем сложить элементы каждой полученной строки и разделить эту сумму на число элементов строки. Это – процесс усреднения по нормализованным столбцам.

4. Умножить n элементов каждой строки и извлечь корень n-й степени, т.е. вычислить среднее гармоническое для каждой строки матрицы. Нормализовать полученные числа:

$$x_i^* = \left[\prod_{j=1}^{n} a_{ij}\right]^{1/n}. \quad (29)$$

Оценки, получаемые способом 4 для матриц, согласованных в достаточной степени, для практических ситуаций будут незначительно отличаться от оценок, полученных точными вычислениями. Тем более, что сам экспертный подход [12] к составлению матрицы попарных сравнений предусматривает определённые допуски на полученные результаты.

При проведении практических расчётов рекомендуется использовать электронные таблицы *Excel* и проводить расчёты по 4-му способу. Решение этой задачи с требуемой точностью можно осуществить в программной среде *MathCad*.

В выражении (28) просуммируем строки векторов слева и справа и воспользуемся условием нормировки вектора x, тогда получим оценку для вычисления главного собственного значения матрицы A:

$$\lambda_{max}^* = \sum_{i=1}^{n} x_i^* \sum_{j=1}^{n} a_{ji}. \quad (30)$$

Главное (максимальное) собственное значение λ_{max} используется для оценки согласованности матрицы сравнений и отражает пропорциональность предпочтений. Чем ближе λ_{max} к n (числу показателей эффективности), тем более согласован результат.

Отклонение от согласованности матрицы попарных сравнений определяется индексом согласованности (ИС):

$$\text{ИС} = (\lambda_{max} - n)/(n - 1). \quad (31)$$

Окончательная согласованность матрицы сравнений осуществляется сравнением её индекса согласованности со средними случайными индексами (ССИ), являющимися индексами согласованности обратно-симметричной матрицы того же размера, сгенерированной случайным образом по шкале от 1 до 9 с соответствующими обратными величинами элементов. Значения ССИ для различных значений n представлены в табл. 2.

Таблица 2

Значения средних случайных индексов

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
ССИ	0,0	0,0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59

Отношение индекса согласованности к среднему ССИ для матрицы того же порядка называется отношением согласованности (ОС).

$$\text{ОС} = \frac{\text{ИС}}{\text{СИ}}. \quad (32)$$

Приведённый подход отличается сбалансированностью суждений по показателям и удобен для применения в ситуациях, когда показатели обладают разнородностью и напрямую не могут быть метрически сопоставлены между собой.

Мера согласованности определяет необходимость пересмотра суждений, модифицируя их для улучшения общей согласованности. Степень согласованности матрицы сравнений может быть повышена математическими способами. Полная согласованность достигается для матрицы, которая в качестве своих значений имеет соответствующие отношения вектора приоритетов:

$$a_{ij} = x_i / x_j. \quad (33)$$

Но стремиться к идеальной согласованности не следует, поскольку стремление к максимальному согласованию элементов матрицы может привести к искажению физического смысла решаемой задачи. Значение ОС, меньшее или равное 0,1, является приемлемым. Улучшать суждения следует естественным образом, исходя из опыта эксперта.

Участие нескольких человек позволяет приходить к компромиссам между различными элементами, а также может вызвать диалог о том, каким следует быть действительному отношению – компромиссу между различными суждениями, представляющими разный опыт.

5. Оценка влияния результатов реализации пунктов повестки дня «ВКР-19» на показатели эффективности

Влияние результатов реализации ППД «ВКР-19» на эффективность ТИТК РФ точно оценить чрезвычайно сложно. Для этого необходимо строить прогнозы развития: технического прогресса, экономических

и политических отношений в мире, стоимости различного рода продукции и услуг, курсов мировых валют и многого другого. Однако специалисты в рассматриваемых областях с той или иной степенью достоверности могут дать прогноз развития ситуации от реализации ППД «ВКР-19», утверждая при этом, что следует ожидать положительного и отрицательного результата для ТИТК РФ.

Поэтому для оценки влияния результатов реализации ППД «ВКР-19» на общий эффект целесообразно использовать опыт экспертов и выставлять оценки в процентах, учитывая при этом возможность обеспеченности конкретного показателя для ТИТК РФ результатами, связанными с реализацией пункта повестки дня.

Значение показателя 100% будет означать то, что потребности ТИТК будут удовлетворены полностью в смысле этого показателя. Если речь идёт о конкурентоспособности, то 100% означают подавляющую конкурентоспособность РЭС или предоставляемых при их использовании услуг. Значение 0% означает то, что данный показатель не будет затронут при реализации рассматриваемого ППД «ВКР-19».

Следует также заметить, что показатели могут принимать и отрицательные значения. Например, показатель снижения эксплуатационных издержек при положительных значениях количественно будет характеризовать это снижение и, наоборот, при отрицательных значениях покажет, насколько возрастут эксплуатационные издержки.

Отдельно следует охарактеризовать показатель степени использования существующей ТТИ. По существу, при значении 100% он показывает полную достаточность использования парка существующих средств, а меньшие значения будут характеризовать уровень необходимых затрат по дооснащению имеющегося парка средств ТТИ, вызванных реализацией рассматриваемого пункта повестки дня. Поэтому этот показатель при обработке результатов рассматривается как указанное значение минус 100%.

Для удобства экспертов им предлагается выставлять не однозначную оценку, что достаточно сложно, исходя из сложности рассматриваемой задачи, а указывать диапазон возможных значений.

При обработке результатов экспертизы учитывается как математическое ожидание выставленной оценки, так и степень её неопределённости. Для оценки разброса значений используется дисперсия или среднеквадратическое отклонение выставленной оценки, что учитывается в окончательном результате.

6. Обработка результатов экспертных оценок и оценка совокупного эффекта по пунктам повестки дня «ВКР-19» с использованием энтропии покрытия

Для получения обобщённой оценки совокупного эффекта по конкретному пункту повестки дня «ВКР-19» используется линейный подход, который гармонично связан с аппаратом линейной алгебры, используемой в МАИ при вычислении вектора приоритетов ПЭ.

При этом по заданному экспертом диапазону значений эффекта для каждого i-го ПЭ вычисляются математическое ожидание и дисперсия $M(\text{ПЭ}_i)$ (разброс значений) [5]:

$$\left.\begin{aligned} M(ПЭ_i) &= \frac{ПЭ_{i\max} + ПЭ_{i\min}}{2}, \\ D(ПЭ_i) &= \frac{\left(ПЭ_{i\max} - ПЭ_{i\min}\right)^2}{12} \end{aligned}\right\} \quad (34)$$

Математические ожидания всех ПЭ_i суммируются с весовыми коэффициентами приоритетов ПЭ и при этом вычисляется обобщённый эффект по рассматриваемому ППД:

$$Q_{\text{ППД}} = \sum_{i=1}^{n} M(\text{ПЭ}_i)x_i, \quad (35)$$

где n=9 – количество показателей, определённых для оценки эффективности реализации ППД «ВКР-19» для ТИТК РФ.

Оценку допускаемой при расчётах погрешности можно оценить как среднеквадратическое отклонение с учётом линейной формы (35) [13]:

$$\sigma_{\text{ППД}} = \left[\sum_{i=1}^{n} D(\text{ПЭ}_i)x_i^2\right]^{\frac{1}{2}}. \quad (36)$$

В выражении (36) все показатели эффективности полагаем независимыми, т.е. их корреляция равна нулю. Выражения (35) и (36) применяются отдельно для расчётов положительного эффекта и издержек.

В соответствии с приведённой методикой специальной группой экспертов была проведена оценка эффекта от реализации рассматриваемых ППД «ВКР-19». Обобщённые результаты обработки экспертных оценок представлены в табл. 3 и на рис. 2. В табл. 3 для каждого ППД «ВКР-19» представлены математические ожидания эффекта реализации и издержек в процентах, а также даны среднеквадратические отклонения в процентах по этим характеристикам. На рис. 2 эти результаты представлены гистограммами. В табл. 3 и на рис. 2 представлены результаты, полученные для пунктов 1.5, 1.9.2, 1.11, 1.12, 1.13, 1.14, 1.16 и 9.1.6.

На основании полученных оценок можно сделать следующие *выводы*:

- Наиболее важна реализация обладающих наибольшей эффективностью следующих ППД «ВКР-19»:

– п. 1.5 «Рассмотреть использование полос радиочастот 17,7 – 19,7 ГГц (космос – Земля) и 27,5 – 29,5 ГГц (Земля – космос) земными станциями, находящимися в движении, которые взаимодействуют с геостационарными космическими станциями ФСС (фиксированной спутниковой службы), и принять надлежащие меры, в соответствии с Резолюцией 158 («ВКР-15»)» – ожидаемый эффект реализации – 25%;

– п. 1.11 «Принять необходимые меры, в зависимости от случая, способствующие согласованию полос радиочастот на глобальном или региональном уровнях, с целью обеспечения работы систем железнодорожной радиосвязи между поездом и путевыми устройствами в пределах существующих распределений подвижной

Таблица 3

Ожидаемый эффект и издержки реализации ППД «ВКР-19»

ППД «ВКР-19»	Эффект реализации, %		Издержки реализации, %	
	МО	СКО	МО	СКО
1.5	25	2.9	6	2.2
1.9.2	18	1.7	11	1.2
1.11	37	2.1	5	0.9
1.12	41	2.1	21	0.8
1.13	18	1.7	8	1.7
1.14	17	1.9	7	0.9
1.16	8	1.3	18	1.4
9.1.6	18	1.5	10	1.3

службе в соответствии с Резолюцией 236 («ВКР-15»)» – ожидаемый эффект реализации 37%;

– п. 1.12 «Рассмотреть в максимальной степени согласованные на глобальном или региональном уровне возможные полосы частот для реализации развивающихся интеллектуальных транспортных систем (ИТС) в рамках существующих распределений подвижной службе в соответствии с Резолюцией 237 («ВКР-15»)» – ожидаемый эффект реализации 41%;

- Нецелесообразна реализация ППД «ВКР-19»: 1.16 «Рассмотреть вопросы, связанные с системами беспроводного доступа, включая локальные радиосети (*WAS/RLAN*), в полосах радиочастот между 5 150 *МГц* и 5 925 *МГц*, и принять надлежащие регламентарные меры, включая дополнительные распределения спектра подвижной службе, в соответствии с Резолюцией 239 («ВКР-15»)», так как по прогнозу экспертов издержки, связанные с его реализацией, превзойдут положительный эффект.

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод о том, что внедрение предлагаемых в настоящее время решений может привести к значительному росту эффективности транспортного комплекса РФ. Особенностью указанных пунктов повестки дня является то, что вышеозначенный эффект может быть достигнут при сравнительно небольших дополнительных издержках. Это объясняется тем, что для реализации предложенных решений в большой степени может

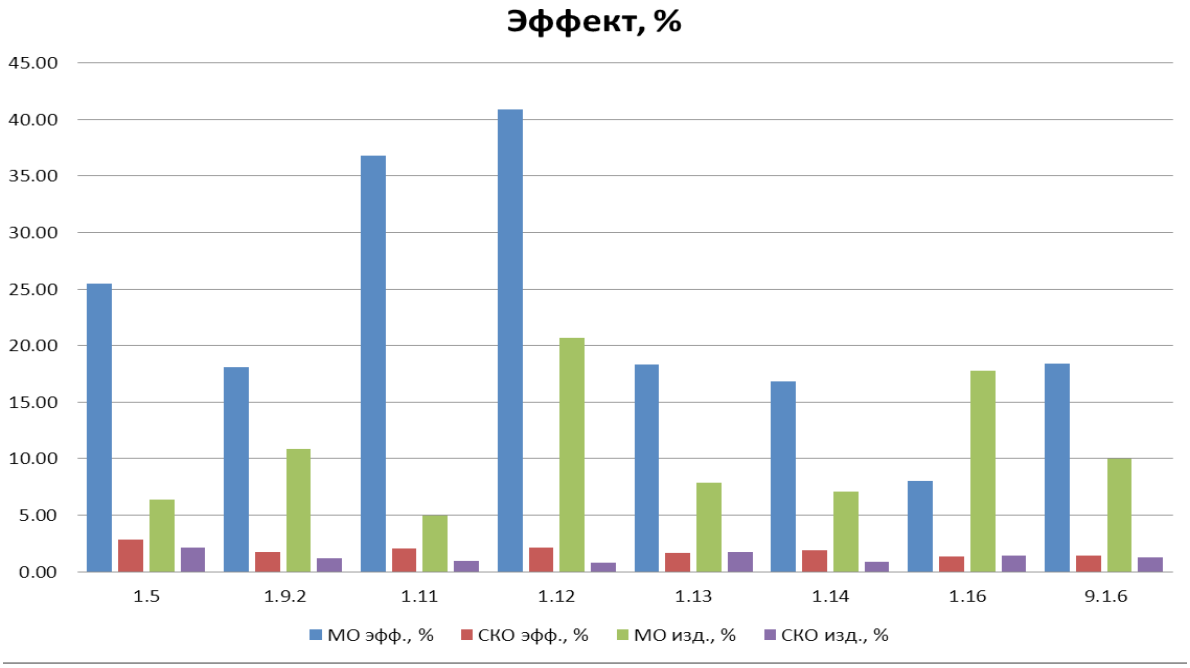


Рис. 2. Ожидаемый эффект и издержки реализации ППД «ВКР-19»

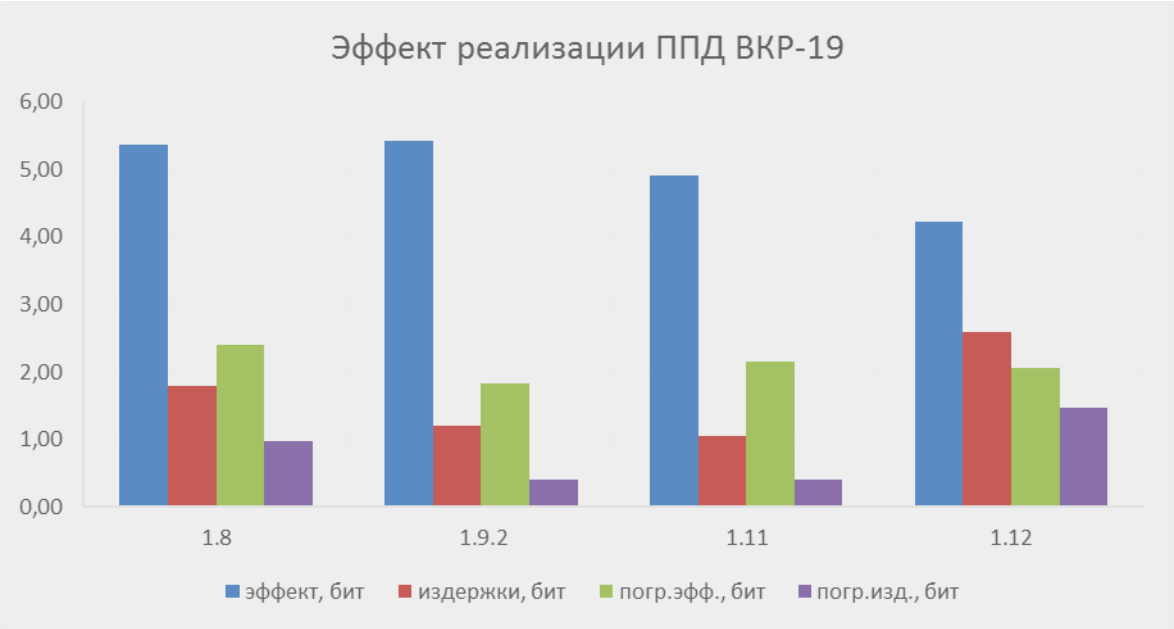


Рис. 3. Ожидаемый эффект и издержки реализации ППД1.8, 1.9.2, 1.11 и 1.10 «ВКР-19» в битах энтропии покрытия

быть использована существующая инфраструктура транспортного комплекса РФ.

Оценка результатов анализа эффективности принятых решений основывалась на концептуально-логическом моделировании информационных процессов с использованием энтропии покрытия [1, 3, 7, 15, 17]. На рис. 3 представлены результаты расчётов энтропии покрытия по наиболее актуальным ППД 1.8, 1.9.2, 1.11, 1.12. Из этих графиков видно, что ожидаемый положительный эффект по ППД 1.8, 1.9.2 и 1.11 значительно превосходит издержки реализации, а по ППД 1.12 эффект превосходит издержки реализации. Поэтому полагается целесообразной реализация решений по указанным ППД.

7. Оценка согласованности результатов экспертных оценок по пунктам повестки «ВКР-19»

По результатам работы экспертов целесообразно оценивать их согласованность. Согласованность оценок характеризуется степенью разброса оценок, данных экспертами, по показателям оцениваемых объектов. Степень разброса оценок может быть охарактеризована дисперсией численных значений, но такой подход хорошо работает только для показателей, имеющих метрические единицы измерения значений. Поэтому в применяемой методике такой подход не даст результата согласованности экспертов с хорошей прозрачностью результата.

Для проверки согласованности экспертов значительно лучше использовать коэффициент W согласованности Кендалла[4] [10, 18]:

$$W = \frac{12\ \sum_i D_i^2}{m^2\ (n^3 - n)}, \qquad (37)$$

где n – объём выборки (число показателей, пунктов повестки дня); m – число экспертов; R_{ij} – ранг, данный j-м экспертом i-му элементу выборки; D_i – сумма рангов, данных всеми экспертами i-му элементу выборки, без среднего значения сумм этих рангов:

$$D_i = \sum_{j=1}^{m} R_{ij} - \frac{\sum_j \sum_i R_{ij}}{n}; \qquad (38)$$

По величине коэффициента W делается вывод о том, хорошо или плохо согласуются мнения экспертов. Значения коэффициента 0,2…0,4 показывают слабую согласованность мнений экспертов, а значения 0,6…0,8 характеризуют сильную согласованность.

Коэффициент согласованности Кендалла иначе называется коэффициентом ранговой корреляции, и каждому элементу выборки должен быть назначен именно ранговый коэффициент R_{ij}. Это означает, что элементам выборки в соответствии с уровнем их значимости назначается свой ранг от 1 до n.

Была проведена оценка согласованности работы экспертов по приведённой методике (в работе приняли участие 5 экспертов). *Значение коэффициента конкордации* при ранжировании показателей эффективности составило 0,68, а при оценке результатов реализации ППД «ВКР-19» составило 0,67 – по эффекту и 0,68 – по издержкам. Эти значения характеризуют вполне достаточную согласованность мнений экспертов и в то же время характеризуют самостоятельность и независимость выставления ими оценок.

Заключение

Таким образом, на примере развития радиотехнологий транспортного комплекса Российской Федерации рассмотрен основанный на энтропии покрытия подход к информационной оценке влияния перспективных технологий на эффективность развития тех-

[4] Фёрстер Э., Рёнц Б. Методы корреляционного и регрессионного анализа. – М.: Финансы и статистика, 1983. – 304 с.

нологической инфраструктуры. Приведена методика оценки влияния перспективных РЭС и радиотехнологий, рассматриваемых в рамках подготовки к «ВКР-19», на эффективность развития ТИТК РФ, на основе которой группой экспертов была проведена оценка эффекта от реализации рассматриваемых ППД «ВКР-19». Обобщённые результаты обработки экспертных оценок показали следующее:

- Представляется наиболее перспективным реализация решений, обладающих наибольшей актуальностью и достаточной эффективностью по следующим ППД «ВКР-19»:

– п. 1.8 «Регламентарные меры в целях обеспечения модернизации глобальной морской системы связи при бедствии и для обеспечения безопасности мореплавания (ГМСББ) и поддержки внедрения дополнительных спутниковых систем» [11] – ожидаемый эффект реализации 5,36 *бит*;

– п. 1.11 «Согласование полос радиочастот с целью обеспечения работы систем железнодорожной радиосвязи между поездом и путевыми устройствами в пределах существующих распределений полосы частот» – ожидаемый эффект реализации 4,90 *бит*;

– п. 1.9.2 «Регламентарные меры в полосе частот 156 – 162,05 *МГц* для автономных морских радиоустройств в целях защиты ГМСББ и *AIS*[5]» – 5,43 *бит*;

– п. 1.12 «Возможные полосы частот для реализации развивающихся ИТС в рамках существующих распределений полосы частот» – ожидаемый эффект реализации 4,22 *бит*.

- Наименее целесообразна реализация решений по ППД «ВКР-19» 1.16 «Рассмотреть вопросы, связанные с системами беспроводного доступа, включая локальные радиосети (*WAS/RLAN*), в полосах радиочастот между 5 150 *МГц* и 5 925 *МГц*, и принять надлежащие регламентарные меры, включая дополнительные распределения спектра подвижной службе, в соответствии с Резолюцией 239 («ВКР-15)», так как по прогнозу экспертов издержки, связанные с его реализацией, превзойдут положительный эффект.

Была проведена оценка согласованности работы экспертов по приведённой методике и получены численные значения коэффициента конкордации при ранжировании показателей эффективности и при оценке результатов реализации ППД ВКР-19 по эффекту и по издержкам. Эти значения коэффициентов конкордации характеризуют вполне достаточную согласованность мнений экспертов и в то же время свидетельствуют о самостоятельности и независимости выставления ими оценок.

В целом в работе показано, как можно с единых информационных позиций с применением энтропии покрытия проводить оценивание возможных решений для сложных технических систем.

[5] *AIS* (Automatic Identification System) – система в судоходстве, служащая для идентификации судов.

Рецензент: ***Емелин Николай Михайлович,*** *доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки и техники РСФСР, главный научный сотрудник Государственного научно-методического центра Минобрнауки РФ, г. Москва.*
E-mail: nme47@mail.ru

Литература

1. Бурый А. С., Сухов А. В. Оптимальное управление сложным техническим комплексом в информационном пространстве // Автоматика и телемеханика. – 2003. – № 7. – С. 145 – 162.
2. Государство и право в новой цифровой реальности: Монография / Под общ. ред. И.А. Конюховой-Умновой, Д.А. Ловцова. – М.: ИНИОН РАН, 2020. – 259 с. ISBN 978-5-248-00959-6.
3. Зайцев М. А., Сухов А. В. Модельно-алгоритмическое обеспечение информационных систем управления: Монография. – М.: Моск. ун-т им. С. Ю. Витте», 2016. – 128 с.
4. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. – М.: Наука, 2003. – 832 с.
5. Королюк В. С., Портенко Н. И., Скороход А. В., Турбин А. Ф. Справочник по теории вероятностей и математической статистике. – М.: Наука, 1985. – 640с.
6. Ловцов Д. А. Информационная теория эргасистем: Тезаурус. – М.: Наука, 2005. – 248 с. ISBN 5-02-033779-X.
7. Ловцов Д. А. Информационная теория эргасистем: основные положения // Правовая информатика. – 2019. – № 3. – С. 4 – 20. DOI: DOI: 10.21681/1994-1404-2019-3-4-20.
8. Ловцов Д. А. Системный анализ. Часть. 1. Теоретические основы. – М.: Росс. гос. ун-т правосудия, 2018. – 224 с. ISBN 978-5-93916- 701-7
9. Ловцов Д. А., Богданова М. В., Паршинцева Л. С. Пакеты прикладных программ для многоаспектного анализа судебной статистической информации // Правовая информатика. – 2017. – № 1. – С. 28 – 36. DOI: 10.21681/1994-1404-2017-1-28-36.
10. Ловцов Д. А., Богданова М. В., Паршинцева Л. С. Основы статистики / Под ред. Д. А. Ловцова. – М.: Росс. гос. ун-т правосудия, 2017. – 160 с. ISBN 978-5-93916-576-1.

11. Ловцов Д. А., Черных А. М. Геоинформационные системы. – М.: Росс. акад. правосудия, 2012. – 188 с. ISBN 978-5-93916-340-8.
12. Орлов А. И. Экспертные оценки. – М.: ИВСТЭ, 2002. – 31 с.
13. Сухов А. В. Оценка информационного ресурса радионавигационных станций в условиях помех от средств мобильной связи // Правовая информатика. – 2019. – № 1. – С. 36 – 45. DOI: 10.21681/1994-1404-2019-1-36-45.
14. Сухов А. В. Динамика информационных потоков в системе управления сложным техническим комплексом // Теория и системы управления. – 2000. – № 4. – С. 111 – 120.
15. Сухов А. В. Синтез оптимального управления сложным техническим комплексом в информационном пространстве // Информатизация управления / Под ред. Д. А. Ловцова. – М.: ВА им. Петра Великого, 2003. – С. 74 – 84.
16. Сухов А. В., Ловцов Д. А., Зайцев М. А., Глинский И. В. Информационно-математический подход к киберзащите информационных систем с использованием энтропии покрытия // Вестник Российского нового университета. Сер. Сложные системы: модели, анализ и управление. – 2016. – № 1-2. – С. 150 – 157.
17. Сухов А. В., Прокопенко В. С. Измерение информации в эргасистемах // Транспортное дело России. – 2011. – № 1. – С. 39 – 41.
18. Паршева К. Е. Применение алгоритма расчета коэффициента конкордации Кендалла для оценки персонала на предприятии // Тр. XIV Междунар. науч.-техн. конф. «Advances in science and technology» (30 апреля 2018 г.). / НИЦ «Актуальность. РФ». – М.: Актуальность. РФ, 2018. – С. 194 – 195.

