SCCS

Системы управления, связи и безопасности

Systems of Control, Communication and Security

№4 2017

ISSN 2410-9916

http://sccs.intelgr.com

ISSN 2410-9916

«Системы управления, связи и безопасности»

Периодическое электронное издание сетевого распространения.
Научный журнал.
№ 4. IV квартал 2017 г.

Учредитель журнала: ООО «Корпорация «Интел Групп»

Главный редактор: С.И. Макаренко, кандидат технических наук, доцент.

Редакционная коллегия:

А.В. Баженов, кандидат технических наук, профессор; П.А. Будко, доктор технических наук, профессор; В.В. Борисов, доктор технических наук, профессор; Е.В. Гречишников, доктор технических наук, профессор; Ю.А. Кропотов, доктор технических наук, профессор; В.И. Левин, доктор технических наук, профессор; Г.И. Линец, доктор технических наук, доцент; А.С. Марков, доктор технических наук, старший научный сотрудник; Р.Л. Михайлов, кандидат технических наук; Е.А. Новиков, доктор технических наук, доцент; С.С. Семенов, доктор технических наук, доцент.

Технический редактор: В.М. Коровин.

Ответственный секретарь: Л.А. Макаренко.

Адрес редакции и издателя журнала:

197372, Санкт-Петербург, пр. Богатырский, д. 32, к. 1 лит. А, пом. 6Н.
Тел.: (812) 945-50-63. Сайт журнала: http://sccs.intelgr.com.
E-mail: sccs@intelgr.com

Издается с апреля 2015 года. Выходит четыре раза в год.

Журнал зарегистрирован как сетевое издание в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (РОСКОМНАДЗОР), свидетельство о регистрации ЭЛ № ФС 77 - 61239 от 03.04.2015 г.

© ООО «Корпорация «Интел Групп», 2017

ISSN 2410-9916

«Systems of Control, Communication and Security»

Scientific electronic reviewed edition.
2017, No. 4.

Founder of Journal: Intel Group Corporation, ltd.
Chief-in-Editor: S. I. Makarenko, Ph.D. of Engineering Sciences, Docent.
Editorial Board:
A. V. Bazhenov, Ph.D. of Engineering Sciences. Full Professor;
V. V. Borisov, Dr. habil. of Engineering Sciences. Full Professor;
P. A. Budko, Dr. habil. of Engineering Sciences. Full Professor;
E. V. Grecihnikov, Dr. habil. of Engineering Sciences. Full Professor;
Y. A. Kropotov, Dr. habil. of Engineering Sciences. Full Professor;
V. I. Levin, Dr. habil. of Engineering Sciences. Professor. Ph.D., Full Professor;
G. I. Linec, Dr. habil. of Engineering Sciences. Docent;
A. S. Markov, Dr. habil. of Engineering Sciences. Docent;
R. L. Mikhailov, Ph.D. of Engineering Sciences;
E. A. Novikov, Dr. habil. of Engineering Sciences. Docent;
S. S. Semenov, Dr. habil. of Engineering Sciences. Docent.
Technical editor: V. M. Korovin.
Responsible editorial secretary: L. A. Makarenko.
Editor and Publishing House Address:
Bogatyirskiy pr, 32-1-A-6N, St. Petersburg 197372, Russia.
Phone: +7 812 945 50 63.
E-mail: sccs@intelgr.com

Published since 2015. The Journal is published 4 times a year.

Licensed ЭЛ № ФС 77 - 61239 on 03.04.2015 issued by Federal Service for Supervision in the Sphere of Telecom, Information Technologies and Mass Media (RosKomNadzor) of Russia.

© Intel Group Corporation, ltd, 2017

Содержание

Газизов Р. Р.
Методика и алгоритмы для выявления и локализации экстремумов сигнала в многопроводных линиях передачи 1
Макаренко С. И.
Подавление сетецентрических систем управления радиоэлектронными информационно-техническими воздействиями 15
Левин В. И.
Интервальная математика и построение градуировочных характеристик средств измерения 60
Будко П. А., Виноградeнко А. М., Кузнецов С. В., Гойденко В. К.
Реализация метода многоуровневого комплексного контроля технического состояния морского робототехнического комплекса..... 71
Забегалин Е. В.
Определение термина «компьютерная безопасность»..... 102
Кузовкова Т. А., Кузовков Д. В., Кузовков А. Д., Шаравова О. И.
Методический аппарат измерения внешней социально-экономической эффективности развития инфокоммуникаций 112
Левин В. И.
Динамико-автоматное моделирование потока исторических событий 166