INFORMATIONAL ASSESSMENT OF THE IMPACT OF ADVANCED RADIO TECHNOLOGIES ON THE DEVELOPMENT OF INFRASTRUCTURE OF COMPLEX TECHNICAL SYSTEMS

Andrei Sukhov, *Dr.Sc. (Technology), Professor, Senior Researcher at the Research, Development and Production Association "Special equipment and communications", Russian Federation, Moscow.*
E-mail: *avs57@mail.ru*

Mikhail Zaitsev, *Ph.D. (Technology), Associate Professor at the Department of Information Systems of the S. Yu. Witte Moscow University, Russian Federation, Moscow.*
E-mail: *mihey-82@mail.ru*

Keywords: *electromagnetic compatibility, informational assessment, technological infrastructure, complex technical system, transport complex, radio technologies, covering entropy, methodology, indicators, efficiency, expert assessment.*

Abstract.

Purpose of the work: *improving the scientific and methodological basis for informational assessment of the efficiency of complex technical systems using covering entropy.*

Methods used: *logical conceptual modeling of information processes, hierarchy analysis method, expert assessment, Kendall rank correlation method.*

Results obtained: *using the case of development of radio-electronic equipment and radio technologies in the transport complex of the Russian Federation, an approach to the informational assessment of the impact of advanced technologies on the efficiency of technological infrastructure development, based on the covering entropy, is described. The material presented shows how it is possible to assess possible solutions for complex technical systems from a single informational viewpoint using covering entropy.*

References

1. Buryi A. S. , Sukhov A. V. Optimal'noe upravlenie slozhnym tekhnicheskim kompleksom v informatsionnom prostranstve. Avtomatika i telemekhanika, 2003, No. 7, pp. 145-162.
2. Gosudarstvo i pravo v novoi tsifrovoi real'nosti : monografiia. Pod obshch. red. I.A. Koniukhovoi-Umnovoi, D.A. Lovtsova. M. : INION RAN, 2020, 259 pp. ISBN 978-5-248-00959-6.
3. Zaitsev M. A., Sukhov A. V. Model'no-algoritmicheskoe obespechenie informatsionnykh sistem upravleniia : monografiia. M. : Mosk. un-t im. S. Iu. Vitte, 2016, 128 pp.
4. Korn G., Korn T. Spravochnik po matematike dlia nauchnykh rabotnikov i inzhenerov. M. : Nauka, 2003, 832 pp.
5. Koroliuk V. S. , Portenko N. I., Skorokhod A. V., Turbin A. F. Spravochnik po teorii veroiatnostei i matematicheskoi statistike. M. : Nauka, 1985, 640 pp.

6. Lovtsov D. A. Informatsionnaia teoriia ergasistem: Tezaurus. M. : Nauka, 2005, 248 pp. ISBN 5-02-033779-Kh.
7. Lovtsov D. A. Informatsionnaia teoriia ergasistem: osnovnye polozheniia. Pravovaia informatika, 2019, No. 3, pp. 4-20. DOI: 10.21681/1994-1404-2019-3-4-20 .
8. Lovtsov D. A. Sistemnyi analiz. Chast'. 1. Teoreticheskie osnovy. M. : Ross. gos. un-t pravosudiia, 2018, 224 pp. ISBN 978-5-93916-701-7.
9. Lovtsov D. A., Bogdanova M. V., Parshintseva L. S. Pakety prikladnykh programm dlia mnogoaspektnogo analiza sudebnoi statisticheskoi informatsii. Pravovaia informatika, 2017, No. 1, pp. 28-36. DOI: 10.21681/1994-1404-2017-1-28-36 .
10. Lovtsov D. A., Bogdanova M. V., Parshintseva L. S. Osnovy statistiki. Pod red. D. A. Lovtsova. M. : Ross. gos. un-t pravosudiia, 2017, 160 pp. ISBN 978-5-93916-576-1.
11. Lovtsov D. A., Chernykh A. M. Geoinformatsionnye sistemy. M. : Ross. akad. pravosudiia, 2012, 188 pp. ISBN 978-5-93916-340-8.
12. Orlov A. I. Ekspertnye otsenki. M. : IVSTE, 2002, 31 pp.
13. Sukhov A. V. Otsenka informatsionnogo resursa radionavigatsionnykh stantsii v usloviiakh pomekh ot sredstv mobil'noi sviazi. Pravovaia informatika, 2019, No. 1, pp. 36-45. DOI: 10.21681/1994-1404-2019-1-36-45 .
14. Sukhov A. V. Dinamika informatsionnykh potokov v sisteme upravleniia slozhnym tekhnicheskim kompleksom. Teoriia i sistemy upravleniia, 2000, No. 4, pp. 111-120.
15. Sukhov A. V. Sintez optimal'nogo upravleniia slozhnym tekhnicheskim kompleksom v informatsionnom prostranstve. Informatizatsiia upravleniia. Pod red. D. A. Lovtsova. M. : VA im. Petra Velikogo, 2003, pp. 74-84.
16. Sukhov A. V., Lovtsov D. A., Zaitsev M. A., Glinskii I. V. Informatsionno-matematicheskii podkhod k kiberzashchite informatsionnykh sistem s ispol'zovaniem entropii pokrytiia. Vestnik Rossiiskogo novogo universiteta. Ser. Slozhnye sistemy: modeli, analiz i upravlenie, 2016, No. 1-2, pp. 150-157.
17. Sukhov A. V., Prokopenko V. S. Izmerenie informatsii v ergasistemakh. Transportnoe delo Rossii, 2011, No. 1, pp. 39-41.
18. Parsheva K. E. Primenenie algoritma rascheta koeffitsienta konkordatsii Kendalla dlia otsenki personala na predpriiatii. Tr. XIV Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. "Advances in Science and Technology" (30 aprelia 2018 g.). NITs "Aktual'nost'. RF". M. : Aktual'nost'.RF, 2018, pp. 194-195.

МЕТОД ВЫСОКОТОЧНОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ИНФОРМАЦИИ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ

*Бетанов В.В., Вовасов В.Е., Воропаева А.В.**

Ключевые слова: *глобальная навигационная спутниковая система, координатно-временное и навигационное обеспечение, метод абсолютного точного определения местоположения, метод Integer PPP, метод Float PPP, модель сигналов, динамическая фильтрация, потребители.*

Аннотация.

Цель работы: *совершенствование научно-методической базы теории высокоточного позиционирования потребителей, использующей максимальное количество информации в реально сложившихся условиях.*

Методы: *системный анализ и формально-логическая разработка метода высокоточного определения координат и времени на основе динамической фильтрации.*

Результаты: *разработан метод высокоточного позиционирования, аналогичный методу Float PPP, позволяющий использовать относительные фазовые измерения пользовательского приемника и ближайших дифференциальных станций, причем получаемые от станций поправки имеют глобальный характер, т.е. относительный метод ни в чем не уступает абсолютному; в качестве способа динамической фильтрации используется фильтр калмановского типа; разработан алгоритм как сетевого, так и пользовательского решения для ГЛОНАСС; приведена оценка точности координат объекта по реальным измерениям.*

DOI: 10.21681/1994-1404-2020-3-53-64

Введение

По своей природе псевдофазовые измерения являются оценками псевдодальностей, осуществляемыми непосредственно по фазе несущих колебаний спутниковых сигналов. Особенностью этих измерений является их *высокая точность*, характеризуемая ошибками порядка 1 *см* и менее, и *целочисленная неоднозначность*, заключающаяся в том, что эти измерения содержат в своем составе неопределенное целое число N^j длин волн несущего колебания того сигнала, на основе которого они формируются [4].

Измерения псевдофаз φ^j привязываются к показаниям часов навигационного приемника $T_{REC}(t_M)$ на моменты проведения измерений t_M.

При умножении псевдофазовых измерений на длину волны несущей получаем величину, эквивалентную псевдодальности, в отличие от псевдодальности по коду D_i эта псевдодальность называется «псевдодальность по фазе несущей» и обозначается G_i [4].

Навигационное решение – это определение координат x, y, z антенны навигационного приемника и иногда ухода шкалы времени ΔT_{REC}; такое решение обычно называют *решением пользовательской задачи*.

Кроме числа N^j волновых циклов, для решения пользовательской задачи требуется точное знание всех остальных параметров, приведенных в моделях[1]. Некоторые параметры могут определяться с помощью одной или нескольких стационарных станций с известными координатами и решением, так называемых сетевых задач. Некоторые параметры могут быть включены в состав неизвестных оцениваемых

[1] Программно-математическое обеспечение АСУ космическими аппаратами / О. А. Алексеев, В. В. Бетанов, Б. И. Глазов, А. В. Лобан, Д. А. Ловцов; Под общ. ред. Д. А. Ловцова. – М.: ВА им. Петра Великого, 1995. – 412 с.

* ***Бетанов Владимир Вадимович,*** *доктор технических наук, профессор, член-корреспондент Российской академии ракетных и артиллерийских наук, заместитель начальника центра АО «Российские космические системы», Российская Федерация, г. Москва.*

E-mail: vlavab@mail.ru

Вовасов Валерий Егорович, *кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник АО «Российские космические системы», Российская Федерация, г. Москва.*

E-mail: vovasov@list.ru

Воропаева Александра Валерьевна, *инженер-исследователь АО «Российские космические системы», Российская Федерация, г. Москва.*

E-mail: voropaevvv@list.ru

параметров, но их количество, с учетом основных четырех неизвестных, в сумме не должно превышать количества наблюдаемых навигационных спутников. Очевидно, что для решения пользовательской задачи некоторые неизвестные параметры суммируются с неизвестным числом циклов N^j. Таким образом, возникают нецелочисленные значения неизвестных параметров.

В настоящее время применение псевдофазовых измерений в основном ограничивается их использованием для относительного позиционирования (определения местоположения), т.е. определения координат одного привязываемого навигационного приемника потребителя относительно другого – *базового*. Для исключения неопределенных нецелочисленных смещений из измерений псевдофазы двух разнесенных в пространстве навигационных приемников образуются так называемые *первые* и затем – *вторые* разности.

Первые разности образуются из измерений псевдофазы двух разнесенных в пространстве навигационных приемников, полученных по одному и тому же спутнику. При этом неопределенные *нецелочисленные смещения, соответствующие этому спутнику*, в первых разностях компенсируются. Вторые разности образуются путем вычитания одной первой разности, соответствующей некоторому (опорному) спутнику, из первых разностей всех остальных отслеживаемых спутников. Во вторых разностях происходит компенсация *неопределенных нецелочисленных смещений*, связанных с навигационными приемниками. При этом исходные целочисленные смещения во вторых разностях преобразуются в целочисленные вторые разности. В процессе последующей обработки вторых разностей псевдофаз, неоднозначности вторых разностей исходных целочисленных неопределенностей псевдофазовых измерений разрешаются и в результате определяются координаты привязываемого навигационного приемника относительно базового. Точности такого относительного позиционирования характеризуются ошибками порядка 1 *см* и менее при удалении приемников на расстояние ~10 – 12 *км* при одночастотных измерениях и до ~80 *км* – при двухчастотных измерениях.

Основным *недостатком* метода относительного позиционирования является необходимость использования в обработке измерений двух навигационных приемников при необходимости определения высокоточных абсолютных координат только одного приемника. Существенным ограничением метода относительного позиционирования является также *ограниченность удаления* привязываемого приемника относительно базового.

В связи с этим в последнее время широкое распространение получил так называемый неразностный метод абсолютного точного определения местоположения – *PPP* (*Precise Point Positioning* – позиционирование высокой точности) [17].

Анализ метода *PPP*

По степени используемой информации метод *PPP* может иметь два варианта:

PPP-AR (*Integer PPP*) **–** метод высокоточного абсолютного определения местоположения (высокоточных координат – сантиметровой точности) с разрешением *целочисленной* (*Integer*) неоднозначности псевдофазовых измерений,

PPP (*Float PPP*) – стандартный метод высокоточного абсолютного определения местоположения без разрешения (*Float*) целочисленной неоднозначности псевдофазовых измерений.

Для реализации метода *Float PPP* достаточно применения спутниковой корректирующей информации от *глобальных навигационных спутниковых систем* (ГНСС), содержащей поправки к эфемеридам орбит и времени бортовых часов всех видимых навигационных спутников. Для реализации метода *Integer PPP* к вышеуказанным поправкам необходимо добавить поправки, устраняющие нецелочисленные смещения. Все указанные поправки формируются сервисами высокоточных спутниковых определений.

На основе метода *PPP* в мире создано множество научных и коммерческих сервисов, таких как *MADOCA*, *Magic GNSS*, *CNES PPP-Wizard Project*, *VERIPOS Apex*, *NavCom Star Fire*, *Trimble RTX*, реализованные зарубежными компаниями *FUGRO*, *NavCom*, *Trimble*, *TerraStar*, *Leica*, *NovAtel* и космическими агенствами *JAXA* (Япония) [17].

Методы *PPP* позволяют определять пространственные координаты объектов с точностью от нескольких дециметров до нескольких сантиметров. Эфемеридно-временная информация (ЭВИ) вычисляется по результатам спутниковых наблюдений, выполняемых наземными постоянно действующими станциями приема сигналов ГНСС с точно известными координатами, в том числе и по фазе несущих.

Время получения решения обусловлено временем его сходимости в процессе приема и обработки поступающей ЭВИ для *Float PPP* и характеризуется десятками минут, а для *Integer PPP* – около 10 *мин*.

В последнее десятилетие в мире активно обсуждается и изучается проблема абсолютных высокоточных координатных определений в ГНСС, первоначально в режиме апостериорной обработки, а в последнее время – и в реальном времени. Решение задачи основано на обработке "*ionosphere-free*" комбинаций дальномерных и фазовых измерений с использованием точной ЭВИ.

В случае работы в реальном времени возникает необходимость доставки в приемник ГНСС точной эфемеридно-временной информации и других данных [5]. Сейчас в реальном времени и даже с некоторым опережением уже доступны параметры ЭВИ типа *ultra-rapid* («сверхбыстрые»), формируемые международными службами *IGS* (*International GPS Service*) и некоторыми другими, причем их точность, особенно по координатной составляющей, вышла на сантиметровый уровень и постоянно возрас-

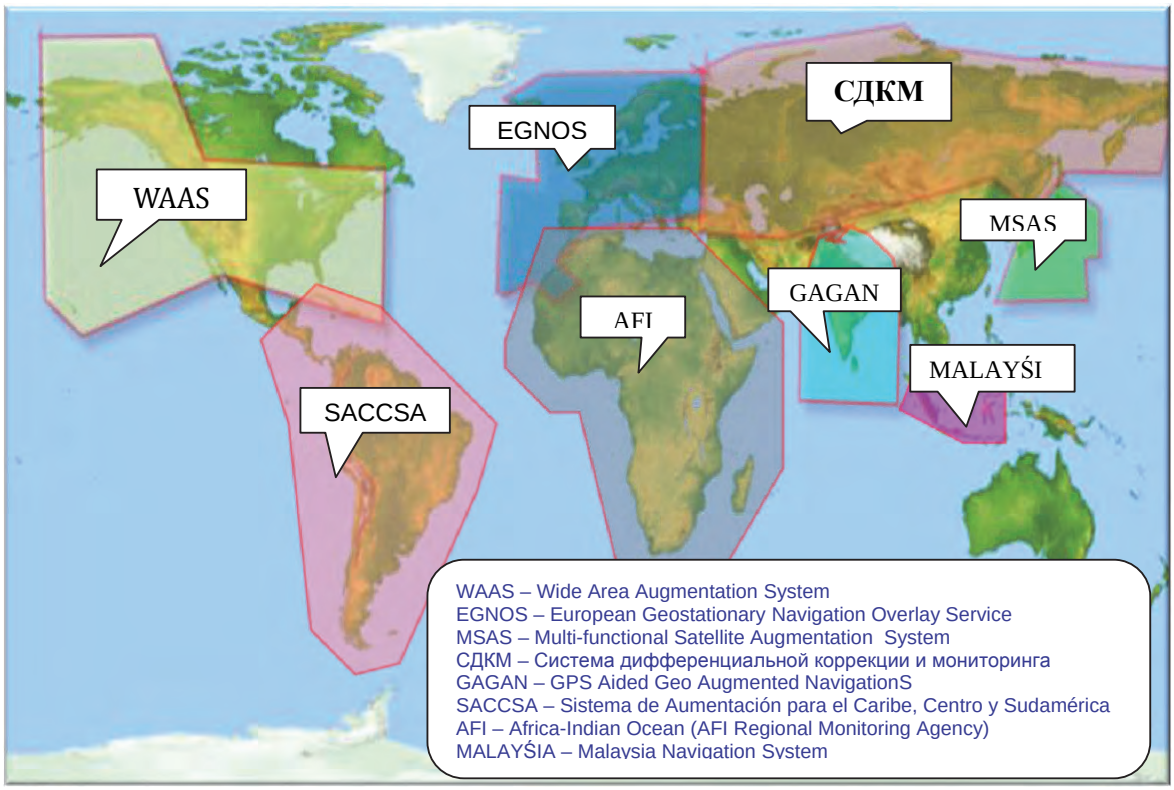


Рис. 1. Функциональные дополнения ГНСС

тает. Однако точность часов спутников в реальном времени еще далека от требуемой для обеспечения режима *PPP* в реальном масштабе времени.

Таким образом, основную *проблему* на сегодняшний день представляет оперативное формирование временных поправок к шкалам навигационных спутников с необходимой точностью. Кроме этого, все известные алгоритмы разрешения фазовой неоднозначности весьма затратны, что требует рассмотрения иного подхода к этой проблеме, а именно использования *динамической фильтрации*.

Увеличение точности отсчетов часов спутников возможно двумя способами. *Первый* – уменьшение времени между закладками (сейчас 30 *мин*.). *Второй* – установка на борт навигационных спутников высокостабильных задающих генераторов. Как первый, так и второй способы требуют изменения бортовой аппаратуры спутников и могут быть внедрены в течение 10–15 лет, так как требуют замены существующей спутниковой группировки. Что же касается настоящего времени, то для получения высокоточных координат в реальном масштабе времени следует модифицировать методы относительного позиционирования с устранением их основного недостатка – ограниченной дальности действия. Авторами предложен способ *относительного* высокоточного позиционирования (определения местоположения), использующий систему высокоточной дифференциальной коррекции, включающую децентрализованную сеть референцных станций и совокупность пользовательских приёмников спутниковых радионавигационных систем подвижных объектов [6–9].

Предлагаемый способ может использовать готовую инфраструктуру – сеть опорных станций *системы дифференциальной коррекции и мониторинга* (СДКМ), оборудованных двухчастотными (обозначаются $L1$ и $L2$) приемниками *спутниковых радионавигационных систем* (СРНС), и обеспечивает за несколько тысяч километров от ближайшей станции высокую точность поправок в районе сантиметров, позволяющую пользователю использовать методы *PPP*-технологии в реальном масштабе времени, т.е. достигать субсантиметровых точностей.

Системы функциональных дополнений ГНСС, существующие и создаваемые в мире, приведены на рис. 1, а комплекс доставки информации потребителям СДКМ (её зона обслуживания сейчас обеспечивается тремя навигационными спутниками «Луч-М») – на рис. 2 [18].

Преимущества способа высокоточной дифференциальной коррекции, используемой в навигационном решении при определении координат пользователей двухчастотными навигационными приемниками СРНС, заключаются в следующем:

1. Повышенная устойчивость работы широкозонной дифференциальной системы (ШДС) в условиях геомагнитных возмущений, поскольку используется только ионосферосвободное значение псевдодальностей.

2. Возможность использования высокоточной дифференциальной коррекции на большой территории – около нескольких тысяч километров от ближайшей

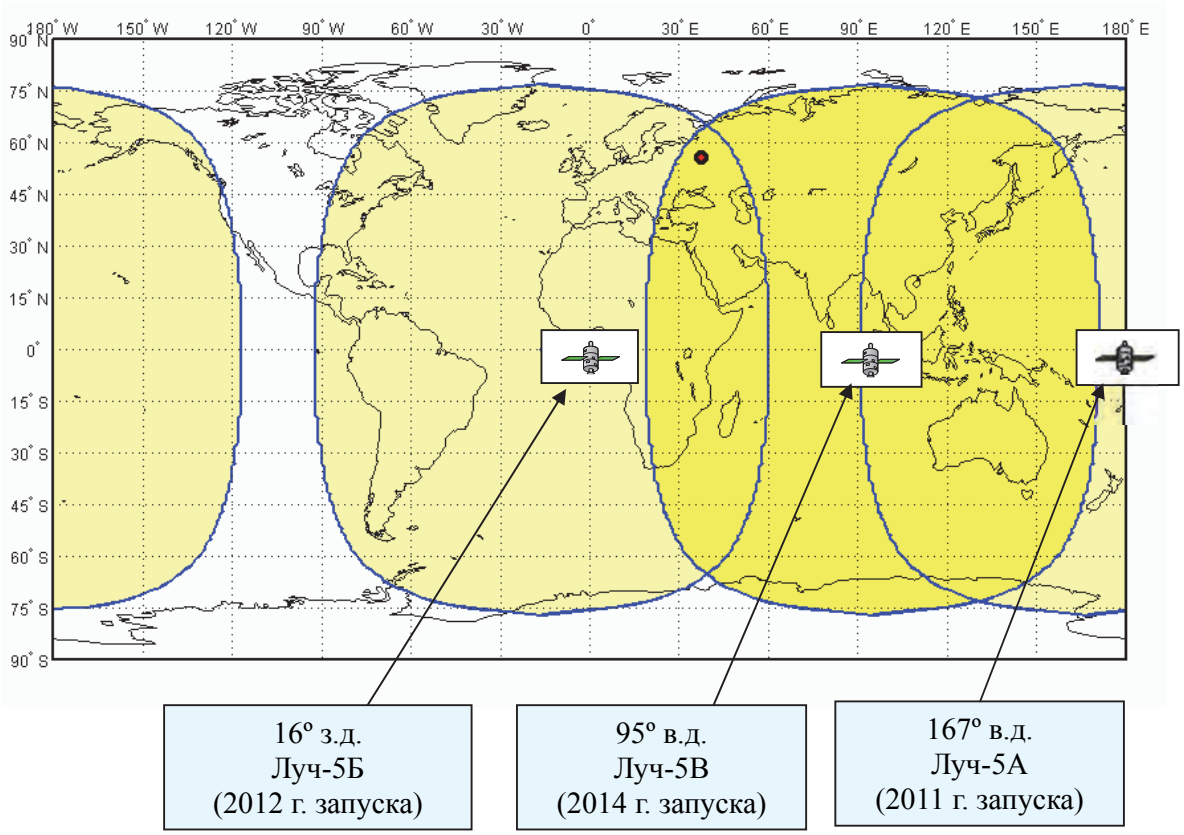


Рис. 2. Комплекс доставки информации потребителям СДКМ

станции ШДС, позволяющей пользователю использовать методы *PPP*-технологии, т.е. достигать субсантиметровых точностей.

3. Используется готовая инфраструктура – сеть опорных станций СДКМ, оборудованных двухчастотными приемниками СРНС.

4. Для реализации предлагаемого способа не требуется наличие главной станцию ШДС, что разгрузит каналы передачи данных и повысит быстродействие системы.

5. Для реализации предлагаемого способа требуется незначительный объем передаваемой информации. Это позволяет использовать узкополосные каналы передачи данных.

6. Так как предлагаемая модернизация не затрагивает уже существующую структуру, то она может использоваться как резервная для СДКМ.

Модель сигналов

Запишем модель сигналов для ГЛОНАСС с учетом того, что в качестве бортовой шкалы принята шкала времени сигнала $L1BT$ и именно к ней передаются поправки в эфемеридах. Смещение шкалы времени сигнала $L2BT$ относительно сигнала $L1BT$ для k-го спутника обозначим как $\Delta\tau_n^k$ [17].

$$D_{k,\tilde{N}T}^{L1}(t_M) = \Delta R_{ORBIT}^k + R^k(t_M) + c\cdot\Delta T_{REC} - c\cdot(\Delta T_{SAT}^k) + \frac{\Delta D_w}{\sin\alpha_k} + c\cdot\left(\Delta\tau_{IONO,L1}^k\right) + A_{k,CT}^{L1} - \xi_{L1,\tilde{N}T}^k, \quad k=\overline{1,J}, \tag{1}$$

$$D_{k,\tilde{N}T}^{L2}(t_M) = \Delta R_{ORBIT}^k + R^k(t_M) + c\cdot\Delta T_{REC} - c\cdot(\Delta T_{SAT}^k) + \frac{\Delta D_w}{\sin\alpha_k} + c\cdot\gamma\cdot\left(\Delta\tau_{IONO,L1}^k\right) + A_{k,CT}^{L1} + B_{k,CT}^{L1,2} - \xi_{L2,\tilde{N}T}^k, \quad k=\overline{1,J}, \tag{2}$$

Для компенсации ионосферной погрешности, умножая выражение (1) на γ и вычитая полученное выражение из (2), получим выражение взвешенной псевдодальности по фазе несущей, соответствующее

$$D_{k,CT}\left(t_M\right)=\frac{D_{k,CT}^{L2}\left(t_M\right)-\gamma\cdot D_{k,CT}^{L1}\left(t_M\right)}{1-\gamma}=\Delta R_{ORBIT}^{k}+R^{k}\left(t_M\right)+c\cdot\Delta T_{REC}-$$
$$c\cdot(\Delta T_{SAT}^{k})+\frac{\Delta \mathrm{D}_{\mathrm{w}}}{\sin\alpha_k}-\frac{\xi_{L2,CT}^{k}-\gamma\cdot\xi_{L1,CT}^{k}}{1-\gamma}+A_{k,CT}^{L1}+\frac{B_{k,CT}^{L1,2}}{1-\gamma}, \quad (3)$$

где

$$A_{k,CT}^{L1}=c\cdot\left(\tau_{k,L1,CT}^{\hat{A}\times}+\tau_{CT}^{\hat{A}\times}\right)-c\cdot(\Delta\tau_{L1}^{k}); \quad (4)$$

$$B_{k,CT}^{L1,2}=A_{k,CT}^{L2}-A_{k,CT}^{L1}=c\cdot\left(\tau_{k,L2,CT}^{\hat{A}\times}-\tau_{k,L1,CT}^{\hat{A}\times}\right)-$$
$$-c\cdot(\Delta\tau_{n}^{k}+\Delta\tau_{L2}^{k})+c\cdot(\Delta\tau_{L1}^{k}); \quad (5)$$

J – количество видимых спутников ГЛОНАСС; t_M – момент проведения измерения; R^k – расстояние (дальность), вычисляемая в приемнике между точкой, которую занимал приемник в момент проведения измерения t_M, и положением фазового центра антенны k-го спутника, определяемым эфемеридными данными, относящимися к центру масс спутника, на момент предшествия t_{PREV}^{k} к моменту измерения t_M на время распространения сигнала от k-го спутника до приемника (м), и смещением фазового центра антенны k-го спутника относительно его центра масс в гринвичской системе координат; ΔT_{REC} – смещение шкалы времени приемника относительно системной шкалы времени ГЛОНАСС; ΔR_{ORBIT}^{J} – систематическое смещение в измерениях псевдодальностей и псевдофаз, связанное с неточностью знания орбит спутников (*м*); $\Delta \mathrm{D}_{\mathrm{w}}$ – вертикальная задержка в тропосфере; $\Delta\tau_{IONO,L1}^{k}$, $\Delta\tau_{IONO,L2}^{k}$ – наклонная ионосферная (*ionosphere*, $IONO$) задержка сигнала k-го спутника в диапазоне $L1$ и $L2$, соответственно; ΔT_{SAT}^{k} – смещение шкалы времени k-го спутника, которая совпадает со шкалой времени сигнала $L1BT$, относительно системной шкалы времени ГЛОНАСС; $\Delta\tau_{L1}^{k}$ – задержка кодового CT сигнала диапазона $L1$ относительно BT кодового сигнала в аппаратуре k-го спутника; $\Delta\tau_{L2}^{k}$ – задержка кодового CT сигнала диапазона $L2$ относительно BT кодового сигнала в аппаратуре k-го спутника; $\tau_{k,L1,CT}^{\hat{A}\times}$, $\tau_{k,L2,CT}^{\hat{A}\times}$ – задержка кодового CT сигнала диапазона $L1$ и $L2$ k-го спутника в радиочастотной части приемника; $\tau_{k,L1,CT}^{\hat{A}\times}$, $\tau_{k,L2,CT}^{\hat{A}\times}$ – задержка кодового CT сигнала диапазона $L1$ и $L2$ k-го спутника в антенно-фидерной части приемника; $\xi_{L1,CT}^{k}$, $\xi_{L2,CT}^{k}$ – шумовая составляющая измерения псевдодальности приемником по сигналу диапазона $L1$ и $L2$ CT кода k-го спутника.

Считается, что все меры для устранения многолучевых искажений приняты и поэтому ошибка, соответствующая этому явлению, здесь не рассматривается.

Используя зависимость [4]

$$\Delta\tau_{IONO,L2}^{k}=\gamma\cdot\Delta\tau_{IONO,L1}^{k}, \quad (6)$$

где величина $\gamma=\frac{81}{49}$ для ГЛОНАСС, запишем уравнения для псевдодальностей по фазе несущей в виде:

$$G_{k}^{L1}\left(t_M\right)=\Delta R_{ORBIT}^{k}+R^{k}\left(t_M\right)+c\cdot\Delta T_{REC}+\frac{\Delta \mathrm{D}_{\mathrm{w}}}{\sin\alpha_k}-c\cdot(\Delta T_{SAT}^{k})+$$
$$K_{L1}^{k}+A_{k,CT}^{L1}+\lambda_{L1}^{k}\left(\varsigma_{\psi_k}^{L1}\right)-c\cdot\left(\Delta\tau_{IONO,L1}^{k}\right), \quad k=\overline{1,J}, \quad (7)$$

$$G_{k}^{L2}\left(t_M\right)=\Delta R_{ORBIT}^{k}+R^{k}\left(t_M\right)+c\cdot\Delta T_{REC}+\frac{\Delta \mathrm{D}_{\mathrm{w}}}{\sin\alpha_k}-c\cdot(\Delta T_{SAT}^{k})+$$
$$K_{L2}^{k}+A_{k,CT}^{L1}+B_{k,CT}^{L1,2}+\lambda_{L2}^{k}\left(\varsigma_{\psi_k}^{L2}\right)-c\cdot\gamma\cdot\left(\Delta\tau_{IONO,L1}^{k}\right), \quad k=\overline{1,J}, \quad (8)$$

$$K_{L2}^{k}=\lambda_{L2}^{k}\cdot\left(\varphi_{0,L2}+\varphi_{0,L2}^{k}\right)-\lambda_{L2}^{k}\cdot\left(\varphi_{h,L2}^{k}\right)-M_{k}^{L2}\cdot\lambda_{L2}^{k}$$

$$K_{L1}^{k}=\lambda_{L1}^{k}\cdot\left(\varphi_{0,L1}+\varphi_{0,L1}^{k}\right)-\lambda_{L1}^{k}\cdot\left(\varphi_{h,L1}^{k}\right)-M_{k}^{L1}\cdot\lambda_{L1}^{k}$$

$$K_{L2}^{k}=\lambda_{L2}^{k}\cdot\left(\varphi_{0,L2}+\varphi_{0,L2}^{k}\right)-\lambda_{L2}^{k}\cdot\left(\varphi_{h,L2}^{k}\right)-M_{k}^{L2}\cdot\lambda_{L2}^{k}$$

где $\varphi_{0,L1}$, $\varphi_{0,L2}$ – начальные фазы приемника в диапазоне $L1$ и $L2$ соответственно, одинаковые для всех литер, так как в приемнике при формировании псевдофазовых измерений производится выравнивание начальных фаз в измерениях, соответствующих разным литерам [17]; $\varphi_{0,L1}^{k}$, $\varphi_{0,L2}^{k}$ – неопределенная начальная фаза излучения k-го спутника в диапазоне $L1$ и $L2$ соответственно; $\varphi_{h,L1}^{k}$, $\varphi_{h,L2}^{k}$ – фазовые аппаратурные искажения в ФАП приемника сигнала k-го спутника в диапазоне $L1$ и $L2$ соответственно; M_{k}^{L1}, M_{k}^{L2} – не-

определенное целое число, отображающее собой неоднозначность фазовых измерений в k-м канале приемника в диапазоне $L1$ и $L2$ соответственно.

Умножая выражение (7) на γ и вычитая полученное выражение из (8), получим выражение взвешенной псевдодальности по фазе несущей:

$$G_{k,CT}\left(t_M\right)=\frac{G_{k,CT}^{L2}\left(t_M\right)-\gamma\cdot G_{k,CT}^{L1}\left(t_M\right)}{1-\gamma}=$$

$$\Delta R_{ORBIT}^{k}+R^{k}\left(t_M\right)+c\cdot\Delta T_{REC}-c\cdot(\Delta T_{SAT}^{k})+A_{k,CT}^{L1}+\frac{\Delta \mathrm{D}_{\mathrm{w}}}{\sin\alpha_k}+\ , \tag{9}$$

$$\frac{K_{L2}^{k}-\gamma\cdot K_{L1}^{k}}{1-\gamma}-\frac{\lambda_{L2}^{k}\cdot\left(\varsigma_{\psi_k}^{L2}\right)-\gamma\cdot\lambda_{L1}^{k}\cdot\left(\varsigma_{\psi_k}^{L1}\right)}{1-\gamma}+\frac{B_{k,CT}^{L1,2}}{1-\gamma}$$

где $\varsigma_{\psi_k}^{L1}$, $\varsigma_{\psi_k}^{L2}$ – шумовая составляющая измерения псевдофазы сигнала k-го спутника в приемнике в диапазоне $L1$ и $L2$ соответственно; λ_{L1}^{k}, λ_{L2}^{k} – длина волны несущей сигнала k-го спутника в диапазоне $L1$ и $L2$ соответственно.

Решение сетевой задачи для реализации относительного метода *Float PPP*

Для решения пользовательской задачи относительным методом *Float PPP* необходимо в реальном масштабе времени получать значения Z_k-Z_J,

где

$$Z_k=\Delta R_{ORBIT}^{k}-c\cdot(\Delta T_{SAT}^{k})+\Delta A_k^{L1}+\frac{\Delta B_k^{L1,2}}{1-\gamma}, \tag{10}$$

$$\Delta A_k^{L1}=A_k^{L1}-A_1^{L1}\quad, \tag{11}$$

$$\Delta B_k^{L1,2}=B_k^{L1,2}-B_1^{L1,2}\quad. \tag{12}$$

Это медленно меняющиеся параметры, поэтому неважна разница моментов времени приема сигналов сетевых станций и пользовательского приемника. Кроме того, получение этих параметров не должно зависеть от различного рода дополнений к ГНСС, и тогда пользовательская задача будет решаться оперативно, т.е. в реальном масштабе времени[2].

Для данных сетевой задачи введем индекс – baz. Вблизи антенн сетевых станций имеется возможность оценивать вертикальную задержку, вызванную тропосферой, т.е. $\Delta \mathrm{D}_{\mathrm{w},baz}$ является известной величиной. Такие данные может производить каждая станция. В качестве способа динамической фильтрации используется фильтр калмановского типа (ФКТ) [1, 2, 12–16], который выглядит следующим образом.

В качестве измерений используется вектор

$$\overline{z}=\begin{vmatrix} G_{1,baz}\left(t_{M,baz}\right)-G_{J,baz}\left(t_{M,baz}\right)\\ D_{1,baz}\left(t_{M,baz}\right)-D_{J,baz}\left(t_{M,baz}\right)\\ \dots\\ G_{k,baz}\left(t_{M,baz}\right)-G_{J,baz}\left(t_{M,baz}\right)\\ D_{k,baz}\left(t_{M,baz}\right)-D_{J,baz}\left(t_{M,baz}\right)\\ \dots\\ G_{J-1,baz}\left(t_{M,baz}\right)-G_{J,baz}\left(t_{M,baz}\right)\\ D_{J-1,baz}\left(t_{M,baz}\right)-D_{J,baz}\left(t_{M,baz}\right)\end{vmatrix}\quad, \tag{13}$$

а в качестве оцениваемых параметров, как того требует теория ФКТ [3], необходимо включить следующие величины:

$$\overline{x}=\begin{vmatrix} X_1\\ \dots\\ X_{J-1}\\ X_J\\ \dots\\ X_{2J-2}\end{vmatrix}=\begin{vmatrix} Z_{1,baz}-Z_{J,baz}\\ \dots\\ Z_{J-1,baz}-Z_{J,baz}\\ \dfrac{K_{L2,baz}^{1}-\gamma\cdot K_{L1,baz}^{1}}{1-\gamma}-\dfrac{K_{L2,baz}^{J}-\gamma\cdot K_{L1,baz}^{J}}{1-\gamma}\\ \dots\\ \dfrac{K_{L2,baz}^{J-1}-\gamma\cdot K_{L1,baz}^{J-1}}{1-\gamma}-\dfrac{K_{L2,baz}^{J}-\gamma\cdot K_{L1,baz}^{J}}{1-\gamma}\end{vmatrix}\quad. \tag{14}$$

[2] Фарина А., Студер Ф. Цифровая обработка радиолокационной информации. Сопровождение целей. – М.: Радио и связь, 1993. – 320 с.

Связь измеряемых с оцениваемыми параметрами запишем в виде:

$$G_{k,baz}\left(t_{M,baz}\right)-G_{J,baz}\left(t_{M,baz}\right)=Z_{k,baz}-Z_{J,baz}+R_{baz}^{k}\left(t_{M,baz}\right)-R_{baz}^{J}\left(t_{M,baz}\right)+$$
$$\frac{\Delta \mathrm{D}_{\mathrm{w},baz}}{\sin\alpha_{k,baz}}-\frac{\Delta \mathrm{D}_{\mathrm{w},baz}}{\sin\alpha_{J,baz}}-\frac{K_{L2,baz}^{k}-\gamma\cdot K_{L1,baz}^{k}}{1-\gamma}+\frac{K_{L2,baz}^{J}-\gamma\cdot K_{L1,baz}^{J}}{1-\gamma}= \quad . \tag{15}$$
$$X_{k}+R_{baz}^{k}\left(t_{M,baz}\right)-R_{baz}^{J}\left(t_{M,baz}\right)+\frac{\Delta \mathrm{D}_{\mathrm{w},baz}}{\sin\alpha_{k,baz}}-\frac{\Delta \mathrm{D}_{\mathrm{w},baz}}{\sin\alpha_{J,baz}}-X_{J-1+k}$$

$$D_{k,baz}\left(t_{M,baz}\right)-D_{J,baz}\left(t_{M,baz}\right)=Z_{k,baz}-Z_{J,baz}+R_{baz}^{k}\left(t_{M,baz}\right)-R_{baz}^{J}\left(t_{M,baz}\right)+$$
$$\frac{\Delta \mathrm{D}_{\mathrm{w},baz}}{\sin\alpha_{k,baz}}-\frac{\Delta \mathrm{D}_{\mathrm{w},baz}}{\sin\alpha_{J,baz}}= \quad . \tag{16}$$
$$X_{k}+R_{baz}^{k}\left(t_{M,baz}\right)-R_{baz}^{J}\left(t_{M,baz}\right)+\frac{\Delta \mathrm{D}_{\mathrm{w},baz}}{\sin\alpha_{k,baz}}-\frac{\Delta \mathrm{D}_{\mathrm{w},baz}}{\sin\alpha_{J,baz}}$$

Здесь

$$R_{baz}^{k}=\sqrt{(x^{k}-x_{baz})^{2}+(y^{k}-y_{baz})^{2}+(z^{k}-z_{baz})^{2}},$$
$$\dot{R}_{baz}^{k}=\frac{(x^{k}-x_{baz})\cdot\dot{x}^{k}+(y^{k}-y_{baz})\cdot\dot{y}^{k}+(z^{k}-z_{baz})\cdot\dot{z}^{k}}{R_{baz}^{k}}.$$

Запишем необходимые вектора и матрицы для этого случая.

Так как

$$Z_{k,baz}-Z_{J,baz}=\Delta R_{ORBIT}^{k}-\Delta R_{ORBIT}^{J}-c\cdot(\Delta T_{SAT}^{k})+c\cdot(\Delta T_{SAT}^{J})+$$
$$\Delta A_{k,baz}^{L1}+\frac{\Delta B_{k,baz}^{L1,2}}{1-\gamma}-\Delta A_{J,baz}^{L1}-\frac{\Delta B_{J,baz}^{L1,2}}{1-\gamma} \tag{17}$$

медленно меняющийся параметр, то

$\dot{\bar{x}}=\begin{vmatrix}0 & 0 & \cdots & 0\end{vmatrix}^{T}$

Тогда матрицу $A_i=\frac{\partial\dot{\bar{x}}}{\partial\bar{x}}\Big|_{x=x_{i/i}}$ можно представить в виде:

$$A_i=\begin{vmatrix}0\,0\,0\,0\,0\cdots0\,0\,0\\0\,0\,0\,0\,0\cdots0\,0\,0\\0\,0\,0\,0\,0\cdots0\,0\,0\\0\,0\,0\,0\,0\,0\cdots0\,0\,0\\0\,0\,0\,0\,0\,0\cdots0\,0\,0\\\cdots\\0\,0\,0\,0\,0\,0\cdots0\,0\,0\end{vmatrix}$$

и, соответственно, переходная матрица Φ_i, определяющая динамику оцениваемого вектора, будет равна: $\Phi_i=I+\Delta t\cdot A_i$,

$$H_{i+1}=\frac{\partial\bar{h}}{\partial\bar{x}}\Big|_{x=x_{i+1/i}}=\begin{vmatrix}H_{11} & H_{12}\\H_{21} & H_{22}\end{vmatrix},$$

$$H_{11}=H_{12}=H_{21}=\begin{vmatrix}1 & \cdots0\\0\,1 & \cdots0\\\cdots\\0\,0 & \cdots1\end{vmatrix},\quad H_{22}=\begin{vmatrix}0 & \cdots0\\0\,0 & \cdots0\\\cdots\\0\,0 & \cdots0\end{vmatrix}.$$

Матрица интенсивности шума измерений имеет следующий вид:

$$N=\begin{vmatrix}\sigma_{G_j}^{2} & 0\\0 & \sigma_{D_j}^{2}\end{vmatrix},\quad N_0=\begin{vmatrix}0 & 0\\0 & 0\end{vmatrix},$$
$$N_i=\begin{vmatrix}N & N_0 & N_0\cdots & N_0\\N_0 & N & N_0\cdots & N_0\\\cdots\\N_0 & N_0 & N_0\cdots & N\end{vmatrix}, \tag{18}$$
$$\sigma_{D_j}^{2}=2\cdot\sigma_{d}^{2}$$

где σ_d – среднеквадратическое отклонение (СКО) измерений псевдодальностей по коду; $\sigma_{G_j}^2 = 2 \cdot \sigma_L^2$; σ_{L1} – СКО измерений псевдодальностей по фазе несущей $\lambda_{L1}^k \cdot \left(\varsigma_{\psi_k}^{L1}\right) \approx \lambda_{L2}^k \cdot \left(\varsigma_{\psi_k}^{L2}\right)$.

Таким образом, именно параметры $Z_{1,baz} - Z_{J,baz}$ предлагается передавать посредством сети Интернет либо через спутники-ретрансляторы потребителю (единый центр обработки не используется). Решение потребительской задачи в этом случае выглядит следующим образом.

Решение пользовательской задачи относительным методом *Float PPP*

В качестве измерений используется вектор

$$\overline{z} = \begin{vmatrix} G_1(t_M) - G_J(t_M) \\ D_1(t_M) - D_J(t_M) \\ \dots \\ G_k(t_M) - G_J(t_M) \\ D_k(t_M) - D_J(t_M) \\ \dots \\ G_{J-1}(t_M) - G_J(t_M) \\ D_{J-1}(t_M) - D_J(t_M) \end{vmatrix}, \quad (19)$$

а в качестве оцениваемых параметров, согласно теории ФКТ [3], необходимо включить следующие величины

$$\overline{x} = \begin{vmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \\ X_4 \\ \dots \\ X_{4+J-1} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} x \\ y \\ z \\ \Delta D_w \\ \dfrac{K_{L2}^1 - \gamma \cdot K_{L1}^1}{1-\gamma} - \dfrac{K_{L2}^J - \gamma \cdot K_{L1}^J}{1-\gamma} \\ \dots \\ \dfrac{K_{L2}^{J-1} - \gamma \cdot K_{L1}^{J-1}}{1-\gamma} - \dfrac{K_{L2}^J - \gamma \cdot K_{L1}^J}{1-\gamma} \end{vmatrix}. \quad (20)$$

Связь измеряемых с оцениваемыми параметрами запишем в виде:

$$\begin{aligned} &G_k(t_M) - G_J(t_M) = Z_k - Z_J + R^k(t_M) - R^J(t_M) + \\ &\frac{\Delta D_w}{\sin\alpha_k} - \frac{\Delta D_w}{\sin\alpha_J} - \frac{K_{L2}^k - \gamma \cdot K_{L1}^k}{1-\gamma} + \frac{K_{L2}^J - \gamma \cdot K_{L1}^J}{1-\gamma} = \\ &R_{baz}^k(t_{M,baz}) - R_{baz}^J(t_{M,baz}) + \frac{X_4}{\sin\alpha_k} - \frac{X_4}{\sin\alpha_J} - X_{J-1+k} \end{aligned}. \quad (21)$$

$$\begin{aligned} &D_k(t_M) - D_J(t_M) = Z_k - Z_J + R^k(t_M) - R^J(t_M) + \frac{\Delta D_w}{\sin\alpha_k} - \frac{\Delta D_w}{\sin\alpha_J} = \\ &R^k(t_M) - R^J(t_M) + \frac{X_4}{\sin\alpha_k} - \frac{X_4}{\sin\alpha_J} \end{aligned} \quad (22)$$

Здесь

$$\begin{aligned} &Z_k - Z_J = \Delta R_{ORBIT}^k - \Delta R_{ORBIT}^J - c \cdot (\Delta T_{SAT}^k) + c \cdot (\Delta T_{SAT}^J) + \\ &\Delta A_k^{L1} + \frac{\Delta B_k^{L1,2}}{1-\gamma} - \Delta A_J^{L1} - \frac{\Delta B_J^{L1,2}}{1-\gamma} \end{aligned} \quad (23)$$

Эти величины необходимо выразить через известные аналогичные параметры, полученные при решении сетевой задачи.

$$\begin{aligned} &Z_k - Z_J = Z_{k,baz} - Z_{J,baz} + \\ &\Delta A_k^{L1} + \frac{\Delta B_k^{L1,2}}{1-\gamma} - \Delta A_J^{L1} - \frac{\Delta B_J^{L1,2}}{1-\gamma} - \Delta A_{k,baz}^{L1} - \frac{\Delta B_{k,baz}^{L1,2}}{1-\gamma} + \Delta A_{J,baz}^{L1} + \frac{\Delta B_{J,baz}^{L1,2}}{1-\gamma} \end{aligned} \quad (24)$$

$$\begin{aligned} &\Delta A_k^{L1} - \Delta A_{k,baz}^{L1} = c \cdot \left(\tau_{k,L1,CT}^{\hat{A}\times}\right) - c \cdot \left(\tau_{k,L1,CT,baz}^{\hat{A}\times}\right) - \\ &c \cdot \left(\tau_{1,L1,CT}^{\hat{A}\times}\right) + c \cdot \left(\tau_{1,L1,CT,baz}^{\hat{A}\times}\right) \end{aligned}, \quad (25)$$

$$\begin{aligned} &\Delta B_k^{L1,2} - \Delta B_{k,baz}^{L1,2} = c \cdot \left(\tau_{k,L2,CT}^{\hat{A}\times} - \tau_{k,L1,CT}^{\hat{A}\times}\right) - \\ &c \cdot \left(\tau_{k,L2,CT,baz}^{\hat{A}\times} - \tau_{k,L1,CT,baz}^{\hat{A}\times}\right) \end{aligned} \quad (26)$$

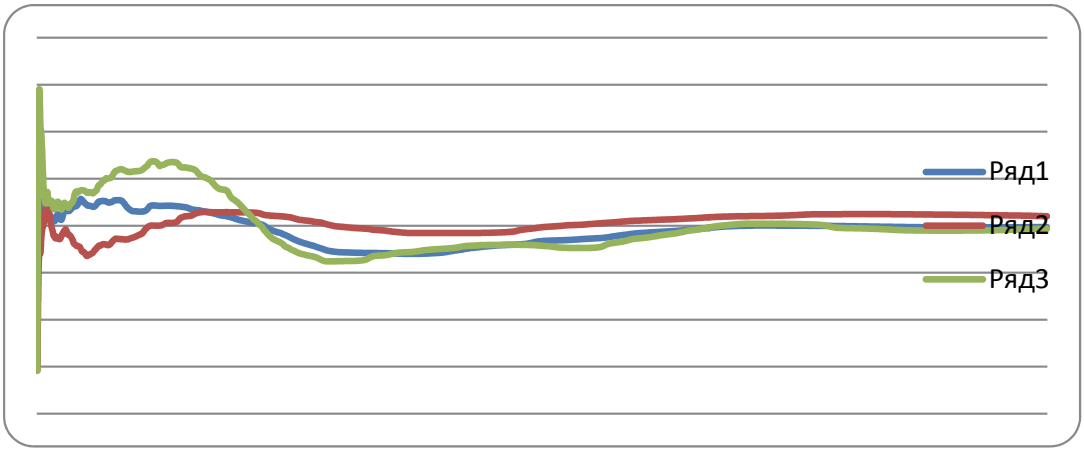


Рис. 3. Ошибки оценки координат потребителя, полученные ФКТ на основе относительного метода Float PPP

Параметры $c\cdot\left(\tau^{\hat{A}\times}_{k,L1,CT}-\tau^{\hat{A}\times}_{k,L1,CT,baz}\right)$, $c\cdot\left(\tau^{\hat{A}\times}_{k,L2,CT}-\tau^{\hat{A}\times}_{k,L2,CT,baz}\right)$, $c\cdot\left(\tau^{\hat{A}\times}_{k,L1,CT}-\tau^{\hat{A}\times}_{k,L1,CT,baz}\right)$ легко определяются при установке сетевых и пользовательского приемника на одну антенну.

$$R^k=\sqrt{(x^k-X_1)^2+(y^k-X_2)^2+(z^k-X_3)^2}$$

$$\dot{R}^k=\frac{(x^k-X_1)\cdot\dot{x}^k+(y^k-X_2)\cdot\dot{y}^k+(z^k-X_3)\cdot\dot{z}^k}{R^k}$$

Запишем необходимые вектора и матрицы для этого случая:

$$\dot{\bar{x}}=\begin{vmatrix}0 & 0 & \cdots & 0\end{vmatrix}^T.$$

Тогда матрицу $A_i=\frac{\partial\dot{\bar{x}}}{\partial\bar{x}}\Big|_{x=x_{i/i}}$ представим в виде:

$$A_i=\begin{vmatrix}0\,0\,0\,0\,0\cdots0\,0\,0\\0\,0\,0\,0\,0\cdots0\,0\,0\\0\,0\,0\,0\,0\cdots0\,0\,0\\0\,0\,0\,0\,0\cdots0\,0\,0\\0\,0\,0\,0\,0\cdots0\,0\,0\\\cdots\\0\,0\,0\,0\,0\cdots0\,0\,0\end{vmatrix}$$

и, соответственно, переходная матрица Φ_i, определяющая динамику оцениваемого вектора, будет равна: $\Phi_i=I+\Delta t\cdot A_i$,

$$H_{i+1}=\frac{\partial\bar{h}}{\partial\bar{x}}\Big|_{x=x_{i+1/i}}=\begin{vmatrix}H^1 & H_1\\\cdots\\H^k & H_k\\\cdots\\H^{J-1} & H_{J-1}\end{vmatrix},$$

$$H^k=\begin{vmatrix}a^k & b^k & c^k & \frac{1}{\sin\alpha_k}\\a^k & b^k & c^k & \frac{1}{\sin\alpha_k}\end{vmatrix},$$

где

$$a^k=-\frac{x^k-X_1}{R^k},\qquad b^k=-\frac{y^k-X_2}{R^k},$$

$$c^k=-\frac{z^k-X_3}{R^k}$$

$$H_1=\begin{vmatrix}1 & 0 & 0 & 0\cdots0 & 0\\0 & 0 & 0 & 0\cdots0 & 0\end{vmatrix},\ H_2=$$

$$=\begin{vmatrix}0 & 0 & 1 & 0\cdots0 & 0\\0 & 0 & 0 & 0\cdots0 & 0\end{vmatrix}$$ и т.д.