Table of contents

R. R. Gazizov
Methods and Algorithms of Signal Extremum Detection in Multiconductor Transmission Lines 1
S. I. Makarenko
Suppression of a Net-Centric Control System with Radio Cyber Attacks 15
V. I. Levin
Interval Mathematics and Constructing of Calibration Characteristics of Measuring Tools..... 60
P. A. Budko, A. M. Vinogradenko, S. V. Kuznetsov, V. K. Goydenko
Realization of a Method of Multilevel Complex Control of Technical Condition of a Sea Robot 71
E. V. Zabegalin
Definition of the Term “Computer Security” 102
T. A. Kuzovkova, D. V. Kuzovkov, A. D. Kuzovkov, O. I. Sharavova
Methodology of Infocommunication Development External Socio-Economic Efficiency Measurement 112
V. I. Levin
Automatic Modeling of a Stream of Historical Events..... 166

УДК 519.688

Методика и алгоритмы для выявления и локализации экстремумов сигнала в многопроводных линиях передачи

Газизов Р. Р.

(руководитель исследования: доктор технических наук А.М. Заболоцкий)

Актуальность работы. *С развитием современной радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) повышается плотность монтажа ее внутренних конструкций, а также наблюдается рост частот полезных и помеховых сигналов. В этой связи важны выявление и локализация экстремумов сигнала вдоль проводников многопроводных линий передачи (МПЛП) для обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС), поскольку эти результаты могут быть использованы для определения мест возможных паразитных взаимовлияний и излучений, чтобы своевременно устранить их в интересах дальнейшей доработки РЭА.* ***Цель работы:*** *разработать методику и алгоритмы для выявления и локализации экстремумов сигнала вдоль МПЛП, которые необходимы при анализе ЭМС РЭА на этапе проектирования.* ***Используемые методы.*** *Для разработки методики используются теоретические основы квазистатического вычисления отклика в любой точке вдоль каждого проводника каждого отрезка МПЛП.* ***Результат:*** *сформулирована методика и описаны алгоритмы, применяемые для выявления и локализации экстремумов сигнала, построены их блок-схемы. Представленные алгоритмы реализованы в виде программы для электронно-вычислительных машин, которая использовалась для выполнения исследований (их краткие результаты приведены в работе).* ***Практическая значимость*** *разработанных методики и алгоритмов заключается в использовании их в системе компьютерного моделирования для анализа ЭМС различных фрагментов печатных плат, и возможности использования производителями РЭА для повышения надежности выпускаемых изделий.*

Ключевые слова: *математическое моделирование, методика, квазистатический анализ, программный модуль, экстремумы сигналов, многопроводные линии передачи.*

Актуальность

Возрастающая сложность разрабатываемых устройств и протекающих в них процессов делает всё более важным математическое моделирование, поскольку натурное моделирование часто становится очень затратным. В этой связи, показательна современная радиоэлектронная аппаратура (РЭА), требующая особенно тщательного математического моделирования, в основе которого, чаще всего, лежит численный анализ с построением схемной математической модели РЭА и вычислением её реакции на тестирующее воздействие. Сложность точного математического моделирования РЭА во многом определяется электромагнитными взаимовлияниями, особенно сильно выраженными в проводниках печатных плат (ПП). Эти взаимовлияния довольно трудно контроли-

Библиографическая ссылка на статью:
Газизов Р. Р. Методика и алгоритмы для выявления и локализации экстремумов сигнала в многопроводных линиях передачи // Системы управления, связи и безопасности. 2017. № 4. С. 1-14. URL: http://sccs.intelgr.com/archive/2017-04/01-Gazizov.pdf.

Reference for citation:
Gazizov R. R. Methods and Algorithms of Signal Extremum Detection in Multiconductor Transmission Lines. *Systems of Control, Communication and Security*, 2017, no. 4, pp. 1-14. Available at: http://sccs.intelgr.com/archive/2017-04/01-Gazizov.pdf (in Russian).

ровать, поскольку проводники, в общем случае, расположены произвольно. Кроме того, существуют и отдельные компоненты ПП, в которых могут появиться паразитные взаимовлияния. С увеличением сложности математического моделирования становится актуальной оптимизация выбора параметров исследуемой структуры. В работе [1] проведен анализ трудоемкости различных эвристических алгоритмов, и показано, что генетический алгоритм (ГА) довольно эффективен, однако требует значительное время для своего выполнения. Тем не менее, в силу популярности его применения при моделировании РЭА [2], принято решение использовать его для оптимизации.