Матрица интенсивности шума измерений имеет следующий вид:

$$N=\begin{vmatrix}\sigma^2_{G_j} & 0\\0 & \sigma^2_{D_j}\end{vmatrix},\qquad N_0=\begin{vmatrix}0 & 0\\0 & 0\end{vmatrix},$$

$$N_i=\begin{vmatrix}N & N_0 & N_0\cdots & N_0\\N_0 & N & N_0\cdots & N_0\\\cdots\\N_0 & N_0 & N_0\cdots & N\end{vmatrix},\qquad(27)$$

$$\sigma^2_{D_j}=2\cdot\sigma^2_d,$$

где σ_d – СКО измерений псевдодальностей по коду; $\sigma^2_{G_j}=2\cdot\sigma^2_L$; σ_{L1} – СКО измерений псевдодальностей по фазе несущей $\lambda^k_{L1}\cdot\left(\varsigma^{L1}_{\psi_k}\right)\approx\lambda^k_{L2}\cdot\left(\varsigma^{L2}_{\psi_k}\right)$.

Результат натурного эксперимента приведен на рис. 3, где по оси ординат отложено время в секундах, а по оси абсцисс – ошибки оценки[3] координаты x (ряд 1), y (ряд 2), z (ряд 3) в миллиметрах.

Выводы

Разработанный относительный метод является методом высокоточного позиционирования по типу метода Float PPP, что демонстрируют результаты приведенного эксперимента.

Относительный метод *Float PPP* можно применять для оценки координат подвижного объекта с точно известной моделью движения [6–9].

Данный метод целесообразно использовать для высокоточного определения местоположения объектов глобальных автоматизированных систем типа ГАС РФ «Правосудие», «Выборы» и др. и пополнения соответствующих накопителей пространственных данных их геоинформационных подсистем [10, 11].

Метод можно считать глобальным, так как получаемые поправки не несут локального характера.

[3] Сейдж Э., Мелс Дж. Теория оценивания и ее применение в связи и управлении. – М.: Связь, 1976.

Рецензент: ***Алексеев Владимир Витальевич,*** *член редколлегии, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Информационные системы и защита информации» ТГТУ, г. Тамбов, Россия.*
E-mail: vvalex@yandex.ru

Литература

1. Бетанов В. В. К вопросу повышения устойчивости решения обобщенных некорректных задач навигационно-баллистического обеспечения на различных этапах полета КА // Труды 7-й Всеросс. конф. «Фундаментальное и прикладное координатно-временное и навигационное обеспечение» (КВНО-2017) (17 – 21 апреля 2017 г.) / ИПА РАН. – СПб: ИПА РАН. – С. 196 – 198.
2. Бетанов В.В. О распространении структурных свойств измерительных задач экспериментальной космической баллистики на объект-систему «задача-инструмент решения» // Труды XXIII Междунар. науч. конф. (1 – 8 июля 2018 г.)/ МАИ. – Евпатория: МАИ, 2018. – С. 111 – 114.
3. Вовасов В. Е., Бетанов В. В., Степанников В. М. Аналитическая оценка установившихся значений оцениваемых параметров и расчет элемента адаптации фильтров калмановского типа // Телекоммуникации. – 2014. – № 3. – С. 2 – 8.
4. ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования / Под ред. А. И. Перова, В. Н. Харисова. – М.: Радиотехника, 2010. – 800 с.
5. Ловцов Д. А. Информационная теория эргасистем: Тезаурус. – М.: Наука, 2005. – 248 с.
6. Ловцов Д. А., Андреев Г. И. Прецизионное прогнозирование движения техногенных объектов в околоземном космическом пространстве // Информация и космос. – 2015. – № 2. – С. 103 – 110.
7. Ловцов Д. А., Карпов Д. С. Динамическое планирование навигационных определений объектов ракетно-космической техники в АСУ лётными испытаниями // Вестник НПО им. С. А. Лавочкина. – 2010. – № 1. – С. 53 – 60.
8. Ловцов Д. А., Панюков И. И. Информационная технология автоматизированного планирования определения навигационных параметров объектов ракетной техники // Автоматика и телемеханика. – 1995. – № 12. – С. – 32 – 46.
9. Ловцов Д. А., Чернов В. В. Оптимизация бортового антенного комплекса объекта испытаний при обмене телеметрической информацией через спутник-ретранслятор // Вестник НПО им. С. А. Лавочкина. – 2019. – № 3. – С. 64 – 73. DOI: 10.26162/LS.2019.45.3.009.
10. Ловцов Д. А., Черных А. М. Геоинформационные системы. – М.: Росс. гос. ун-т правосудия, 2012. – 188 с. ISBN 978-5-93916-340-8.
11. Ловцов Д. А., Черных А. М. Модернизация системы судебной статистики на основе новой геоинформационной технологии // Правовая информатика. – 2016. – № 1. – С. 7 – 14.
12. Тюлин А. Е., Бетанов В. В. Летные испытания космических объектов. Определение и анализ движения по экспериментальным данным: Монография. – М.: Радиотехника, 2016. – 332 с.
13. Тюлин А. Е., Бетанов В. В., Кобзарь А. А. Навигационно-баллистическое обеспечение полета ракетно-космических средств. Кн. 1. Методы, модели и алгоритмы оценивания параметров движения: Монография. – М.: Радиотехника, 2018. – 479 с.
14. Тюлин А. Е., Бетанов В. В., Юрасов В. С., Стрельников С. В. Навигационно-баллистическое обеспечение полета ракетно-космических средств. Кн. 2. Системный анализ НБО: Монография. – М.: Радиотехника, 2018. – 487 с.
15. Тюлин А. Е., Бетанов В. В. Гарантированное координатно-временное и навигационное обеспечение потребителей // Правовая информатика. – 2020. – № 2. – С. 4 – 16. DOI: 10.21681/1994-1404-2020-2-04-16

16. Тюлин А. Е., Бетанов В. В. К вопросу повышения устойчивости решения обобщенных некорректных задач навигационно-баллистического обеспечения на различных этапах полета КА // Труды Института прикладной астрономии РАН. – Вып. 44. – СПб: ИПА РАН, 2018. – С. 114 – 125.
17. Поваляев А. А. Спутниковые радионавигационные системы: время, показания часов, формирование измерений и определение относительных координат. – М.: Радиотехника, 2008. – 328 с.
18. Ступак Г. Г. Система ГЛОНАСС как основа координатно-временного и навигационного обеспечения России. Основные направления международного сотрудничества в области ГНСС // Труды семинара «Практическое использование спутниковых навигационных технологий ГЛОНАСС/*GPS*» (8 – 9 апреля 2015 г.) // ГК «Роскосмос». – М.: АО «РКС», 2015. – С. 92 – 98.

A METHOD FOR HIGH-PRECISION POSITIONING OF SATELLITE SYSTEM INFORMATION CONSUMERS

Vladimir Betanov, *Dr.Sc. (Technology), Professor, corresponding member of the Russian Academy of Rocket and Artillery Sciences, Deputy Head of the AO (JSC) "Russian space systems" Centre, Russian Federation, Moscow.*
E-mail: *vlavab@mail.ru*

Valerii Vovasov, *Ph.D. (Technology), Leading Researcher at the AO (JSC) "Russian space systems", Russian Federation, Moscow.*
E-mail: *vovasov@list.ru*

Aleksandra Voropaeva, *Research Engineer at the AO (JSC) "Russian space systems", Russian Federation, Moscow.*
E-mail: *voropaevvv@list.ru*

Keywords: *global navigation satellite system, coordinate, time and navigation support, absolute precise location determination method, Float PPP method, Integer PPP method, signals model, dynamic filtering, consumers.*

Abstract.

Purpose of the work: *improving the scientific and methodological basis of the theory of consumers' high-precision positioning using a maximum amount of information under real conditions.*

Methods used: *system analysis and formal logical development of the method for high-precision determination of coordinates and time based on dynamic filtering.*

Results obtained: *a high-precision positioning method similar to Float PPP is developed allowing to use relative phase measurements of the user receiver and the nearest differential stations. Moreover, the corrections received from the stations are global in nature, that is, the relative method is in no way inferior to the absolute one. A Kalman type filter is used for dynamic filtering. An algorithm for both network and user solutions for GLONASS is developed. An estimate for the accuracy of the object coordinates based on real measurements is given.*

References

1. Betanov V. V. K voprosu povysheniia ustoichivosti resheniia obobshchennykh nekorrektnykh zadach navigatsionno-ballisticheskogo obespecheniia na razlichnykh etapakh poleta KA. Trudy 7-i Vseross. konf. "Fundamental'noe i prikladnoe koordinatno-vremennoe i navigatsionnoe obespechenie" (KVNO-2017) (17-21 aprelia 2017 g.), IPA RAN, SPb. : IPA RAN, pp. 196-198.
2. Betanov V.V. O rasprostranenii strukturnykh svoistv izmeritel'nykh zadach eksperimental'noi kosmicheskoi ballistiki na ob"ekt-sistemu "zadacha-instrument resheniia". Trudy XXIII Mezhdunar. nauch. konf. (1-8 iiulia 2018 g.), MAI, Evpatoriia : MAI, 2018, pp. 111-114.
3. Vovasov V. E., Betanov V. V., Stepannikov V. M. Analiticheskaia otsenka ustanovivshikhsia znachenii otsenivaemykh parametrov i raschet elementa adaptatsii fil'trov kalmanovskogo tipa. Telekommunikatsii, 2014, No. 3, pp. 2-8.
4. GLONASS. Printsipy postroeniia i funktsionirovaniia. Pod red. A. I. Perova, V. N. Kharisova, M. : Radiotekhnika, 2010, 800 pp.
5. Lovtsov D. A. Informatsionnaia teoriia ergasistem: Tezaurus. M. : Nauka, 2005, 248 pp.
6. Lovtsov D. A., Andreev G. I. Pretsizionnoe prognozirovanie dvizheniia tekhnogennykh ob"ektov v okolozemnom kosmicheskom prostranstve. Informatsiia i kosmos, 2015, No. 2, pp. 103-110.

7. Lovtsov D. A., Karpov D. S. Dinamicheskoe planirovanie navigatsionnykh opredelenii ob"ektov raketno-kosmicheskoi tekhniki v ASU letnymi ispytaniiami. Vestnik NPO im. S. A. Lavochkina, 2010, No. 1, pp. 53-60.
8. Lovtsov D. A., Paniukov I. I. Informatsionnaia tekhnologiia avtomatizirovannogo planirovaniia opredeleniia navigatsionnykh parametrov ob"ektov raketnoi tekhniki. Avtomatika i telemekhanika, 1995, No. 12, pp. 32-46.
9. Lovtsov D. A., Chernov V. V. Optimizatsiia bortovogo antennogo kompleksa ob"ekta ispytanii pri obmene telemetricheskoi informatsiei cherez sputnik-retransliator. Vestnik NPO im. S. A. Lavochkina, 2019, No. 3, pp. 64-73. DOI: 10.26162/LS.2019.45.3.009.
10. Lovtsov D. A., Chernykh A. M. Geoinformatsionnye sistemy. M. : Ross. gos. un-t pravosudiia, 2012, 188 pp. ISBN 978-5-93916-340-8.
11. Lovtsov D. A., Chernykh A. M. Modernizatsiia sistemy sudebnoi statistiki na osnove novoi geoinformatsionnoi tekhnologii. Pravovaia informatika, 2016, No. 1, pp. 7-14.
12. Tiulin A. E., Betanov V. V. Letnye ispytaniia kosmicheskikh ob"ektov. Opredelenie i analiz dvizheniia po eksperimental'nym dannym : monografiia. M. : Radiotekhnika, 2016, 332 pp.
13. Tiulin A. E., Betanov V. V., Kobzar' A. A. Navigatsionno-ballisticheskoe obespechenie poleta raketno-kosmicheskikh sredstv. Kn. 1. Metody, modeli i algoritmy otsenivaniia parametrov dvizheniia : monografiia. M. : Radiotekhnika, 2018, 479 pp.
14. Tiulin A. E., Betanov V. V., Iurasov V. S., Strel'nikov S. V. Navigatsionno-ballisticheskoe obespechenie poleta raketno-kosmicheskikh sredstv. Kn. 2. Sistemnyi analiz NBO : monografiia. M. : Radiotekhnika, 2018, 487 pp.
15. Tiulin A. E., Betanov V. V. Garantirovannoe koordinatno-vremennoe i navigatsionnoe obespechenie potrebitelei. Pravovaia informatika, 2020, No. 2, pp. 4-16. DOI: 10.21681/1994-1404-2020-2-04-16.
16. Tiulin A. E., Betanov V. V. K voprosu povysheniia ustoichivosti resheniia obobshchennykh nekorrektnykh zadach navigatsionno-ballisticheskogo obespecheniia na razlichnykh etapakh poleta KA. Trudy Instituta prikladnoi astronomii RAN, vyp. 44, SPb. : IPA RAN, 2018, pp. 114-125.
17. Povaliaev A. A. Sputnikovye radionavigatsionnye sistemy: vremia, pokazaniia chasov, formirovanie izmerenii i opredelenie otnositel'nykh koordinat. M. : Radiotekhnika, 2008, 328 pp.
18. Stupak G. G. Sistema GLONASS kak osnova koordinatno-vremennogo i navigatsionnogo obespecheniia Rossii. Osnovnye napravleniia mezhdunarodnogo sotrudnichestva v oblasti GNSS. Trudy seminara "Prakticheskoe ispol'zovanie sputnikovykh navigatsionnykh tekhnologii GLONASS/GPS" (8-9 aprelia 2015 g.), GK "Roskosmos", M. : AO "RKS", 2015, pp. 92-98.

ОПТИМИЗАЦИОННЫЙ ПОДХОД В МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ СТАБИЛИЗАЦИИ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ОХРАННОГО МОНИТОРИНГА

Зайцев А.В., Канушкин С.В.*

Ключевые слова: *мониторинг, дистанционно пилотируемые летательные аппараты, беспилотный летательный аппарат, информация, управление, информационная неопределенность, алгоритм, стабилизация, бинарность, нелинейность, насыщение, синтез, многокритериальность, Парето, эффективность, регулятор, быстродействие, качество, моделирование.*

Аннотация.

Цель работы: *обеспечение эффективного управления угловым движением нелинейной системы стабилизации дистанционно пилотируемого летательного аппарата при увеличенных возмущениях в условиях неопределённости.*

Метод: *комплексный теоретико-прикладной синтез на основе принципа бинарности в классе нелинейных систем, реализующих многокритериальное управление на различных участках фазового пространства.*

Результаты: *предложен оптимизационный подход в многокритериальной стабилизации динамических объектов на основе модифицированного метода динамического программирования, позволяющий получить эффективное управление; разработан бинарный алгоритм угловой стабилизации с дополнительным квадрантно-избирательным управлением, обеспечивающий на 4% больше устойчивость углового движения нелинейной системы при аддитивных возмущениях по сравнению с традиционным линейным алгоритмом стабилизации за счёт увеличения на 40% быстродействия системы угловой стабилизации; сделан вывод о необходимости и целесообразности использования квадрантно-избирательного управления, которое подтверждает свою эффективность.*

DOI: 10.21681/1994-1404-2020-3-65-77

В системе правоохранительных органов для разведки, наблюдения, рекогносцировки, мониторинга площадных охраняемых объектов все чаще применяются роботехнические комплексы (РТК) и особенно дистанционно пилотируемые летательные аппараты (ДПЛА) [1, 8–10, 18–20].

Возможности РТК во многом определяются средствами автономного или дистанционного управления при подготовке к применению и технической эксплуатации. РТК имеют ряд сенсоров (устройства получения видовой информации [18]) для восприятия окружающей его среды), исполнительных устройств (эффекторов) для воздействия на среду и систему управления, которая позволяет ДПЛА совершать целенаправленные и полезные действия. В структуре имеется *информационно-измерительная система*, которая должна обладать некоторыми интеллектуальными возможностями, и интерфейс с оператором. Устройство информационного обмена обеспечивает распределение видовой информации между бортовыми источниками видовой информации, передатчиком радиолинии видовой информации и бортовым устройством хранения видовой информации. Это устройство также обеспечивает информационный обмен между всеми функциональными устройствами, входящими в состав целевой нагрузки комплекса по выбранному интерфейсу. Таким образом, ДПЛА представляют собой информационную систему и обладают всеми ее особенностями.

Информационная система[1] предназначена для своевременного обеспечения операторов ДПЛА надлежащей информацией, т.е. для удовлетворения кон-

[1] Международный стандарт ISO/IEC 2382:2015. Information technology – Vocabulary.

* ***Зайцев Александр Владимирович,*** *доктор технических наук, профессор, профессор Военной академии имени Петра Великого, Российская Федерация, г. Москва.*

E-mail: ug253@mail.ru

Канушкин Сергей Владимирович, *кандидат технических наук, доцент, доцент Военной академии имени Петра Великого, Российская Федерация, г. Москва.*

E-mail: kan.cer59@yandex.ru

кретных информационных потребностей в рамках определённой решаемой задачи, при этом результатом функционирования информационных систем является «информационная продукция» – информационные массивы, базы данных и информационные услуги.

Современные системы стабилизации ДПЛА становятся все более и более сложными, так как расширяется круг решаемых ими задач. При возрастании сложности систем, уровень которых оценивается объемом циркулирующей в них информации, следует использовать, создавать и развивать наиболее *интеллектуальные* компоненты и системы управления. Создание систем интеллектуального управления требует учета *основных принципов*: обмена информацией; открытости систем интеллектуального управления для самоорганизации и самообучения; прогнозирование изменения в системе и внешней среде [2, 9, 11, 13].

Многоуровневая архитектура интеллектуальной системы управления, как правило, состоит из трех уровней: концептуального, информационного и операционного. Система, построенная по такой архитектуре, управляет поведением сложных технических объектов в условиях автономного и коллективного взаимодействия. Концептуальный уровень является ответственным за реализацию высших интеллектуальных функций. Информационный и операционный уровни содержат модули, поддерживающие разные интеллектуальные и информационные процедуры и трансформирующие их в управление.

На информационном уровне управления решаются задачи *информационного моделирования*, основными из которых являются: построение информационной ситуации и информационной позиции [2, 11, 14–16], которые соответствуют компоненту. На информационном уровне управления решаются задачи построения информационной конструкции, которая является отражением системы правил концептуального уровня. Важно отметить различие между *интеллектуальными* и *информационными* технологиями.

Информационные технологии выполняют функции поддержки интеллектуального управления. Основную роль играют интеллектуальные технологии принятия решений. Они дают возможность наряду с решением или в ходе получения решения осуществлять поиск новых знаний и накопления интеллектуальных ресурсов. Информационные технологии создают только информационные ресурсы. Это означает, что знания, формализованные в явном виде, будучи освоенными, могут стать частью опыта и частью базы знаний и быть использованы для решения задач и принятия решений[2].

В реальных условиях информация об объекте и действующих на него возмущениях всегда неполна. *Информационная неопределенность* – это ситуация, при которой полностью или частично отсутствует информация о вероятных будущих событиях, т.е. неопределенность – это то, что не поддается оценке.

Если априорной информации достаточно для решения задачи синтеза, т.е. информация точна и допускаются лишь малые отклонения от модели линейного оператора, а цели регулирования заданы не очень «жестко», то для синтеза стабилизирующего оператора вполне применимы классические методы синтеза. В тех случаях, когда отклонение не мало, а об изменениях характеристик объекта управления можно получить необходимую информацию в режиме реального времени, можно организовать настройку оператора обратной связи. Если же изменения оператора объекта происходят интенсивно и к тому же неконтролируемым образом, помеха не является волновой, кроме того, сформулированы «строгие» требования к качеству регулирования, а также имеются ограничения на фазовые переменные и управление, то традиционные методы синтеза стабилизирующих регуляторов неприменимы и следует искать новые подходы к синтезу управления в таких сложных условиях.

Сочетание принципа *бинарности* с принципом *регулирования по отклонению* позволяет перейти к автоматическому формированию законов управления в условиях, когда априорной информации недостаточно для прямого синтеза обратной связи, сообщающей замкнутой системе управления требуемую совокупность свойств.

Автопилот является системой, используемой для управления полетом без помощи пилота. Для ДПЛА автопилот является системой полного управления летательного аппарата во время всех фаз полета. Тогда как некоторые функции управления полетом могут находиться на наземной станции управления, автопилотная часть системы управления ДПЛА находится на борту. Основной *целью* автопилота является управление положением в инерциальной системе и ориентацией в пространстве ДПЛА. Для большинства представляющих интерес маневров, совершаемых в полете, автопилоты, разработанные на основе предположения о динамике «развязанных» движений, дают хорошие результаты.

При дистанционном пилотировании появилась необходимость совершать маневры, достаточные для отработки сигнала управления, без потери устойчивости ДПЛА. В таких условиях традиционные методы управления оказываются ограниченными в применении, так как не обеспечивается требуемое качество.

Современные летательные аппараты сами по себе становятся все более и более сложными. Помимо требования устойчивости, к системе управления аппаратом предъявляются определенные *требования* по ее качеству. Критериев качества управления много. Выбор частных критериев – это эвристическая плохо формализованная задача, решение которой затрудняется необходимостью удовлетворения следующих отчасти противоречивых условий: *полнота, минимальность,*

[2] ГОСТ Р 53622-2009. Информационные технологии. Информационно-вычислительные системы. Стадии и этапы жизненного цикла, виды и комплектность документов.

неизбыточность, операциональность, декомпозируемость, измеримость и др. [4–7, 12, 13].

Эти обстоятельства диктуют необходимость разработки специальных методов переработки информации, обеспечивающих решение задач многокритериального управления. Современные системы стабилизации *беспилотного летательного аппарата* становятся все более и более сложными, так как расширяется круг задач, решаемых ими[3].

Многокритериальность проявляется при наличии трудно соизмеримых между собой критериев оптимальности и определяет сложность процедуры получения результата. При этом достаточно распространенная на практике *задача* выбора при многих объектах, характеризуемых своими локальными критериями, еще более усложняет подобную процедуру. Этот фактор, так же как и приведенные выше способы оценки элементов набора ситуационных данных, определяет *принцип* подхода к получению результата. Для выбора решения необходимо представлять как состояние внешней среды, так и возможности ДПЛА.

Необходимо учитывать, что многокритериальность целого достигается реализацией совокупности однокритериальных частей. Многокритериальность задачи создает сложности формирования целевой функции и приводит к множеству возможных решений. Многокритериальность задачи оптимизации и возможность ее невыпуклости существенно затрудняют реализацию задач отыскания абсолютного (глобального) оптимума в пространстве допустимых управлений [4–7].