Постановка задачи

В работах [3, 4] показана актуальность выявления и локализации экстремумов сигнала в многопроводных линиях передачи (МПЛП), приведены теоретические основы квазистатического вычисления отклика в любой точке вдоль отрезка МПЛП, представлены результаты программной реализации алгоритмов, а также выполнен ряд исследований одиночных и связанных линий передачи с применением возможности выявления и локализации экстремумов сигнала. Однако работы, отражающей методику и алгоритмы для выявления и локализации экстремумов сигнала в едином комплексе, представлено не было.

Цель данной работы – сформулировать методику и алгоритмы для выявления и локализации экстремумов сигнала в МПЛП.

Теория

Ранее были разработаны и опубликованы теоретические основы для вычисления значений напряжения и тока в любой точке вдоль отрезка МПЛП [3, 4]. Однако для представления методики и алгоритмов в едином комплексе целесообразно снова представить эти выражения:

$$\boldsymbol{V}(x) = \boldsymbol{S}_V(\boldsymbol{E}(x)\boldsymbol{C}_1 + \boldsymbol{E}(x)^{-1}\boldsymbol{C}_2), \tag{1}$$

$$\boldsymbol{I}(x) = \boldsymbol{S}_I(\boldsymbol{E}(x)\boldsymbol{C}_1 - \boldsymbol{E}(x)^{-1}\boldsymbol{C}_2), \tag{2}$$

где $\boldsymbol{S}_V$ – матрица модальных напряжений; $\boldsymbol{S}_I$ – матрица модальных токов; $\boldsymbol{E}(x)$ – диагональная матрица $\{\exp(-\gamma_1 x), \exp(-\gamma_2 x), \ldots, \exp(-\gamma_{Nk} x)\}$ и γ_{Nk} – коэффициенты распространения отрезка МПЛП; где N_k – число проводников в k-м отрезке МПЛП; x – координата вдоль отрезка МПЛП; $\boldsymbol{C}_1$, $\boldsymbol{C}_2$ – векторы констант. Вычисление значений матриц $\boldsymbol{S}_I$, $\boldsymbol{S}_V$, $\boldsymbol{E}(x)$ описано в работе [5]. $\boldsymbol{C}_1$ и $\boldsymbol{C}_2$ вычисляются как

$$\begin{bmatrix} \boldsymbol{C}_1 \\ \boldsymbol{C}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{S}_V & \boldsymbol{S}_V \\ \boldsymbol{S}_V\boldsymbol{E}(l) & \boldsymbol{S}_V[\boldsymbol{E}(l)]^{-1} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \boldsymbol{V}(0) \\ \boldsymbol{V}(l) \end{bmatrix}, \tag{3}$$

где $\boldsymbol{E}(l)=\boldsymbol{E}(x)$ при $x=l$ и l – длина отрезка МПЛП; $\boldsymbol{V}(0)$ и $\boldsymbol{V}(l)$ – векторы, содержащие напряжения на концах отрезка МПЛП, полученные после решения уравнения для схемы из n отрезков МПЛП с сосредоточенными элементами на концах отрезков:

$$\boldsymbol{V}(s) = \left(s\boldsymbol{W} + \boldsymbol{H} + \sum_{k=1}^{n} \boldsymbol{D}_k \boldsymbol{Y}(s)_k \boldsymbol{D}_k^t \right)^{-1} \boldsymbol{E}(s), \tag{4}$$

где $s=j\omega$, ω – угловая частота; $\boldsymbol{W}$, $\boldsymbol{H}$ – матрицы размера $A\times A$, описывающие произвольные оконечные и соединительные схемы из активных и реактивных элементов (A – количество параметров, вычисляемых в модифицированном методе узловых потенциалов); $\boldsymbol{D}_k$ – матрица-селектор, отображающая токи, входящие в k-й отрезок МПЛП, с элементами $d_{i,j}\in\{0, 1\}$, где $i\in\{1, \dots, N_k\}$, $j\in\{1, \dots, m_k\}$ с одним ненулевым значением в каждом столбце, $m_k=2\cdot N_k$ – количество токов, входящих в k-й отрезок МПЛП; $\boldsymbol{Y}(s)_k$ – матрица проводимостей для k-го отрезка МПЛП; $\boldsymbol{V}(s)$ – вектор узловых напряжений; $\boldsymbol{E}(s)$ – вектор, состоящий из независимых источников напряжения или токов.

Алгоритм вычисления откликов в узлах цепи на заданное воздействие, описан в работе [5]. Сначала исходное воздействие из временной области с помощью прямого быстрого преобразования Фурье (БПФ) переводится в частотную. Затем производятся вычисления по (1–4). Полученный результат из частотной области переводится во временную с помощью обратного БПФ.