Один из способов учета многокритериальности задачи сводится к формированию некоторого комплексного критерия, представляющего собой, например, сумму отдельных критериев, каждый из которых наделяется определенным весовым коэффициентом [17]. Меняя значения весов, решают, как и при первом способе, несколько оптимизационных задач, а затем выбирают один из результатов в качестве окончательного, оптимального.

Для борьбы с многокритериальностью используют различные методы свертки критериев [17]. Существенная многокритериальность динамических систем, характеризуемая наличием многих формализованных критериев, их несоизмеримостью между собой, не позволяет на достаточно объективной и достоверной основе свести все эти критерии в единственный скалярный критерий оптимальности, а требует рассматривать эти критерии как некоторую совокупность или вектор.

В сложных системах, подчиненных глобальной (общей) цели, возникает необходимость учета неопределенных и неконтролируемых факторов, влияющих на процесс управления. Следствием неопределенности ситуаций, вызываемых наличием неопределенных и неконтролируемых факторов, является невозможность составления полной математической модели системы, описания взаимодействия между подсистемами и составления единого критерия цели или эффективности управления. Таким образом, типичной для задачи управления является *многокритериальность,* т.е. наличие ряда показателей, одни из которых желательно обратить в максимум, другие – в минимум. Основные подходы к решению задач многокритериальной оптимизации представлены на рис. 1.

Множество допустимых решений, для которых невозможно одновременно улучшить все частные показатели эффективности (т. е. улучшить хотя бы один из них, не ухудшая остальных), принято называть *областью Парето*, или областью компромиссов, а принадлежащие ей решения – эффективными или *оптимальными по Парето*. В общем случае эффективные решения не эквивалентны друг другу, так что про два оптимальных по Парето решения нельзя сказать, какое из них лучше. Поэтому при решении многокритериальных задач необходимо дополнительное изучение эффективных решений[4].

Возникает необходимость в применении новых принципов управления, учитывающих особенности таких объектов. Один из таких принципов дает теория бинарных систем, использующих местные глубокие обратные связи, когда необходимые условия реализуются локально, в каком-то месте фазового пространства системы. Теория бинарных систем является одним из направлений развития принципов адаптивного управления. Суть этого подхода состоит в систематическом применении при структурном синтезе системы *принципа регулирования* по отклонению и расширению на этой основе множества типов обратных связей.

Введённое различие между *переменными-координатами* и *переменными-операторами* следует понимать условно, как удобный для использования методологический приём. Переменную называют *координатой*, если над ней осуществляется то или иное преобразование, и ту же самую переменную считают *оператором*, если она определяет вид преобразования, выполняемого над какой-либо координатой. Двойственное толкование переменных состояния нелинейной динамической системы принято именовать *принципом бинарности* [3].

Оптимизационный подход в многокритериальной стабилизации движения динамических объектов рассмотрим в следующей постановке [4–6].

Пусть состояние системы описывается вектором $x = (x_1,\ldots,x_n)$ – фазовым пространством. Переход из начального в конечное состояние называют фазовой траекторией процесса, которую условно можно разбить на N участков. Динамика системы описывается дифференциальным уравнением вида:

[3] См., *например*: Системы управления летательными аппаратами: Учебник / Под общ. ред. Г..Н. Лебедева – М.: Изд-во МАИ, 2007. – 756 с. ISBN 978-5-7035-1853-3.

[4] Методы современного классической теории автоматического управления: Учебник в 5-ти тт. Т. 5. Методы современной теории автоматического управления / Под ред. К. А. Пупкова, Н. Д. Егупова. – М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2004. – 784 с. ISBN 5-7038-2193-2.

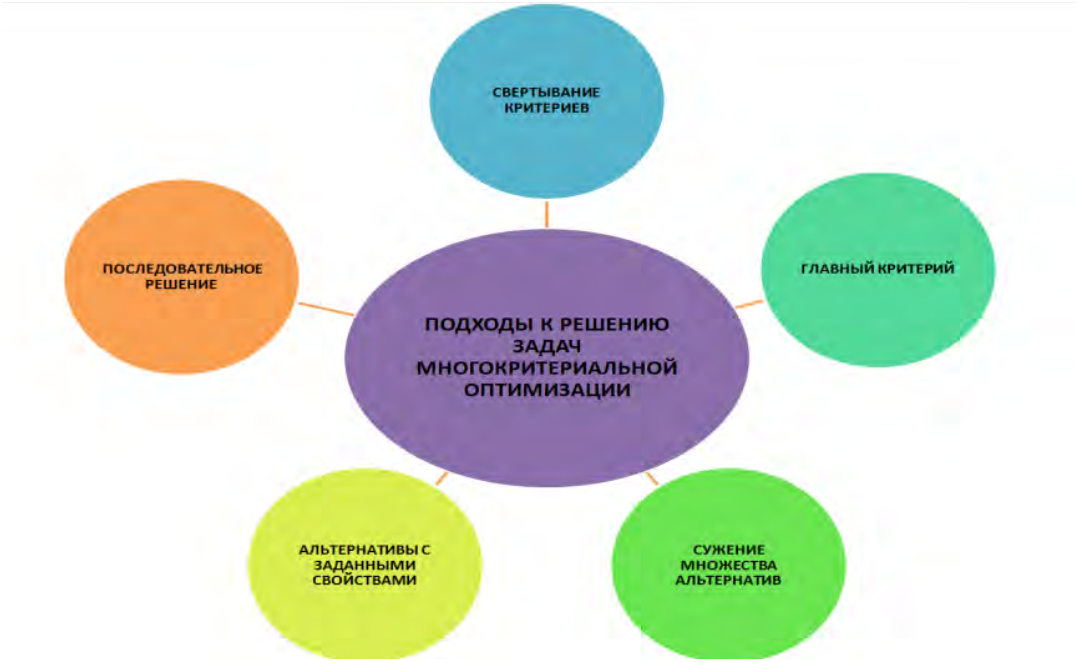


Рис. 1. Основные подходы к решению задач многокритериальной оптимизации

$$\dot{x} = q(x,u), \tag{1}$$

где: $u(N)$ – вектор управления, т.е. искомая на каждом участке фазового пространства альтернатива.

На фазовую траекторию и управление налагаются ограничения:

$$\begin{aligned} &x^k \in X_k, k = 0,\ldots,N \\ &u^k \in U_k(x^{k-1}), k = 1,\ldots,N \end{aligned}. \tag{2}$$

Последовательность выбираемых альтернатив образует стратегию $\{u_N\}$. Качество альтернативы u_N может быть оценено с помощью функции $F(u_N)$. Пусть заданы участки фазовой траектории $x_1, x_2,\ldots,x_N$ и множество альтернатив. На участке $x_k \neq x_0$ альтернатива $u(x_k)$ выбирается из множества $u(u(N_0,\ldots,u(N_k - {}_1)))$. Каждой альтернативе $u(x_k)$ ставится в соответствие векторная оценка

$$f(u(x_k)) = \{f_1(u(x_k, x_k, u(x_0),\ldots u(x_{k-1}),\ldots, f_n(u(x_k), x_k,, u(x_0),\ldots, u(x_{r-1})\}.$$

Векторная оценка стратегии $\{u_N\}$ определяется следующим образом:

$$\begin{aligned} &\varphi_1(\{u(x_k)\}) = \sum_k f_1(u(x_k), x_k, u(x_0), \ldots, u(x_{k-1})), \\ &\varphi_n(\{u(x_k)\}) = \sum_k f_n(u(x_k), x_k, u(x_0), \ldots, u(x_{k-1})), \\ &\varphi_{n+1}(\{u(x_k)\}) = \sum_k f_{n+1}(u(x_N)), \\ &\varphi_{n+2}(\{u(x_k)\}) = \sum_k f_{n+2}(u(x_N)). \end{aligned} \tag{3}$$

Необходимо найти *парето-оптимальное* (П-оптимальное) решение. Следовательно, необходимо установить связь между качеством стратегии и входящих в нее альтернатив и выработать условия, которым должна удовлетворять выбираемая на каждом участке фазовой траектории альтернатива, чтобы стратегия была П-оптимальна.

Рассмотрим всевозможные состояния, которые достижимы системой (1) на участке x_k. Пусть управление $u_1(x_k)$ переводит систему в состояние x_{k+1}, а управление $u_2(x_k)$ в состояние x_{k+2}, следовательно, на следующем участке фазовой траектории выбирается альтернатива $u(x_{k+1})$. Ее векторная оценка будет зависеть от того, в каком состоянии в этот момент находилась система, а следовательно, и от того, какие альтернативы выбирались в прошлом.

$$f_i(u_1(x_{k+1}), x_{k+1}) \neq f_i(u_1(x_{k+1}), x'_{k+1}) \tag{4}$$

Следовательно, задача не является задачей независимого выбора, отсюда необходимо решить задачу многокритериальной оптимизации модифицированным методом динамического программирования[5].

Стратегия $\{u^*(x_k)\}$ считается П-оптимальной, если для любой другой допустимой траектории $\{u(x_k)\}$ из соотношения

$$\varphi_i(\{u(x_k)\}) \geq \varphi_i(\{u^*(x_k)\}), i = 1,\ldots,n$$

вытекает, что

$$\varphi_i(\{u(x_k)\}) = \varphi_i(\{u^*(x_k)\}), i = 1,\ldots,n.$$

Следовательно, стратегия $\{u^*(x_k)\}$ будет эффективной, если на множестве допустимых стратегий не существует такой стратегии $\{u(x_k)\}$, для которой выполнялись бы неравенства

$$\begin{aligned} &\varphi_i(\{u(x_k)\}) \geq \varphi_i(\{u^*(x_k)\}), \forall i \in I_1, \\ &\varphi_i(\{u(x_k)\}) \leq \varphi_i(\{u^*(x_k)\}), \forall i \in I_2, \end{aligned} \tag{5}$$

и хотя бы одно из них было строгим.

[5] Дубов Ю. А., Травкин С. И., Якимец В. И. Многокритериальные модели формирования и выбора вариантов систем. – М.: Наука, 1986. – 296 с.

Здесь I_1 – множество индексов, соответствующих функциям цели (3), которые необходимо максимизировать; I_2 – множество индексов, соответствующих функциям цели, которые необходимо минимизировать. При отыскании эффективных стратегий следует помнить, что они могут быть несравнимы по множеству функций цели. Поэтому в процессе синтеза необходимо решить вопрос о существовании эффективных альтернатив. Анализ условий оптимальности можно провести, сравнивая поставленную задачу с аналогичной задачей, но со скалярным критерием. При этом множество векторных оценок альтернатив и множество векторных оценок стратегий являются подмножествами вещественной прямой.

Оптимальная стратегия $\{u_N^*\}$ в скалярном случае обладает следующими свойствами:

1) если стратегия $\{u_N^*\}$ оптимальна, то альтернативы u_N также оптимальны, т.е. $f(u_N^*) \geq f(u_N)$;

2) если альтернативы u_N^* оптимальны, то составленная из них стратегия $\{u_N^*\}$ оптимальна;

3) для любой оптимальной альтернативы на участке N существует содержащая ее стратегия.

Оптимальную по Парето векторную оценку f, принадлежащую множеству векторных оценок, необходимо считать опасной, если существует такое множество векторных оценок, что оценка $f+g$ не будет оптимальной по Парето. Доказано[6], что любая П-оптимальная векторная оценка, не принадлежащая границе выпуклой оболочки, т.е. границе пересечения всех выпуклых множеств его содержащих, является опасной.

Если опасные векторные оценки существуют, то выбор на некотором участке фазового пространства П-оптимальной альтернативы, обладающей опасной оценкой, может привести к тому, что независимо от того, как осуществляется выбор в будущем, стратегия уже не будет П-оптимальна.

При получении условий многокритериальной оптимизации определение опасных векторных оценок имеет большое значение, особенно для реальной задачи с векторной оценкой стратегии (3). Наличие опасных векторных оценок хотя бы для одного участка фазового пространства означает, что свойство 3 не имеет место.

С учетом изложенного для решаемой задачи, в которой часть векторных оценок стратегии связана с качеством альтернатив не аддитивно (3), условия П-оптимальности можно определить следующим образом.

На участках фазового пространства x_k, характеризуемых максимальными требования по $f_i(u(x_k)$, альтернатива u_k^* выбирается таким образом, что при этом составляющая вектора принимает свое наименьшее значение. При этом векторная оценка будет принадлежать границе выпуклого множества, следовательно, не будет являться опасной.

Так как принято предположение о том, что для одной из векторных оценок, имеющей не аддитивную связь с качеством альтернативы на участке фазового пространства x_k, эта составляющая векторной оценки альтернативы $f_i(u(x_i))$ принимает свое минимальное значение и при этом этот участок характеризуется максимальными требованиями по этой составляющей, то на любом другом участке фазовой траектории при неизменных альтернативах на других участках фазового пространства невозможно получить составляющую векторной оценки альтернативы, удовлетворяющую условию

$$f_i(u(x_k) < f_i(u(x_i)), \tag{6}$$

следовательно, $\varphi_i = f_i(u(x_k))$.

Таким образом, подход многошагового принятия решения на управление движением объекта должен основываться на следующих особенностях решаемой задачи.

1. Если на каждом участке фазового пространства, характеризуемым максимальными требованиями по соответствующей составляющей векторной оценки, выбирается альтернатива, структурно оптимизирующая данную составляющую, то такая стратегия $\varphi\{u_n\}$ – эффективна по Парето.

2. Наилучшей будет стратегия, в которой число участков фазового пространства равно числу составляющих векторных оценок, не аддитивно связанных с качеством альтернатив, и на каждом участке выбирается альтернатива, минимизирующая составляющую, к которой на данном участке предъявляются максимальные требования.

Выбор частных критериев оценки – это эвристическая плохо формализованная задача, решение которой затрудняется необходимостью удовлетворения следующих отчасти противоречивых условий:

1. *Полнота* – набор критериев должен полно характеризовать решение.
2. *Минимальность* – набор должен содержать как можно меньшее количество критериев.
3. *Неизбыточность* – различные критерии не должны учитывать одни и те же характеристики системы.
4. *Операциональность* – каждый частный критерий должен иметь понятную формулировку, ясный и однозначный смысл, характеризовать определенные качества.
5. *Декомпозируемость* – набор критериев должен допускать возможность упрощения исходной задачи оценки альтернатив путем разбиения (декомпозиции) на более простые части.
6. *Измеримость* – каждый критерий должен допускать возможность оценки (количественной или качественной) интенсивности характеризуемого качества.

Рассмотрим стандартную з*адачу стабилизации* неопределенного объекта в условиях, когда по априорной информации о координатном и операторном возмущениях требуется выбрать оператор стабилизирующей

[6] Дубов Ю. А., Травкин С. И., Якимец В. И. Многокритериальные модели формирования и выбора вариантов систем. М. : Наука, 1986. 296 с.

обратной связи. В качестве объекта управления выберем летательный аппарат, динамика которого в общем виде описывается уравнением вида

$$\dot{x} = A(t)x + b(t)u + \lambda, \quad (7)$$

где $x^T = (x_1 \dots x_n)$, $b^T = (b_1 \dots b_n)$, u – управления; $A(t)$ – матрица размера $[n \times n]$ с элементами a, λ – аддитивные возмущения; параметры объекта, т.е. a и b, изменяются в определенных пределах.

Необходимо найти управления $U = U(x,t)$ при котором минимизируется критериальный вектор $I\{I_1, I_2\}$:

$$I_1 = \min \int_0^T 1\, dt;\ I_2 = \min(x_i^{\max}(t)). \quad (8)$$

Решение задачи будем искать в классе бинарных систем [3, 4, 10]. Теория бинарного управления отражает идеологию единства процессов самоорганизации и управления, т.е. представляет собой своего рода симбиоз кибернетики и синергетики. Основная особенность заключается в формировании нового механизма генерации нелинейных обратных связей. Введение бинарного управления в процедуру синтеза систем позволяет построить регулярный механизм аналитической генерации естественной совокупности отрицательных и положительных обратных связей, которые формируют процессы направленной самоорганизации.

Методологическое отличие между подходом к синтезу бинарных систем и подходом к построению большинства адаптивных систем управления заключается в замене принципа регулирования по возмущению или по его оценкам на *принцип регулирования по отклонению* для компенсации операторных (параметрических) возмущений в операторе объекта регулирования[7]. Под *отклонением* здесь понимается некоторая величина, связанная с отличием фактических свойств системы от требуемых в постановке задачи управления. При таком подходе отпадает необходимость в оценке текущих характеристик оператора, что сулит существенные преимущества и, в частности, позволяет ослабить или снять ограничения типа условий квазистационарности управляемого процесса. Помимо снятия этого ограничения, преимуществом над прочими системами управления является то, что бинарные системы управления не требуют длительного периода подготовки к эксплуатации, как, например, интеллектуальные системы управления на базе нейроподобных сетей и нечеткой логики.

Применение принципа регулирования по отклонению позволяет создавать системы, инвариантные к множеству возмущений, действующих на объект управления, что также упрощает саму систему управления и её применение. Исходя из сказанного, применение теории бинарных систем для управления сложными нестационарными нелинейными динамическими объектами можно считать достаточно перспективным.

В результате синтеза в процессе композиции путем формирования межэлементных прямых и обратных связей посредством специально разработанной системы *информационных коммуникаций* образуется бинарная подсистема управления. Справедливости ради нужно заметить, что использование дополнительной информации о состоянии объекта позволяет обойтись при решении рассматриваемой задачи только одной глубокой обратной связью.

Переход от формирования сигнала к формированию оператора, вырабатывающего нужный сигнал, можно возвести в принцип и дать ему, например, следующую формулировку. При *дефиците информации* следует переходить от программного формирования функции к синтезу алгоритма (оператора), генерирующего функцию. Следует синтезировать не сам оператор обратной связи, но алгоритм его формирования, а поскольку все это происходит в условиях неопределенности, то без механизма обратной связи здесь не обойтись.

По мере усложнения задачи стабилизации все большая роль отводится *нелинейности*. Кроме того, выясняется, что без нелинейной обратной связи не может быть хорошей стабилизации и именно нелинейная обратная связь наделяет систему управления способностью демонстрировать «нужное» поведение в сложных и постоянно изменяющихся внешних и внутренних условиях. Оказывается, что с некоторого уровня сложности задачи «хороший» регулятор обязательно будет нелинейным. Известно, что в нелинейном мире нет регулярных путей и универсальных методов, характерных для локальных теорий, так как специфика нелинейности часто играет решающую роль.

Бинарное управление является достаточно эффективным средством стабилизации неопределенного объекта, поскольку:

- нет необходимости иметь полную информацию о фазовом векторе объекта;
- допускаются как нестационарная неопределенность, так и произвольные внешние воздействия;
- учитывается «разнотемповость» физических процессов, протекающих в реальной системе на различных участках фазового пространства.

Изменение во времени параметров объекта управления принципиально не меняет описанной выше картины, так как уравнения движения при этом остаются прежними. Таким образом, использование свойств бинарности при управлении беспилотными летательными аппаратами позволяют получить П-оптимальное управление при действии как аддитивных, так и мультипликативных возмущений.

Предлагается бинарный алгоритм управления следующего вида [21]:

$$U = k_\psi \psi + k_{\dot{\psi}} \dot{\psi} + U_{бн} \quad (9)$$

Математическое описание квадрантно-избирательного алгоритма управления динамикой нелинейной

[7] Методы классической и современной теории автоматического управления: Учебник в 5-ти тт. Т. 3. Синтез регуляторов систем автоматического управления / Под ред. К. А. Пупкова, Н. Д. Егупова. – М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004. – 616 с. ISBN 5-7038-2194-0.

Таблица 1

Значения знака бинарного управления при формировании сигнала управления

Измеряемая величина	Знак измеряемой величины							
ψ	+	+	+	+	–	–	–	–
$\dot{\psi}$	+	+	–	–	+	+	–	–
$\ddot{\psi}$	+	–	+	–	+	–	+	–
Величина бинарного управления	4	0	0	0	0	0	0	4

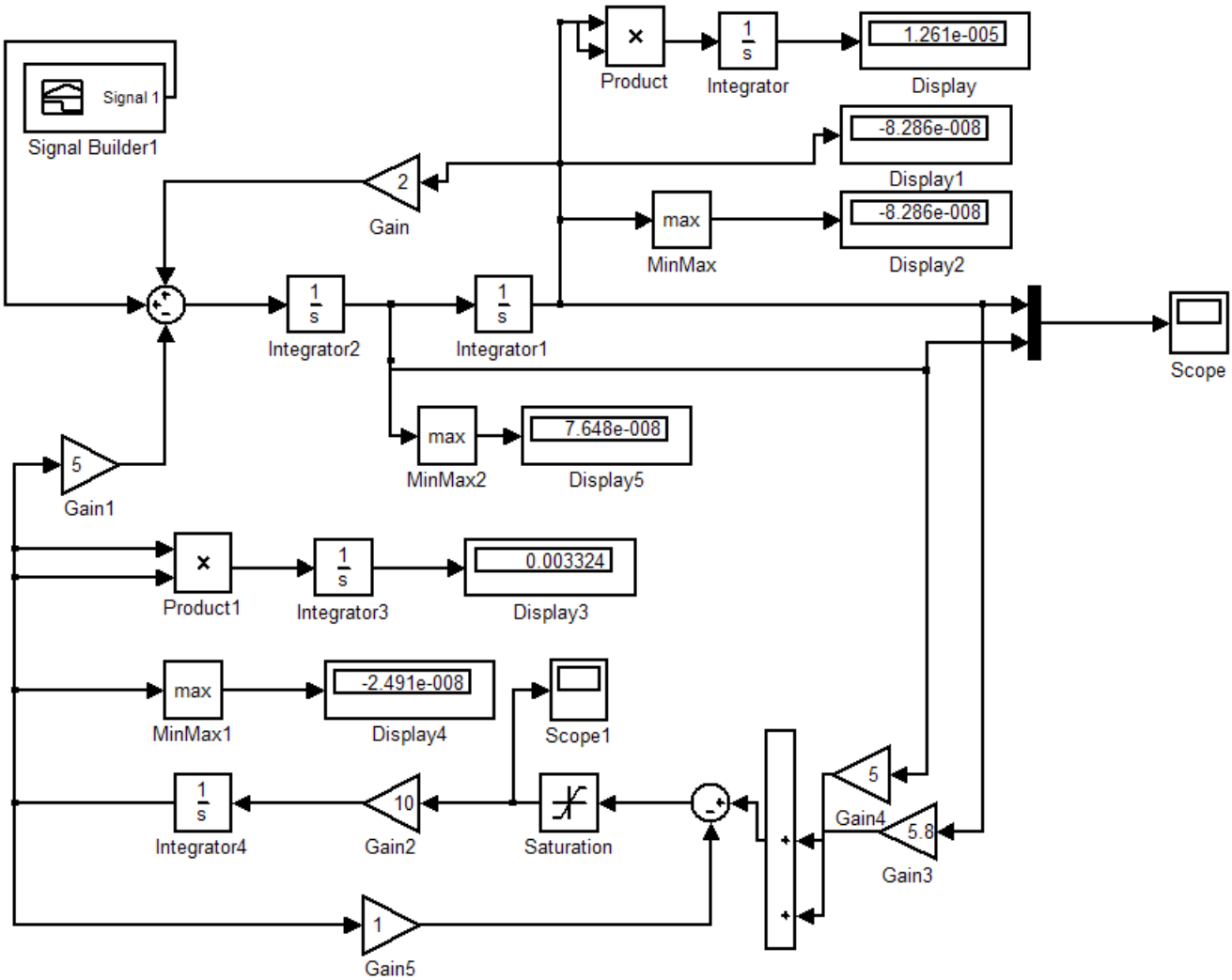


Рис. 2. Структурная схема модели с традиционным линейным ПД-регулятором

системы стабилизации ДПЛА, полученного на основе принципа бинарности, выглядит следующим образом:

$$U = k_{\psi}\psi + k_{\dot{\psi}}\dot{\psi} + \left(\operatorname{sign}\psi + \operatorname{sign}\dot{\psi}\right)\left(\operatorname{sign}\dot{\psi} + \operatorname{sign}\ddot{\psi}\right). \quad (10)$$

Предлагаемая система использует переменные состояния нелинейной динамической системы как координату, и те же самые переменные считаются оператором, создавая дополнительное управление при одинаковых знаках измеряемых параметров. Основной положительный *эффект* достигается за счет того, что в первом и третьем квадрантах фазовой плоскости возмущающий момент совпадает по направлению с аэродинамическим, следовательно, движение в данных квадрантах

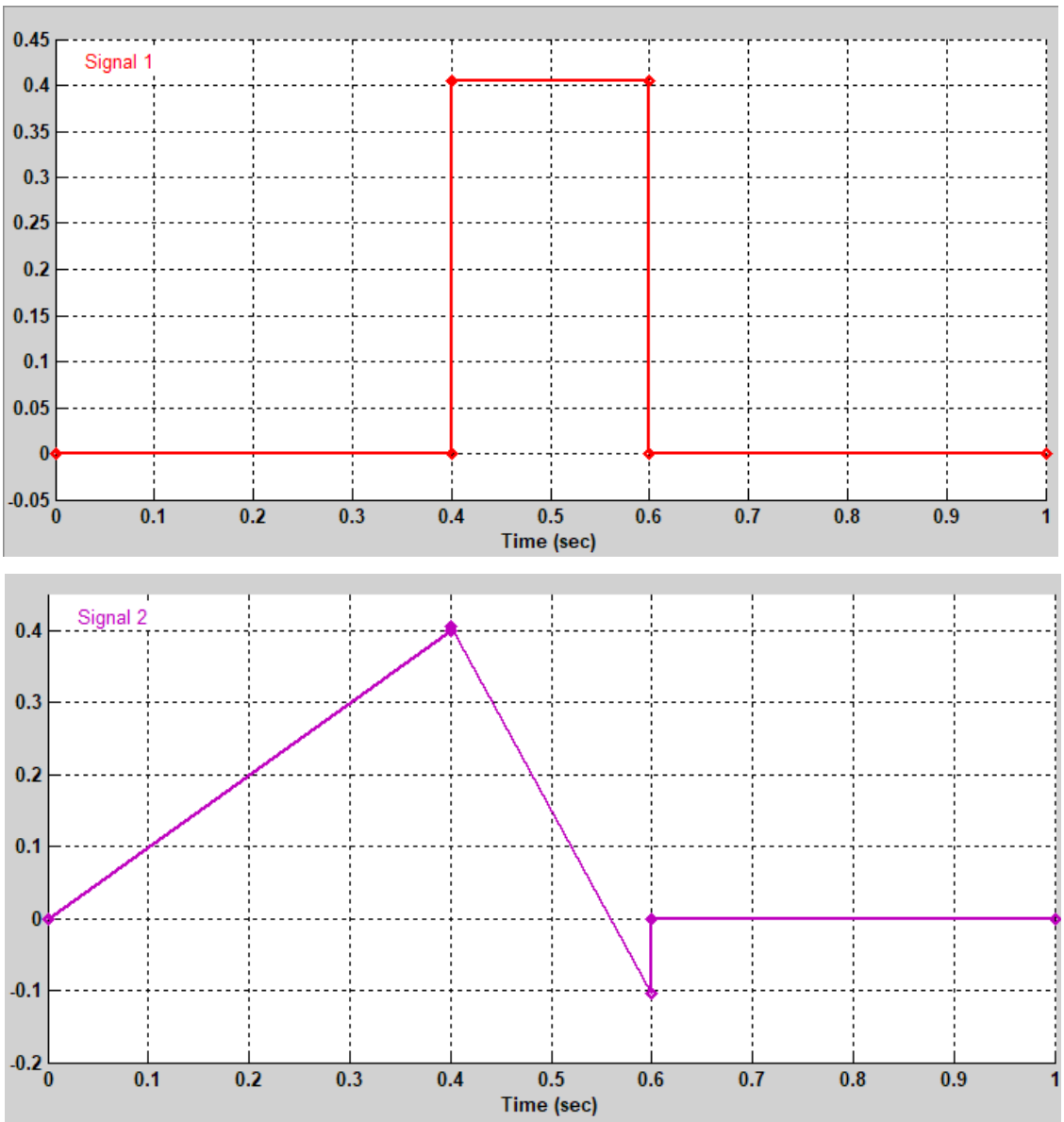


Рис. 3. Графики возмущающих сигналов: возмущение типа импульс и градиентное возмущение с переменной скоростью изменения

во многом определяет не только быстродействие, но и качество управления. Сущность состоит в том, что необходимо подавать дополнительное управление только в том случае, когда измеряемые параметры угла, угловой скорости и углового ускорения имеют одинаковый знак. Таким образом, повышается быстродействие системы угловой стабилизации ДПЛА в процессе полета при действии внешних возмущений [16].

Принцип формирования сигнала управления представлен в табл. 1.

В роли объекта исследования использована *модель системы угловой стабилизации по каналу рыскания*, которая относится к системам управления и стабилизации летательных аппаратов и может быть использована в ДПЛА. Она включает измерительные датчики угла, угловой скорости, масштабирующие блоки, усилители, сигнал управления которых соответственно поступает на рулевой привод и управляющие органы. Рассмотрен рулевой привод ограниченной мощности, т.е. с участком насыщения скоростной характеристики.

В данной системе управление пропорционально управляющим сигналам рыскания и угловой скорости, т.е. использован традиционный ПД-регулятор (пропорционально-дифференциальный). Схема была смоделирована в программе *MatLab Simulink*[8] *и представлена на рис. 2*.

В ходе исследований устойчивости системы угловой стабилизации были рассмотрены два типа возмущений: возмущение типа импульс (длительность импульса 0,2 *с*,

[8] Методы инженерного синтеза сложных систем управления: аналитический аппарат, алгоритмы приложения в технике. Часть II. Вычислительно-аналитический эксперимент: аппарат матричных операторов и вычислительные технологии / Под ред. К. А. Пупкова, Н. Д. Егупова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2012. – 416 с. ISBN: 978-5-7038-3451-0.

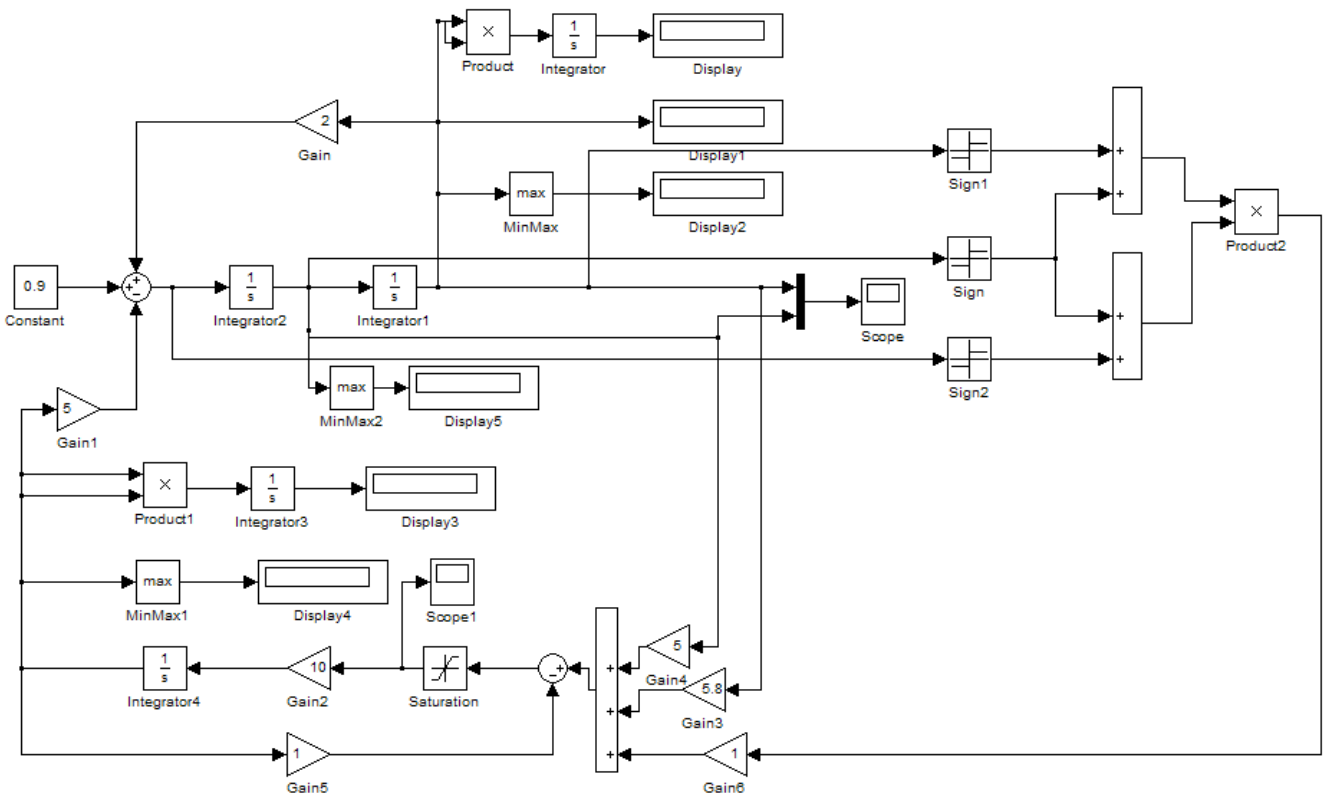


Рис. 4. Структурная схема модели с предлагаемым нелинейным квадрантно-избирательным алгоритмом управления

амплитуда импульса 0,4 c^{-2}) и градиентное возмущение с переменной скоростью изменения (рис. 3).

Структурная схема модели с предлагаемым нелинейным квадрантно-избирательным алгоритмом управления, в котором дополнительное управление формируется только в том случае, когда измеряемые параметры угла, угловой скорости и углового ускорения имеют одинаковый знак, представлена на рис. 4.

При прочих одинаковых условиях, проведено моделирование динамики системы стабилизации с традиционным линейным и предлагаемым квадрантно-избирательным алгоритмом управления. Графики изменения угла рыскания и угловой скорости представлены на рис. 5 и рис. 6 соответственно.

Также было определено максимальное значение возмущения, которое способна выдержать система стабилизации, сохраняя при этом устойчивость движения.

В результате максимальное аддитивное возмущение, которое можно подать на систему угловой стабилизации с традиционным линейным алгоритмом управления без потери ее устойчивости, равно 0,906 c^{-2}. В аналогичной системе с предлагаемым нелинейным бинарным квадрантно-избирательным алгоритмом управления данная величина составляет 0,932 c^{-2}. Таким образом, система с бинарным квадрантно-избирательным алгоритмом управления обеспечивает устойчивость движения при аддитивных возмущениях на 4% больше. При этом быстродействие системы стабилизации увеличивается на 40% (с 5,4 *с* до 3,2 *с*).

Сущность улучшения состоит в том, что необходимо подавать дополнительное управление только в том случае, когда измеряемые параметры угла, угловой скорости и углового ускорения имеют одинаковый знак. При сравнении систем угловой стабилизации с традиционным линейным алгоритмом управления и с предлагаемым нелинейным квадрантно-избирательным алгоритмом управления были получены следующие данные (табл. 2).

В среде *MATLAB Simulink* проведено моделирование канала стабилизации ДПЛА с линейным и бинарным алгоритмом управления двух типов. В результате введения полезной модели с бинарным алгоритмом первого типа было достигнуто увеличение быстродействия на 40% , а также увеличение максимального подаваемого управления на 4%. Таким образом, использование данного алгоритма в системах угловой стабилизации будет эффективней.

Использование бинарного алгоритма в системах угловой стабилизации ДПЛА является эффективным с учетом и других показателей качества стабилизации (*колебательность* системы, *расход топлива* на управление, *максимальное отклонение* управляющих органов). Лепестковая диаграмма сравнения нормированных критериев качества управления ДПЛА представлена на рис. 7.

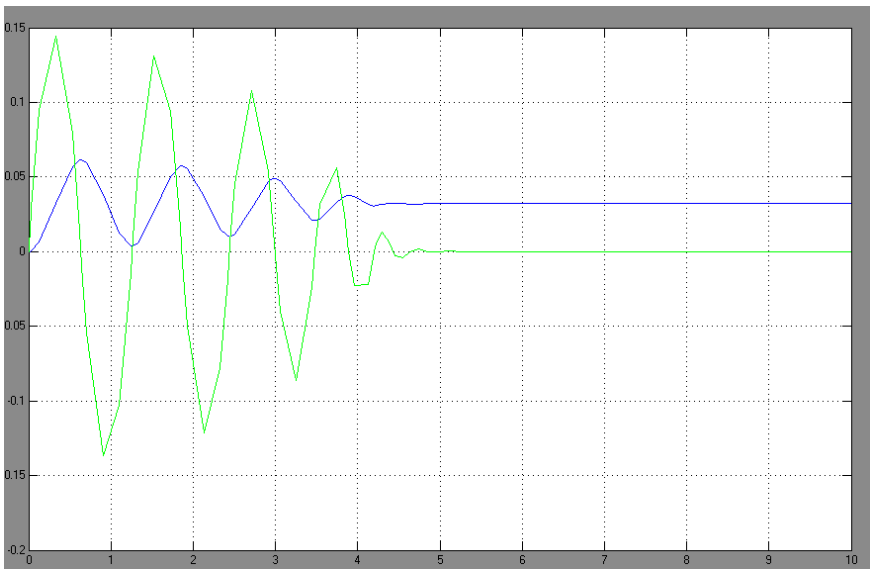


Рис. 5. Графики изменения угла рыскания и угловой скорости модели с традиционным линейным ПД-регулятором

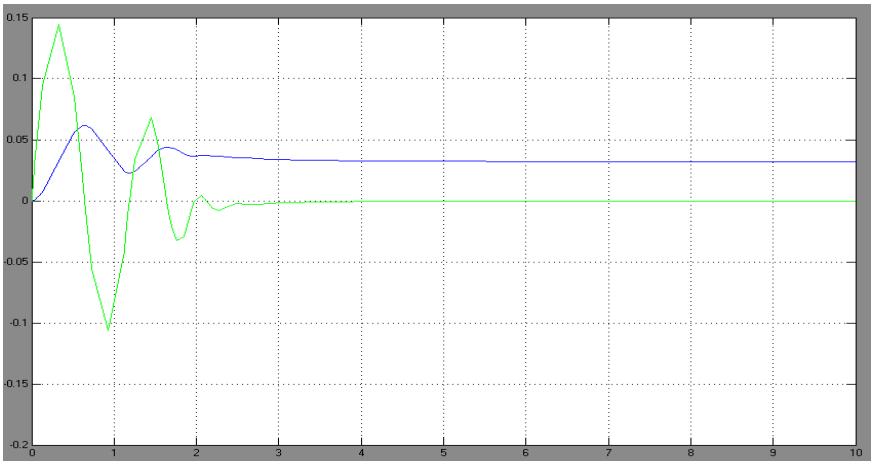


Рис. 6. Графики изменения угла рыскания и угловой скорости модели с квадрантно-избирательным алгоритмом управления

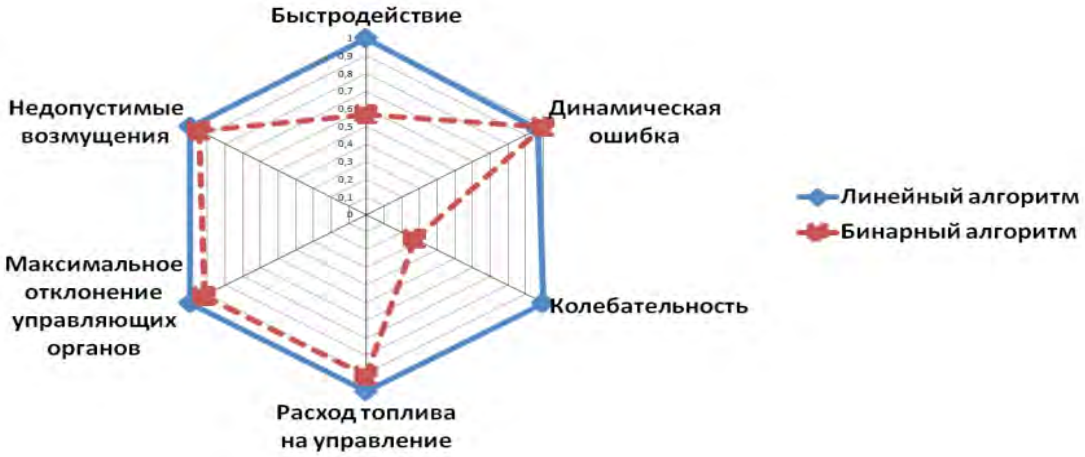


Рис. 7. Диаграмма сравнения нормированных критериев качества управления ДПЛА с линейным и бинарным алгоритмом управления

Таблица 2

Показатели качества систем стабилизации

Показатели	Система с традиционным линейным алгоритмом управления	Система с нелинейным квадрантно-избирательным алгоритмом управления
Быстродействие системы стабилизации, *с*	5,4	3,2
Максимальная величина подаваемого воздействия до потери устойчивости, c^{-2}	0,906	0,932

Таким образом, оптимизационный подход в многокритериальной стабилизации беспилотных летательных аппаратов основывается на *утверждении*, что если на каждом участке фазового пространства, характеризуемым максимальными требованиями по соответствующей составляющей векторной оценки, выбирается альтернатива, структурно оптимизирующая данную составляющую, то такая стратегия эффективна по Парето.

Для рассмотренной задачи стабилизации ДПЛА предложен алгоритм, который на основе принципа бинарного управления подает дополнительное управление только в том случае, когда измеряемые параметры угла, угловой скорости и углового ускорения имеют одинаковый знак, т.е. на тех участках фазового пространства, на которых определяется быстродействие системы.

В ходе вычислительного эксперимента в программной среде *MatLab Simulink* бинарный алгоритм угловой стабилизации с дополнительным квадрантно-избирательным управлением подтвердил обеспечение устойчивости углового движения нелинейной системы стабилизации ДПЛА при аддитивных возмущениях на 4% больше по сравнению с традиционным линейным алгоритмом стабилизации за счёт увеличения быстродействия системы угловой стабилизации на 40% и подтвердил эффективность данного управления.

Рецензент: ***Тютюнник Вячеслав Михайлович,*** *доктор технических наук, профессор, академик РАЕН, Президент Международного информационного Нобелевского центра, г. Тамбов.*
E-mail: vmt@tmb.ru

Литература

1. Афанасьев П. П. Основы устройства, проектирования, конструирования и производства летательных аппаратов (дистанционно-пилотируемые летательные аппараты). – М.: Изд-во МАИ, 2006. – 528 с. ISBN 978-5-7035-1626-3.
2. Бородакий Ю. В., Лободинский Ю. Г. Эволюция информационных систем (современное состояние и перспективы). – М.: Горячая линия – Телеком, 2011. – 368 с. ISBN 978-5-9912-0199-5.
3. Емельянов С. В., Коровин С. К. Новые типы обратной связи: Управление при неопределенности. – М.: Наука, 1997. – 352 с. ISBN 5-02-015149-1.
4. Зайцев А. В., Канушкин С. В. Многокритериальное управление робототехническими системами // Труды XVIII Всеросс. науч. конф. «Нейрокомпьютеры и их применение» – М: МГППУ, 2020. – С. 291 – 292. ISBN 978-5-94051-214-1.
5. Зайцев А. В., Канушкин С. В. Особенности управления нелинейными робототехническими системами // Труды XVIII Всеросс. науч. конф. «Нейрокомпьютеры и их применение» – М: МГППУ, 2020 . – С. 338 – 339. ISBN 978-5-94051-214-1.
6. Зайцев А. В., Канушкин С. В. Многокритериальная стабилизация летательного аппарата на основе принципа бинарности управления // Информационные системы и процессы: Сб. науч. тр. – Вып. 18 / Под ред. В. М. Тютюнника. – Тамбов: МИНЦ «Нобелистика», 2018. – С. 37 – 45. ISBN 978-5-86609-220-8.
7. Зотов М. Г. Многокритериальное конструирование систем автоматического управления. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2004. – 375с. ISBN 5-94774-125-3.
8. Канушкин С. В. Правовые аспекты реализации функциональных возможностей интеллектуальных роботов в работе правоохранительных органов // Правовая информатика. – 2018. – № 2. – С. 23 – 38. DOI:10.21681/1994-1404-2018-2-23-38.
9. Канушкин С.В. Синергетический подход в управлении группой беспилотных летательных аппаратов интеллектуальной системы охранного мониторинга // Правовая информатика. – 2018. – № 3. – С. 25 – 37.DOI:10.21681/1994-1404-2018-3-25-37.

10. Канушкин С.В. Управление робототехническими системами охранного мониторинга в условиях неопределенности // Правовая информатика. – 2019. – № 2. – С. 40 – 48. DOI: 10.21681/1994-1404-2019-2-40-48.
11. Когаловский М. Р. Перспективные технологии информационных систем. – М.: ДМК Пресс, 2003. – 288 с. ISBN 5-94074-200-9.
12. Колеснико А. А. Современная прикладная теория управления. Ч.I. Оптимизационный подход в теории управления. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2000. – 400с. ISBN 5-8327-0045-7.
13. Колесников А. А. Современная прикладная теория управления. Часть III. Новые классы регуляторов технических систем. – Таганрог: ТРТУ, 2000. – 656 с. ISBN 5-8327-0045-7.
14. Ловцов Д. А. Информационная теория эргасистем: Тезаурус. – М.: Наука, 2005. – 248 с. ISBN 5-02-033779-X.
15. Ловцов Д. А. Системный анализ. Часть. 1. Теоретические основы. – М.: РГУП, 2018. – 224 с. ISBN 978-5-93916- 701-7.
16. Ловцов Д.А. Информационная теория эргасистем: основные положения // Правовая информатика. – 2019. – № 3. – С. 4 – 20. DOI: 10.21681/1994-1404-2019-3-04-20.
17. Ловцов Д.А. Теоретические основы системной информатизации правового регулирования // Правовая информатика. – 2019. – № 4. – С. 12 – 28. DOI: 10.21681/1994-1404-2019-4-12-28.
18. Ловцов Д. А., Гаврилов Д. А. Моделирование оптико-электронных систем дистанционно пилотируемых аппаратов: Монография. – М.: «Технолоджи-3000», 2019. – 164 с. ISBN 978-5-94472-036-8.
19. Моисеев В. С. Основы теории эффективного применения беспилотных летательных аппаратов. – Казань: РИЦ «Школа», 2015. – 444 с. ISBN 978–5–9905685–4–9.
20. Рэндал У. Биард, Тимоти У. Мак Лэйн. Малые беспилотные летательные аппараты: теория и практика. – М.: Техносфера, 2015. – 312 с. ISBN 978-5-94836-393-6.
21. Патент на полезную модель № 182886 РФ. Система угловой стабилизации / Канушкин С. В., Зайцев А. В., Волков А. В., Шишкин К. В., Сачук А. П. (РФ). – № 2018117102; Заяв. 07.05.2018.

AN OPTIMISATION APPROACH IN MULTI-CRITERIAL STABILISATION OF UNMANNED AERIAL VEHICLES FOR SECURITY MONITORING

***Aleksandr Zaitsev**, Dr.Sc. (Technology), Professor at the Peter the Great Military Academy, Russian Federation, Moscow.*
E-mail: ug253@mail.ru

***Sergei Kanushkin,** Ph.D. (Technology), Associate Professor at the Peter the Great Military Academy, Russian Federation, Moscow.*
E-mail: kan.cer59@yandex.ru

***Keywords:** monitoring, remotely piloted aircraft, unmanned aerial vehicle, information, control, information uncertainty, algorithm, stabilisation, binarity, non-linearity, saturation, synthesis, multi-criteriality, Pareto, efficiency, regulator, performance, quality, modelling.*

Abstract.

***Purpose of work:** ensuring an efficient control of the angular motion of a non-linear stabilisation system of a remotely piloted aircraft under increased disturbances in the conditions of uncertainty.*

***Method used:** a multi-faceted theoretical and applied synthesis based on the binarity principle in the class of non-linear systems implementing multi-criterial control in different parts of the phase space.*

***Results obtained:** an optimisation approach for multi-criterial stabilisation of dynamic objects based on a modified dynamic programming method allowing to ensure efficient control put forward. A binary angular stabilisation algorithm with additional quadrant selective control is developed providing a 4% increase in the stability of angular motion of a non-linear system under additive disturbances as compared to the traditional linear stabilisation algorithm, due to a 40% increase in angular stabilisation performance. A conclusion is made regarding the need and expediency of using quadrant selective control whose efficiency is confirmed.*

References

1. Afanas'ev P. P. Osnovy ustroistva, proektirovaniia, konstruirovaniia i proizvodstva letatel'nykh apparatov (distantsionno-pilotiruemye letatel'nye apparaty). M. : Izd-vo MAI, 2006, 528 pp. ISBN 978-5-7035-1626-3.

2. Borodakii Iu. V., Lobodinskii Iu. G. Evoliutsiia informatsionnykh sistem (sovremennoe sostoianie i perspektivy). M. : Goriachaia liniia -- Telekom, 2011, 368 pp. ISBN 978-5-9912-0199-5.
3. Emel'ianov S. V., Korovin S. K. Novye tipy obratnoi sviazi: upravlenie pri neopredelennosti. M. : Nauka, 1997, 352 pp. ISBN 5-02-015149-1.
4. Zaitsev A. V., Kanushkin S. V. Mnogokriterial'noe upravlenie robototekhnicheskimi sistemami. Trudy XVIII Vseross. nauch. konf. "Neirokomp'iutery i ikh primenenie". M. : MGPPU, 2020, pp. 291-292. ISBN 978-5-94051-214-1.
5. Zaitsev A. V., Kanushkin S. V. Osobennosti upravleniia nelineinymi robototekhnicheskimi sistemami. Trudy XVIII Vseross. nauch. konf. "Neirokomp'iutery i ikh primenenie". M. : MGPPU, 2020 , pp. 338-339. ISBN 978-5-94051-214-1.
6. Zaitsev A. V., Kanushkin S. V. Mnogokriterial'naia stabilizatsiia letatel'nogo apparata na osnove printsipa binarnosti upravleniia. Informatsionnye sistemy i protsessy : sb. nauch. tr., vyp. 18. Pod red. V. M. Tiutiunnika. Tambov : MINTs "Nobelistika", 2018, pp. 37-45. ISBN 978-5-86609-220-8.
7. Zotov M. G. Mnogokriterial'noe konstruirovanie sistem avtomaticheskogo upravleniia. M. : BINOM, Laboratoriia znanii, 2004, 375 pp. ISBN 5-94774-125-3.
8. Kanushkin S. V. Pravovye aspekty realizatsii funktsional'nykh vozmozhnostei intellektual'nykh robotov v rabote pravookhranitel'nykh organov. Pravovaia informatika, 2018, No. 2, pp. 23-38. DOI: 10.21681/1994-1404-2018-2-23-38.
9. Kanushkin S. V. Sinergeticheskii podkhod v upravlenii gruppoi bespilotnykh letatel'nykh apparatov intellektual'noi sistemy okhrannogo monitoringa. Pravovaia informatika, 2018, No. 3, pp. 25-37. DOI: 10.21681/1994-1404-2018-3-25-37.
10. Kanushkin S. V. Upravlenie robototekhnicheskimi sistemami okhrannogo monitoringa v usloviiakh neopredelennosti. Pravovaia informatika, 2019, No. 2, pp. 40-48. DOI: 10.21681/1994-1404-2019-2-40-48.
11. Kogalovskii M. R. Perspektivnye tekhnologii informatsionnykh sistem. M. : DMK Press, 2003, 288 pp. ISBN 5-94074-200-9.
12. Kolesnikov A. A. Sovremennaia prikladnaia teoriia upravleniia. Ch. I. Optimizatsionnyi podkhod v teorii upravleniia. Taganrog : Izd-vo TRTU, 2000, 400 pp. ISBN 5-8327-0045-7.
13. Kolesnikov A. A. Sovremennaia prikladnaia teoriia upravleniia. Chast' III. Novye klassy reguliatorov tekhnicheskikh sistem. Taganrog : TRTU, 2000, 656 pp. ISBN 5-8327-0045-7.
14. Lovtsov D. A. Informatsionnaia teoriia ergasistem: Tezaurus. M. : Nauka, 2005, 248 pp. ISBN 5-02-033779-X.
15. Lovtsov D. A. Sistemnyi analiz. Chast'. 1. Teoreticheskie osnovy. M. : RGUP, 2018, 224 pp. ISBN 978-5-93916-701-7.
16. Lovtsov D.A. Informatsionnaia teoriia ergasistem: osnovnye polozheniia. Pravovaia informatika, 2019, No. 3, pp. 4-20. DOI: 10.21681/1994-1404-2019-3-04-20.
17. Lovtsov D.A. Teoreticheskie osnovy sistemnoi informatizatsii pravovogo regulirovaniia. Pravovaia informatika, 2019, No. 4, pp. 12-28. DOI: 10.21681/1994-1404-2019-4-12-28.
18. Lovtsov D. A., Gavrilov D. A. Modelirovanie optiko-elektronnykh sistem distantsionno pilotiruemykh apparatov : monografiia. M. : "Tekhnolodzhi-3000", 2019, 164 pp. ISBN 978-5-94472-036-8.
19. Moiseev V. S. Osnovy teorii effektivnogo primeneniia bespilotnykh letatel'nykh apparatov. Kazan' : RITs "Shkola", 2015, 444 pp. ISBN 978–5–9905685–4–9.
20. Rendal U. Biard, Timoti U. Mak Lein. Malye bespilotnye letatel'nye apparaty: teoriia i praktika. M. : Tekhnosfera, 2015, 312 pp. ISBN 978-5-94836-393-6.
21. Patent na poleznuiu model' No. 182886 RF. Sistema uglovoi stabilizatsii. Kanushkin S. V., Zaitsev A. V., Volkov A. V., Shishkin K. V., Sachuk A. P. (RF). No. 2018117102; zaiav. 07.05.2018.

ИНФОРМАЦИОННО-ПРАВОВОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИСКОВОГО ПРОИЗВОДСТВА У МИРОВОГО СУДЬИ

*Маркина Е.В.**

Ключевые слова: *исковое заявление, упрощенное производство, общее производство, автоматизация, протокол, типовые формы, информация, АМИРС ГАС «Правосудие», судопроизводство, мировой судья.*

Аннотация.

Цель работы: *обоснование предложений по оптимизации процессуальной деятельности мирового судьи (на примере мировых судей Московской области), на основе анализа нормативных правовых актов Российской Федерации и субъекта Российской Федерации – Московской области и судебной практики.*

Метод: структурно-логический анализ, сравнительно-правовой и формально-догматический методы.

Результаты: на основе анализа правых актов и судебной практики выявлены первоочередные вопросы информационно-правового обеспечения судебной деятельности мирового судьи; обоснованы предложения по оптимизации и автоматизации судопроизводства; разработан протокол документооборота по делам, рассматриваемым мировым судьей в порядке искового производства.

Результаты исследования апробированы путем их использования в работе судебного участка, что позволило сократить временные затраты на обработку документов примерно на 50%.

DOI: 10.21681/1994-1404-2020-3-78-87

Анализ статистических данных[1] показывает, что количество обращений граждан и организаций за судебной защитой к мировым судьям продолжает расти, и, как следствие, увеличивается нагрузка на каждого мирового судью. В качестве иллюстрации приведены сравнительные статистические сведения о работе мировых судьей Московской области за 2017–2019 года в виде таблицы.

Очевидно, что большое количество одновременно находящихся в производстве дел препятствует осуществлению правосудия качественно и в установленные законом сроки. Высокая загруженность мировых судей и аппарата непосредственно влияет на количество допускаемых судебных ошибок. Таким образом, вопрос оптимизации нагрузки на мировых судей достаточно актуален [8, 10, 11]. Представляется, что применение информационных технологий для максимальной автоматизации обработки данных позволит несколько снизить нагрузку как на мирового судью, так и на аппарат мирового судьи.

Таблица

Рассмотрение мировыми судьями Московской области дел и материалов в 2017 – 2019 гг.

Показатель	Год	Уголовные дела	Гражданские и административные дела	Дела об административных правонарушениях
Количество оконченных производств	2017	18 078	526 187	200 395
	2018	17 840	607 422	272 835
	2019	15 054	783 936	260 337

[1] Статистическая отчетность о деятельности судебных участков мировых судей Московской области. – Режим доступа: http://usd.mo.sudrf.ru/modules.php?name=stat, свободный. – Загл. с экрана.

* ***Маркина Елена Владимировна,*** *мировой судья, аспирант кафедры информационного права, информатики и математики Российского государственного университета правосудия, Российская Федерация, г. Москва.*

E-mail: elena107140@yandex.ru

Особенности искового производства

К подсудности мирового судьи отнесены рассматриваемые в порядке искового производства дела о расторжении брака, если между супругами отсутствует спор о детях; о разделе между супругами совместно нажитого имущества при цене иска, не превышающей пятидесяти тысяч рублей; по имущественным спорам, за исключением дел о наследовании имущества и дел, возникающих из отношений по созданию и использованию результатов интеллектуальной деятельности; при цене иска, не превышающей пятидесяти тысяч рублей; по имущественным спорам, возникающим в сфере защиты прав потребителей, при цене иска, не превышающей ста тысяч рублей.

Исковое заявление подается мировому судье с обязательным соблюдением правил подсудности, установленных главой 3 ГПК РФ, а также законом субъекта Российской Федерации, определяющим территориальную подсудность, например, Законом Московской области от 4 июля 2008 г. № 98/2008-ОЗ «О создании и упразднении судебных участков и должностей мировых судей в Московской области»[2].

Следует пояснить, что деятельность мировых судей осуществляется в пределах судебного района на судебных участках. Общее число мировых судей и соответствующее ему количество судебных участков в субъектах Российской Федерации (в Московской области создано 334 судебных участков и учреждено 334 должностей мировых судей Московской области[3]) определяется Федеральным законом «Об общем числе мировых судей и количестве судебных участков в субъектах Российской Федерации»[4], на основании статьи 4 Федерального закона «О мировых судьях в Российской Федерации»[5] и с учетом предложений законодательных (представительных) органов субъектов Российской Федерации, согласованных с Верховным Судом Российской Федерации.

Для непосредственного обеспечения исполнения полномочий мирового судьи создается аппарат мирового судьи, который является обособленным подразделением Управления по обеспечению деятельности мировых судей Московской области[6]. Структура и штатное расписание аппаратов мировых судей устанавливается распоряжением Управления по обеспечению деятельности мировых судей Московской области в пределах общей численности работников Управления по обеспечению деятельности мировых судей Московской области, утвержденной Правительством Московской области, в соответствии с Законом Московской области «О государственной гражданской службе Московской области»[7]. В Московской области для профессионального обеспечения исполнения полномочий мировых судей учреждены должности государственной гражданской службы Московской области – руководителя аппарата мирового судьи Московской области, секрета суда и секретаря судебного заседания. Должность помощника судьи не предусмотрена. Представляется, что при большой нагрузке на судебном участке аппарат мирового судьи, состоящий из трех человек, не сможет обеспечить возможность надлежащего исполнения полномочий мировым судьей [2, 14]. О необходимости увеличения численности сотрудников аппарата мировых судей небезосновательно упоминалось исследователями [13].

Иск подается мировому судье в порядке, установленном главой 12 ГПК РФ. Следует заметить, что возможность подачи искового заявления в электронной форме в настоящее время реализована не на всех судебных участках по техническим причинам.

Требования к форме и содержанию искового заявления содержатся в статьях 131 и 132 ГПК РФ.

Вопрос о принятии к производству искового заявления должен быть решен мировым судьей в течение пяти рабочих дней со дня поступления, о чем выносится определение, требования к содержанию которого изложены в ч. 3 ст. 133 ГПК РФ. Судья в течение пяти дней со дня поступления искового заявления в суд обязан рассмотреть вопрос о его принятии к производству суда. О принятии заявления к производству суда судья выносит определение, на основании которого возбуждается гражданское дело в суде первой инстанции.

При наличии оснований, предусмотренных ч. 1 ст. 134 ГПК РФ, мировой судья выносит определение об отказе в принятии искового заявления, которое в течение пяти дней со дня поступления заявления в суд вручается или направляется заявителю вместе с заявлением и всеми приложенными к нему документами.

В случаях, предусмотренных ч. 1 ст. 135 ГПК РФ, мировой судья возвращает исковое заявление с мотивированным определением в течение пяти дней со дня поступления заявления в суд, которое должно быть вручено или направлено заявителю вместе с заявлением и всеми приложенными к нему документами.

---

[2] Закон Московской области от 4 июля 2008 г. № 98/2008-ОЗ «О создании и упразднении судебных участков и должностей мировых судей в Московской области» – Режим доступа: http://www.mosreg.ru, свободный. – Загл. с экрана.

[3] Там же.

[4] Федеральный закон от 29 декабря 1999 г. № 218-ФЗ «Об общем числе мировых судей и количестве судебных участков в субъектах Российской Федерации» // СЗ РФ. – 2000. – № 1 (часть I). – Ст. 1.

[5] Федеральный закон от 17 декабря 1998 № 188-ФЗ «О мировых судьях в Российской Федерации» // СЗ РФ. – 1998. – № 51. – Ст. 6270.

[6] Закон Московской области от 16 мая 2005 г. № 122/2005-ОЗ «О порядке назначения на должность и обеспечении деятельности мировых судей в Московской области» // Вестник Московской областной Думы. 2005. – № 11.

[7] Закон Московской области от 11 февраля 2005 г. № 39/2005-ОЗ «О государственной гражданской службе Московской области» (вместе с «Реестром должностей государственной гражданской службы Московской области», «Перечнем должностей государственной гражданской службы Московской области, при замещении которых государственные гражданские служащие Московской области обязаны представлять сведения о своих доходах, об имуществе и обязательствах имущественного характера, а также сведения о доходах, об имуществе и обязательствах имущественного характера членов своей семьи»).

В случае несоответствия искового заявления требованиям ст. 131, 132 ГПК РФ мировой судья оставляет исковое заявление без движения, о чем также выносит соответствующее определение, которое направляется истцу не позднее следующего дня после дня его вынесения.

Гражданское процессуальное законодательство допускает рассмотрение гражданских дел мировым судьей как по общим правилам искового производства, предусмотренным ГПК РФ, так и в порядке *упрощенного* производства согласно положениям главы 21.1 ГПК РФ.

Если имеются основания для принятия искового заявления мировым судьей к своему производству, мировой судья выносит определение о принятии искового заявления к производству и рассмотрении дела в порядке упрощенного производства, в котором устанавливает срок для представления сторонами в суд и направления ими друг другу доказательств и возражений относительно предъявленных требований. Мировой судья рассматривает дело в порядке упрощенного производства без вызова сторон после истечения установленных судом сроков, исследует изложенные в представленных сторонами документах объяснения, возражения и (или) доводы лиц, участвующих в деле, и принимает решение на основании представленных доказательств.

Если исковое заявление не подлежит рассмотрению в порядке упрощенного производства, мировой судья после принятия иска к производству проводит подготовку дела к судебному разбирательству в порядке, предусмотренном главой 14 ГПК РФ, а по окончании подготовки назначает дело к рассмотрению в судебном заседании.

Информация о принятии искового заявления к производству, о времени и месте судебного заседания или совершения отдельного процессуального действия подлежит размещению на официальном сайте мирового судьи в сети Интернет.

С момента вступления в силу Федерального закона от 29 июля 2018 г. № 265-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации»[8], с 1 сентября 2019 г. в ходе каждого судебного заседания, за исключением закрытых судебных заседаний, в предварительном судебном заседании при совершении отдельного процессуального действия, помимо письменного протокола, в обязательном порядке ведется *аудиопротоколирование* с использованием средств аудиозаписи. Соответствующие носители информации приобщаются к материалам дела.

После рассмотрения дела копии судебных актов направляются лицам, участвующим в деле, а дело передается секретарю суда для дальнейшего исполнения.

Направление в случаях, предусмотренных ГПК РФ, копий судебных актов лицам, участвующим в деле, посредством их размещения на официальном сайте мирового судьи в сети Интернет в режиме ограниченного доступа в виде электронного образа судебного акта, заверенного усиленной квалифицированной электронной подписью мирового судьи, в настоящее время на судебных участках не осуществляется ввиду отсутствия технической возможности.

Некоторые аспекты использования информационных технологий в исковом производстве

Работа с исковыми заявлениями, поступившими мировому судье на бумажном носителе, делами и материалами осуществляется с применением разработанного для информационно-аналитического обеспечения функций мировых судей и органов обеспечения мировых судей субъектов Российской Федерации программного модуля «АМИРС» (Программное изделие АМИРС «Модуль интеграции с участками мировых судей»), который функционирует в технической и программной среде ГАС РФ «Правосудие» и предоставляет средства формирования, анализа и интеграции информационных массивов данных, возникающих в процессе судопроизводства на участках мировых судей на всех стадиях судебного делопроизводства, а также возможность оперативного формирования массивов данных судебной статистики и выгрузки внесенной пользователем информации о деятельности суда с целью ее публикации на сайте судебного участка [9].

Модуль решает следующие основные задачи:

– обеспечение учета реквизитов объектов судебного делопроизводства в соответствии с действующими процессуальными кодексами, инструкциями по делопроизводству, утвержденными учетно-статистическими формами и формами статистической отчетности [1] ;

– формирование электронного архива судебных документов, возникающих на всех стадиях процесса судопроизводства;

– оперативное предоставление заинтересованным лицам (мировой судья, работники аппарата судьи, участники судебных процессов) *полной* и *достоверной* [6] информации по движению дел;

– обеспечение формирования регламентированных статистических отчетов;

– построение статистической отчетности;

– автоматическое обезличивание судебных актов;

– выгрузка информации о судебных актах и информации о движении дел в соответствии с Федеральным законом «Об обеспечении доступа к информации о деятельности судов в Российской Федерации»[9];

– поиск дел по заданным пользователем критериям;

– анализ и контроль деятельности суда;

– формирование учетно-статистических карточек;

[8] Федеральный закон от 29 июля 2018 г. № 265-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» // РГ. – 2018. – № 166. – 1 авг.

[9] Федеральный закон от 22 декабря 2008 г. № 262-ФЗ (ред. от 28.12.17) «Об обеспечении доступа к информации о деятельности судов в Российской Федерации» // СЗ РФ. – 2008. – № 52. – Ст. 6217.

– формирование типовых документов судебного делопроизводства посредством шаблонов;

– ведение журналов входящей/исходящей корреспонденции, а также их печать на бумажном носителе;

– автоматическое формирование исполнительных документов[10].

Для определения совокупности действий, связанных с переработкой информации, подлежащих автоматизации, представляется целесообразным разработать соответствующий *правовой протокол* (организационный алгоритм) [4, 5, 9] документооборота в исковом производстве.

Порядок обработки судебной информации в исковом производстве можно условно разделить на два этапа (рис. 1, 2): принятие решения по поступившему заявлению (*шаги* с 1 по 11) и действия, совершаемые после принятия искового заявления к производству мирового судьи и возбуждения гражданского дела (*шаги* 12–20).

Процедура (порядок) обработки документов искового производства согласно разработанному правовому протоколу документооборота состоит в следующем (см. рис. 1, 2):

Этап 1.

Шаг 1. Все корреспонденция поступает к секретарю суда, после чего регистрируется и передается (направляется) им по назначению.

Шаг 2. Регистрация входящей корреспонденции. Исковые заявления, поступившие мировому судье, регистрируются в базе данных СПО АСД (специального программного обеспечения автоматизации судебного делопроизводства, модуль «АМИРС») в журнале входящей корреспонденции, после чего не позднее следующего рабочего дня передаются секретарем суда мировому судье для принятия решения.

Информация о движении поступившего заявления вносится секретарем суда в базу данных СПО АСД не позднее следующего рабочего дня с момента принятия судьей решения по указанному заявлению.

Шаг 3. Все материалы передаются мировому судье под роспись в журнале входящей корреспонденции, который для этого выводится на бумажный носитель.

Далее мировой судья принимает решение по поступившему заявлению.

Шаги 4, 5. Прежде всего, следует выяснить, нет ли оснований для отказа в принятии искового заявления. Если такие основания имеются, мировой судья выносит определение об отказе в принятии искового заявления.

Шаги 6, 7. Если не имеется оснований для возвращения искового заявления, необходимо выяснить, соответствует ли его форма и содержание требованиям ст. 131 (за исключением ч. 4 ст. 131 ГПК РФ, см. *шаг* 9), ст. 132 ГПК РФ. Если не соответствует – исковое заявление подлежит оставлению без движения до устранения обстоятельств, послуживших основанием для оставления искового заявления без движения.

Шаги 8, 9, 10. Если форма и содержание искового заявления отвечают требованиям ст. 131, 132 ГПК РФ, а также если устранены обстоятельства, послужившие основанием для оставления искового заявления без движения, исковое заявление принимается к производству мирового судьи, о чем выносится определение.

Если оснований для отказа в принятии искового заявления не имеется, следует определить, относится ли данное дело к подсудности мирового судьи и соответствует ли оно требованиям ч. 4 ст. 131 ГПК РФ. Если нет, то выносится определение о возвращении искового заявления.

Шаг 11. Если обстоятельства, послужившие основанием для оставления искового заявления без движения, не устранены, исковое заявление подлежит возвращению заявителю.

Шаг 12. Исковые материалы с вынесенными судебными актами передаются мировым судьей секретарю суда для регистрации гражданского дела либо возвращения искового заявления заявителю.

Определения об отказе в принятии искового заявления, о возвращении искового заявления, об оставлении искового заявления без движения регистрируются секретарем суда в журнале учета определений по заявлениям и исковым заявлениям до принятия их судьями к своему производству с присвоением материалам регистрационного индекса «9». В случае возвращения искового заявления или отказа в его принятии копия определения с исковым заявлением и приложенными к нему документами направляется секретарем суда заявителю; в случае если исковое заявление оставлено без движения, секретарь направляет заявителю только копию определения суда об оставлении искового заявления без движения.

В день вынесения определения о принятии искового заявления к производству мирового судьи и возбуждении гражданского дела (ст. 4, 133 ГПК РФ) секретарь суда осуществляет регистрацию гражданского дела в порядке, указанном в подразделе 5.3 раздела 5 Инструкции по делопроизводству[11], и передает дело по журналу учета дел, назначенных к рассмотрению в судебном заседании, секретарю судебного заседания для дальнейшего оформления.

Секретарь судебного заседания, оформляя гражданское дело искового производства и подготавливая его к судебному разбирательству: заводит обложку, подшивает в дело документы в хронологическом порядке, нумерует листы дела, составляет опись документов; делает отметку о результатах рассмотрения дела в журнале учета дел, назначенных к рассмотрению в судебном заседании, и в учетно-статистической карточке, а также вносит сведения о результатах рас-

[10] Описание применения ПИ АМИРС, утв. ИРЦВ.80415-06 31 02-1.

[11] Инструкция по судебному делопроизводству у мирового судьи Московской области, утв. распоряжением Управления по обеспечению деятельности мировых судей Московской области от 23 октября 2017 г. № 60.

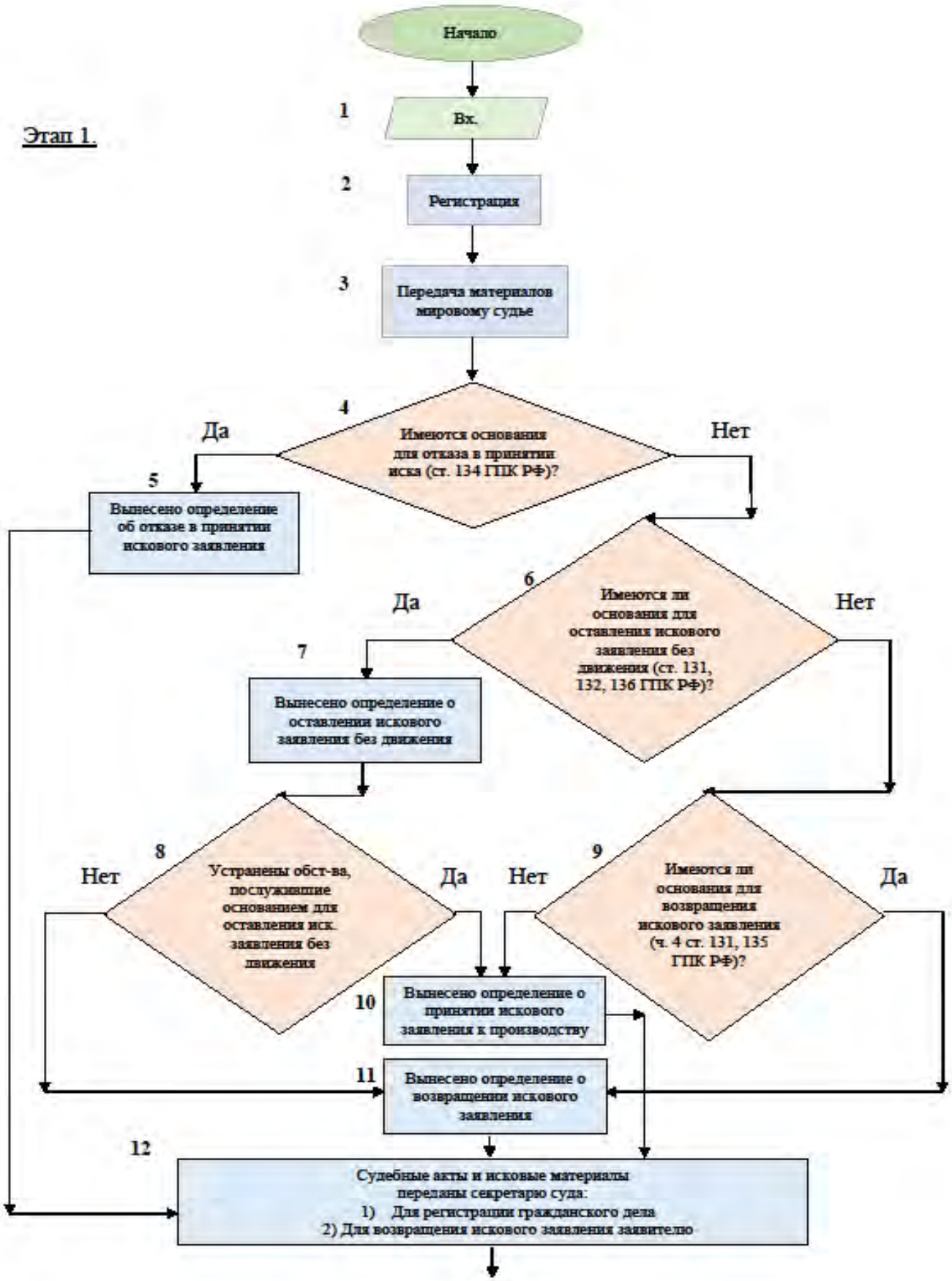


Рис. 1. Протокол документооборота по делам, рассматриваемым в порядке искового производства, этап 1

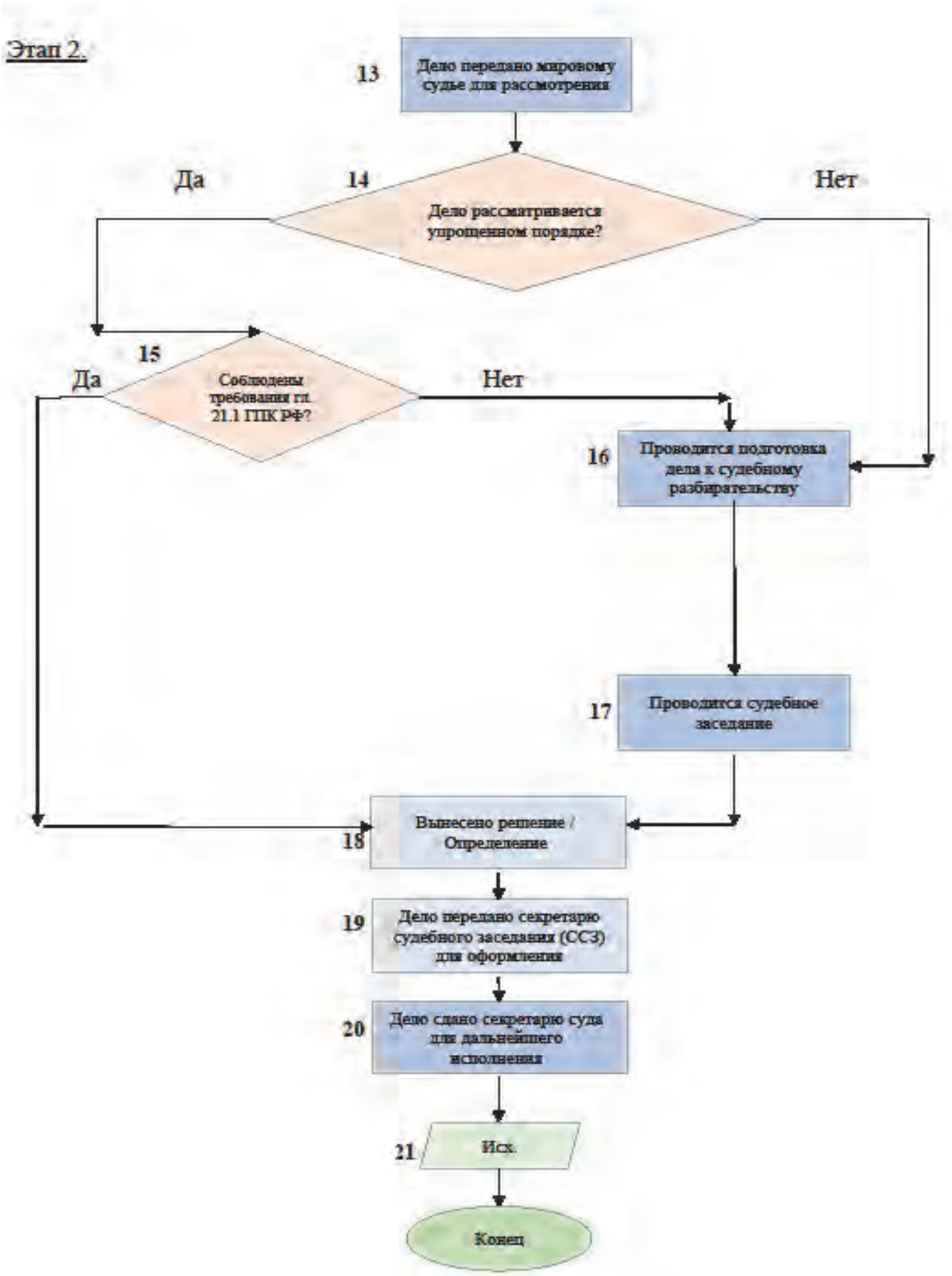
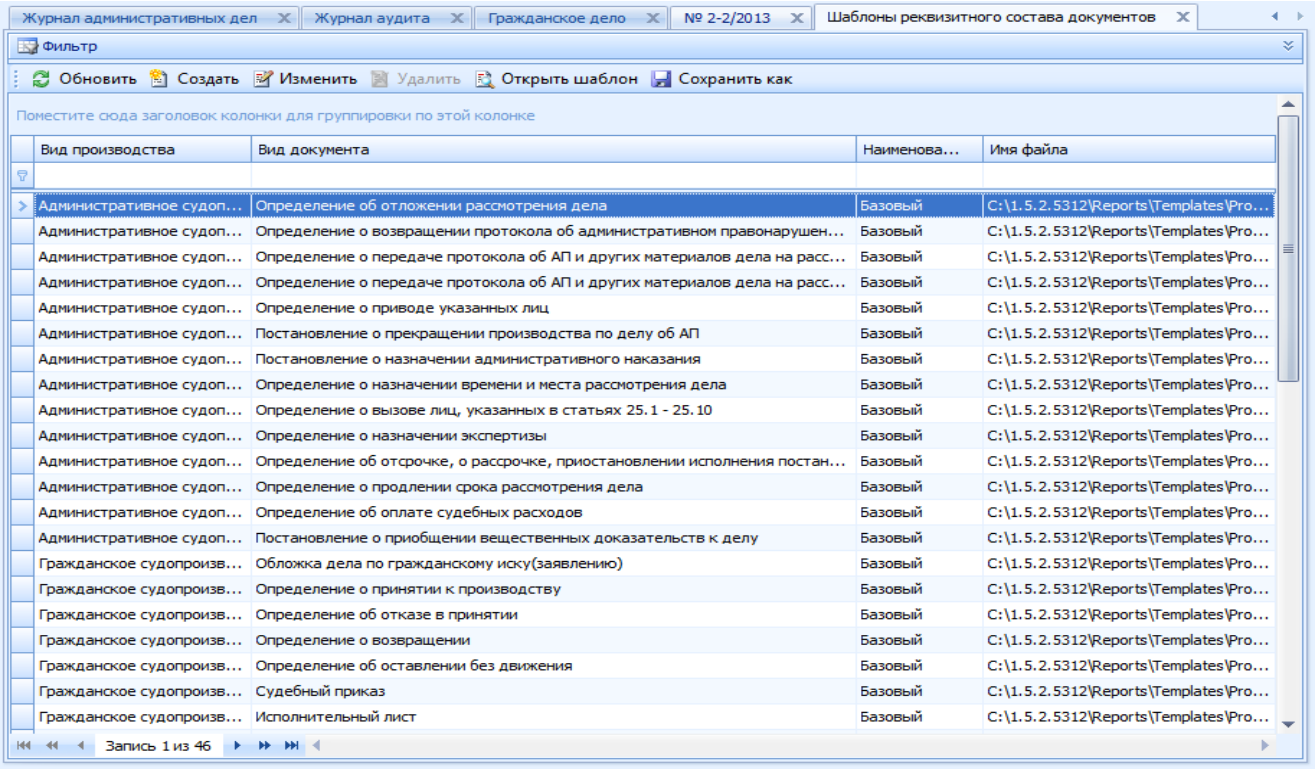


Рис. 2. Протокол документооборота по делам, рассматриваемым в порядке искового производства, этап 2



Вид производства	Вид документа	Наименова...	Имя файла
Административное судоп...	Определение об отложении рассмотрения дела	Базовый	C:\1.5.2.5312\Reports\Templates\Pro...
Административное судоп...	Определение о возвращении протокола об административном правонарушен...	Базовый	C:\1.5.2.5312\Reports\Templates\Pro...
Административное судоп...	Определение о передаче протокола об АП и других материалов дела на расс...	Базовый	C:\1.5.2.5312\Reports\Templates\Pro...
Административное судоп...	Определение о передаче протокола об АП и других материалов дела на расс...	Базовый	C:\1.5.2.5312\Reports\Templates\Pro...
Административное судоп...	Определение о приводе указанных лиц	Базовый	C:\1.5.2.5312\Reports\Templates\Pro...
Административное судоп...	Постановление о прекращении производства по делу об АП	Базовый	C:\1.5.2.5312\Reports\Templates\Pro...
Административное судоп...	Постановление о назначении административного наказания	Базовый	C:\1.5.2.5312\Reports\Templates\Pro...
Административное судоп...	Определение о назначении времени и места рассмотрения дела	Базовый	C:\1.5.2.5312\Reports\Templates\Pro...
Административное судоп...	Определение о вызове лиц, указанных в статьях 25.1 - 25.10	Базовый	C:\1.5.2.5312\Reports\Templates\Pro...
Административное судоп...	Определение о назначении экспертизы	Базовый	C:\1.5.2.5312\Reports\Templates\Pro...
Административное судоп...	Определение об отсрочке, о рассрочке, приостановлении исполнения постан...	Базовый	C:\1.5.2.5312\Reports\Templates\Pro...
Административное судоп...	Определение о продлении срока рассмотрения дела	Базовый	C:\1.5.2.5312\Reports\Templates\Pro...
Административное судоп...	Определение об оплате судебных расходов	Базовый	C:\1.5.2.5312\Reports\Templates\Pro...
Административное судоп...	Постановление о приобщении вещественных доказательств к делу	Базовый	C:\1.5.2.5312\Reports\Templates\Pro...
Гражданское судопроизв...	Обложка дела по гражданскому иску(заявлению)	Базовый	C:\1.5.2.5312\Reports\Templates\Pro...
Гражданское судопроизв...	Определение о принятии к производству	Базовый	C:\1.5.2.5312\Reports\Templates\Pro...
Гражданское судопроизв...	Определение об отказе в принятии	Базовый	C:\1.5.2.5312\Reports\Templates\Pro...
Гражданское судопроизв...	Определение о возвращении	Базовый	C:\1.5.2.5312\Reports\Templates\Pro...
Гражданское судопроизв...	Определение об оставлении без движения	Базовый	C:\1.5.2.5312\Reports\Templates\Pro...
Гражданское судопроизв...	Судебный приказ	Базовый	C:\1.5.2.5312\Reports\Templates\Pro...
Гражданское судопроизв...	Исполнительный лист	Базовый	C:\1.5.2.5312\Reports\Templates\Pro...

Рис. 3. Справочник шаблонов документов ПИ АМИРС[12]

2Наименование в титуле документа: Определение о принятии к производству

Наименование судебного участка мирового судьи: СУДЕБНЫЙ УЧАСТОК № *** МИРОВОГО СУДЬИ ******* СУДЕБНОГО РАЙОНА ****** ОБЛАСТИ

Субъект/регион Российской Федерации: Московская область

Номер дела: Дело №2-****/2020

Список ФИО всех участников дела: Материальный истец: ФИО; Ответчик: ФИО

Список ФИО участников основного иска: ФИО

Список ФИО ответчиков: ФИО

Категория: Прочие исковые дела Иные исковые дела

Суть основного иска: о взыскании стоимости перемещения ТС

Судья:

Дата поступления искового заявления (судебного приказа, гражд. дела): дата

Дата принятия (решения, определения): дата

Рис. 4. Вид предустановленного шаблона определения о принятии искового заявления к производству в модуле АМИРС

смотрения дела в базу данных СПО АСД, направляет извещения и запросы.

Этап 2.

Шаг 13. Оформленное гражданское дело передается мировому судье для рассмотрения.

Шаги 14, 15, 18. Мировой судья рассматривает дело в порядке упрощенного производства, установленном главой 21.1 ГПК РФ, и выносит решение. В случаях, предусмотренных законом, выносится определение.

Шаги 16–18. Если гражданское дело не относится к категории дел, рассматриваемых в порядке упрощенного производства, или при наличии обстоятельств, указанных в ч. 4 ст. 232.2 ГПК РФ, мировой судья рассматривает дело по общим правилам искового производства и выносит решение. В случаях, предусмотренных законом, выносится определение.

Шаг 19. После рассмотрения дела секретарем судебного заседания составляется протокол судебного заседания, копии судебных актов направляются лицам, участвующим в деле, производятся иные действия по оформлению дела и подготовке дела к сдаче секретарю суда.

Шаг 20. Оконченное производством и оформленное дело передается секретарю суда для дальнейшего исполнения.

Анализ требований закона к содержанию процессуальных документов и установленного порядка обработки документов показал, что и сотрудниками аппарата, и мировым судьей вводятся одни и те же данные (сведения о взыскателе, должнике, содержании входящего документа, о движения заявления (дела), файл с судебным актом, составленным, как правило, в текстовом редакторе *Microsoft Word*, прикрепляется вручную, что, очевидно, не способствует повышению эффективности и ускорению судопроизводства. Из разработанного протокола документооборота по делам, рассматриваемым в порядке искового производства, следует с очевидностью, что большая часть действий, связанных с обработкой информации, подлежит *автоматизации* [12].

Например, для ускорения обработки документов искового производства возможно создать предустановленные *шаблоны* таких процессуальных документов, как определение о принятии искового заявления, возвращении искового заявления, отказе в принятии искового заявления, оставлении искового заявления без движения, а с учетом того, что в силу ч. 3 ст. 199 ГПК РФ мировой судья может не составлять мотивированное решение суда по рассмотренному им делу, а вынести лишь резолютивную часть решения, также и решений по некоторым категориям дел [10, 11].

Некоторые шаги в направлении автоматизации были предприняты разработчиками программного изделия (ПИ) АМИРС. Так, в модуле АМИРС появилась возможность использования шаблонов процессуальных документов со следующими ограничениями:

базовые шаблоны нельзя удалить, изменить;

базовые шаблоны можно сохранить как отдельный шаблон (на основе сохраненного шаблона, заполняя шаблон нужным текстом, можно создать шаблоны пользователей);

шаблоны пользователей можно загрузить (создать) в справочник (шаблон должен быть загружен в привязке к определенному документу из числа документов, которые вошли в справочник);

шаблоны пользователей можно удалять, изменять.

На рис. 3 показан вид справочника шаблонов документов СПО АСД; при выборе указанного в списке шаблона документа, например, определения об оставлении без движения, программа предлагает выбрать документ из имеющихся на компьютере пользователя [1].

На рис. 4 приведен вариант предустановленного шаблона определения о принятии искового заявления к производству. Очевидно, что такой шаблон не отвечает требованиям процессуального законодательства и не может быть использован в работе.

В ПИ АМИРС также имеются инструменты для создания пользовательского шаблона, для чего предлагается выполнить следующую последовательность действий:

1. Сохранить базовый шаблон под новым именем и с расширением .dot.

2. Добавить нужный текст в шаблон, подставляя по тексту ссылки на показатели в нужные места (ссылки следует перетаскивать, используя *мышь*; если использовать функцию копирования и вставки, ссылки могут быть перемещены некорректно).

3. Если требуется использовать одну и ту же ссылку в тексте шаблона повторно, то следует создать закладку для ссылки, пользуясь ин*струментами Microsoft Word*[13].

Создание пользовательского шаблона с учетом медленной работы СПО АСД занимает много времени, а при попытке использования шаблона программа выдает ошибку.

Помимо этого, в качестве недостатков ПИ АМИРС Московской области, препятствующих ускорению обработки данных, можно назвать регистрацию гражданских и административных дел в едином учетном документе с присвоением им валового (порядкового) номера, а также то, что гражданские и административные дела подлежат регистрации в едином журнале вместе с материалами о возвращении заявлений, оставлении заявлений без движения и др., что усложняет, *во-первых*, поиск дел и материалов в журнале, *во-вторых*, создает неудобство при регистрации дел и материалов, поскольку для принятия решения по ним процессуальным законом предусмотрены *разные* сроки.

При создании в СПО АСД гражданского дела отсутствует возможность редактирования данных всех участвующих в деле лиц, допускается возможность редактирования данных только последнего добавленного лица, в противном случае выпадает ошибка, препятствующая созданию дела, и, чтобы избежать ошибки

[12] ПИ АМИРС. Описание применения. Часть 1. ИРЦВ.80415-18 31 01-1.

[13] ПИ АМИРС. Описание применения. Часть 1. ИРЦВ.80415-18 31 01-1. Пункт 6.8.6.4.

в программном обеспечении, необходимо «создавать» всех участвующих в деле лиц в разделе «Лица» СПО АСД, и только после этого вернуться в Журнал гражданских и административных дел для создания нового гражданского дела.

Для просмотра даты вступления судебного акта в законную силу в СПО АСД (ПИ АМИРС) необходимо «заходить» в дело, что занимает лишнее время, хотя для решения данной задачи можно было бы добавить колонку «Дата вступления в законную силу».

Регистрация большого количества заявлений и дел, систематически поступающих, например, из налоговых органов, приводит к тому, что СПО АСД теряет работоспособность (зависает). Также замедляет работу СПО установка программного комплекса АМИРС на компьютер одного из пользователей, особенно, когда данный компьютер не рассчитан на большие нагрузки, из-за чего создаются неудобства в работе всех пользователей при обращении к СПО АСД, установленной на указанном компьютере.

Указанные недостатки в СПО АСД (ПИ АМИРС) существенно замедляют процесс регистрации и оформления дел.

Результаты исследования апробированы путем их использования в работе судебного участка. Использование шаблонов процессуальных документов (созданных в текстовом редакторе *Microsoft Word*) позволило снизить временные затраты мирового судьи примерно на 50%.

Представляется, что дальнейшее совершенствование судопроизводства с точки зрения применения информационных технологий невозможно без введения средств автоматизации обработки данных [3, 7] с возможностью автоматического формирования проектов судебных актов. Введение типовых форм значительно ускорит обработку данных, а также приведет к сокращению количества технических ошибок.

Рецензент: ***Запольский Сергей Васильевич,*** *доктор юридических наук, профессор, заслуженный юрист Российской Федерации, главный научный сотрудник Института государства и права Российской академии наук, г. Москва.*
E-mail: zpmoscow@mail.ru

Литература

1. Андрюшечкина И. Н. Использование нормативно-справочной информации судебного делопроизводства для задач ведения судебной статистики // Правовая информатика. – 2019. – № 3. – С. 21 – 40. DOI: 10.21681/1994-1404-2019-3-21-40.
2. Апостолова Н. Н. Судопроизводство у мирового судьи. – Ростов н/Д, 2013. – 412 с.
3. Афанасьев С., Савельев Т. Производство у мирового судьи нуждается в совершенстве // Российская юстиция. – 2014. – № 5. – С. 26 – 29.
4. Коваленко А. О. Протокол рациональной переработки и правовые режимы судебной информации // Правовая информатика. – 2019. – № 2. – С.49 – 56. DOI: 10.21681/1994-1404-2019-2-49-56.
5. Ловцов Д. А. Проблемы правового регулирования электронного документооборота // Информационное право. – 2005. – № 2. – С. 28 – 31.
6. Ловцов Д. А. Проблема информационной безопасности ГАС РФ «Правосудие» // Российское правосудие. – 2012. – № 5. – С. 103 – 109.
7. Ловцов Д. А. Системология правового регулирования информационных отношений в инфосфере: архитектура и состояние // Государство и право. – 2012. – № 8. – С. 16 – 25.
8. Ловцов Д. А., Ниесов В. А. Модернизация информационной инфраструктуры судопроизводства – ключевое направление оптимизации нагрузки на судебную систему // Российское правосудие. – 2014. – № 9. – С. 30 – 40.
9. Ловцов Д. А., Шибаев Д. В. Семейство унифицированных правовых протоколов электронного документооборота в судебной системе // Российское правосудие. – 2011. – № 7. – С. 44 – 52.
10. Маркина Е. В. Актуальность автоматизации процесса рационального распределения нагрузки на мировых судей // Труды V Всеросс. науч.-прак. конф. «Современное непрерывное образование и инновационное развитие» (23 апреля 2015 г.) / ФГУ «ФИРО». – Серпухов: МОУ «ИИФ», 2015. – С. 801 – 807.
11. Маркина Е. В. Вопросы рационального распределения нагрузки мировых судей // Оптимизация судебной юрисдикции и нагрузки на судебную систему (шифр «Оптимизация»): Отчёт о НИР / Верховный Суд РФ; Руководитель С. В. Никитин. – М., 2014. – С. 259 – 271.
12. Маркина Е. В. Комплексная автоматизация приказного производства в ГАС РФ «Правосудие» // Правовая информатика. – 2019. – № 2. – С. 57 – 68. DOI: 10.21681/1994-1404-2019-2-57-68.
13. Парийская М. А. Количественный состав аппарата мирового судьи как гарантия качества осуществления судопроизводства // Судья. – 2019. – № 12. – С. 37 – 41.
14. Смагина Е. Гражданское судопроизводство у мирового судьи: новеллы и перпективы // Мировой судья. – 2015. – № 3. – С. 12 – 15.

LEGAL INFORMATION SUPPORT FOR CIVIL ACTION PROCEEDINGS CONDUCTED BY THE JUSTICE OF THE PEACE

Elena Markina, *justice of the peace, Ph.D. student at the Department of Information Technology Law, Informatics and Mathematics of the Russian State University of Justice, Russian Federation, Moscow.*
E-mail: *elena107140@yandex.ru*

Keywords: *civil action application, summary proceedings, general proceedings, automation, protocol, typical forms, information, AMIRS module of the Government Automated System of the Russian Federation "Pravosudie" [Justice], court proceedings, justice of the peace.*

Abstract.

Purpose of the work: *justifying proposals for optimising the procedural activities of the justice of the peace (using the case of justices of the peace of Moscow Oblast [region of Moscow]) based on the analysis of legal regulations of the Russian Federation and Moscow Oblast being a subject of the Russian Federation as well as court practice.*

Methods used: *structural logical analysis, comparative legal and formal dogmatic methods.*

Results obtained: *based on the analysis of legal regulations and court practice, high priority questions of legal information support of judicial activities of the justice of the peace are identified. A justification is given for proposals regarding the optimisation and automation of legal proceedings. A protocol is developed for documents circulation in cases heard by the justice of the peace in civil action proceedings.*

The results of this study were tested by means of using them in the work of the court district, which allowed to reduce the documents processing time by approximately 50%.

References

1. Andriushechkina I. N. Ispol'zovanie normativno-spravochnoi informatsii sudebnogo deloproizvodstva dlia zadach vedeniia sudebnoi statistiki. Pravovaia informatika, 2019, No. 3, pp. 21-40. DOI: 10.21681/1994-1404-2019-3-21-40 .
2. Apostolova N. N. Sudoproizvodstvo u mirovogo sud'i. Rostov-na-Donu, 2013, 412 pp.
3. Afanas'ev S., Savel'ev T. Proizvodstvo u mirovogo sud'i nuzhdaetsia v sovershenstve. Rossiiskaia iustitsiia, 2014, No. 5, pp. 26-29.
4. Kovalenko A. O. Protokol ratsional'noi pererabotki i pravovye rezhimy sudebnoi informatsii. Pravovaia informatika, 2019, No. 2, pp. 49-56. DOI: 10.21681/1994-1404-2019-2-49-56 .
5. Lovtsov D. A. Problemy pravovogo regulirovaniia elektronnogo dokumentooborota. Informatsionnoe pravo, 2005, No. 2, pp. 28-31.
6. Lovtsov D. A. Problema informatsionnoi bezopasnosti GAS RF "Pravosudie". Rossiiskoe pravosudie, 2012, No. 5, pp. 103-109.
7. Lovtsov D. A. Sistemologiia pravovogo regulirovaniia informatsionnykh otnoshenii v infosfere: arkhitektura i sostoianie. Gosudarstvo i pravo, 2012, No. 8, pp. 16-25.
8. Lovtsov D. A., Niesov V. A. Modernizatsiia informatsionnoi infrastruktury sudoproizvodstva -- kliuchevoe napravlenie optimizatsii nagruzki na sudebnuiu sistemu. Rossiiskoe pravosudie, 2014, No. 9, pp. 30-40.
9. Lovtsov D. A., Shibaev D. V. Semeistvo unifitsirovannykh pravovykh protokolov elektronnogo dokumentooborota v sudebnoi sisteme. Rossiiskoe pravosudie, 2011, No. 7, pp. 44-52.
10. Markina E. V. Aktual'nost' avtomatizatsii protsessa ratsional'nogo raspredeleniia nagruzki na mirovykh sudei. Trudy V Vseross. nauch.-prak. konf. "Sovremennoe nepreryvnoe obrazovanie i innovatsionnoe razvitie" (23 aprelia 2015 g.), FGU "FIRO". Serpukhov : MOU "IIF", 2015, pp. 801-807.
11. Markina E. V. Voprosy ratsional'nogo raspredeleniia nagruzki mirovykh sudei. Optimizatsiia sudebnoi iurisdiktsii i nagruzki na sudebnuiu sistemu (shifr "Optimizatsiia") : otchet o NIR. Verkhovnyi Sud RF, rukovoditel' S. V. Nikitin. M., 2014, pp. 259-271.
12. Markina E. V. Kompleksnaia avtomatizatsiia prikaznogo proizvodstva v GAS RF "Pravosudie". Pravovaia informatika, 2019, No. 2, pp. 57-68. DOI: 10.21681/1994-1404-2019-2-57-68 .
13. Pariiskaia M. A. Kolichestvennyi sostav apparata mirovogo sud'i kak garantiia kachestva osushchestvleniia sudoproizvodstva. Sud'ia, 2019, No. 12, pp. 37-41.
14. Smagina E. Grazhdanskoe sudoproizvodstvo u mirovogo sud'i: novelly i perpektivy. Mirovoi sud'ia, 2015, No. 3, pp. 12-15.

Над номером работали:

Начальник РИО	*Ю.В. Матвиенко*
Шеф-редактор	*Г.И. Макаренко*
Редактор-переводчик	*Т.В. Галатонов*
Дизайн обложки	*И.Г. Колмыкова*
Верстка	*Н.Г. Шабанова*