Разработанная методика для выявления и локализации экстремумов сигнала в многопроводных линиях передачи

На основе представленных в этой статье теоретических положений автором разработана методика для выявления и локализации экстремумов сигнала в МПЛП. Далее описана суть методики. Разработчик РЭА строит корректную принципиальную схему разрабатываемой структуры; выбирает участок на одном из проводников структуры, вдоль которого необходимо проверить, не превышают ли амплитуды распространяющегося сигнала предельных значений, а также – как изменяется форма сигнала, при распространении. Выбранный участок может состоять всего из нескольких отрезков линий передачи, а может быть выбран по всей длине проводника. Кроме того, участок может находиться на любом проводнике структуры (т.е. есть возможность проводить анализ значений амплитуд сигналов, как в активном проводнике, так и перекрестных наводок).

Разработанная методика состоит из трех этапов:

1. Подготовительный этап. Формулировка решаемой задачи, цели и планируемых результатов. Построение поперечных сечений и корректной принципиальной схемы РЭА (учитывающей все гальванические соединения между элементами) с указанием всех параметров активных и реактивных элементов (для отрезков линии передачи – матрицы погонных коэффициентов электромагнитной и электростатической индукции, матрицы погонных проводимостей и сопротивлений, длина отрезка линии передачи; для источника сигнала – тип сигнала и его параметры).
2. Этап вычислений. Выбор начального и конечного узлов распространения импульса, с указанием числа сегментов каждого отрезка МПЛП, значения скорости анимации для отображения вычисленных форм сигнала. Вычисление формы сигнала. Выявление и локализация экстремумов сигнала. Встроенная оптимизация для получения оптимального решения.

3. Заключительный этап. Анализ полученных результатов: форм сигнала, динамически отображаемых вдоль каждого проводника МПЛП, выявленных экстремумов сигнала и их локализация на принципиальной схеме.

Рассмотрим подробнее второй и третий этапы методики. На втором этапе чтобы выбрать участок проводника, состоящий из нескольких отрезков МПЛП, (или весь проводник), вдоль которого будет выполняться анализ экстремумов сигнала, и отображение изменения формы сигнала, необходимо указать начало и конец участка (номера узлов принципиальной схемы). Каждый отрезок МПЛП делится на число сегментов, заданное пользователем, и в каждом из этих сегментов вычисляется форма сигнала. Алгоритм вычисления отклика (формы сигнала) в заданном сегменте отличается от алгоритма из работы [5] тем, что использует координаты сегментов вместо номеров узлов. В результате в системе хранятся значения напряжения или тока, вычисленные в каждом сегменте каждого отрезка проводника. Затем определяется путь распространения сигнала вдоль выбранного проводника с учетом гальванических связей между отрезками МПЛП (т. е. последовательное отображение форм сигнала, вычисленных в каждом сегменте МПЛП). Скорость отображения также определяется пользователем. Далее в каждом сегменте выполняется поиск экстремумов, а именно глобальных (относительно всех сегментов) максимума или минимума. За глобальным максимумом или минимумом закрепляется номер сегмента и отрезка МПЛП, которые потом используются для его локализации. Также на этом этапе есть возможность применить оптимизацию с помощью ГА. К примеру, если у пользователя стоит задача, определить такую длительность импульса воздействия, при которой максимальное значение амплитуды сигнала вдоль проводника будет наибольшим.

На третьем этапе происходит визуализация динамического отображения распространения сигнала вдоль проводника, которым пользователь может управлять (остановить анимацию, отобразить форму сигнала на следующем/предыдущем сегменте, снова запустить анимацию); отображаются формы сигнала с глобальным максимумом/минимумом при нажатии на соответствующие кнопки. Эти результаты выводятся в отдельном окне, а на принципиальной схеме анимировано (в соответствии с анимацией форм сигнала) отображаются сегменты (в виде точек), в которых вычислены формы сигнала. При отображении экстремума останавливается анимация на принципиальной схеме, и указывается место, в котором он локализован. Таким образом, пользователь может проанализировать, какие выявлены глобальные экстремумы сигнала, где они находятся, а также как изменяется форма сигнала, при распространении вдоль проводников исследуемой структуры. Схема разработанной методики представлена на рис. 1.

Далее рассмотрим алгоритм визуализации распространения сигнала по цепи (рис. 2). Пользователю необходимо выбрать начальный узел *A* и конечный узел *B*, между которыми будет распространяться сигнал. На основе этих точек система определяет путь распространения сигнала, определяет количество и последовательность отрезков МПЛП, а также последовательность их сегментов

для анимированного отображения вычисленных в них откликов. После этого системой создаются необходимые команды, и выполняется динамическое отображение.

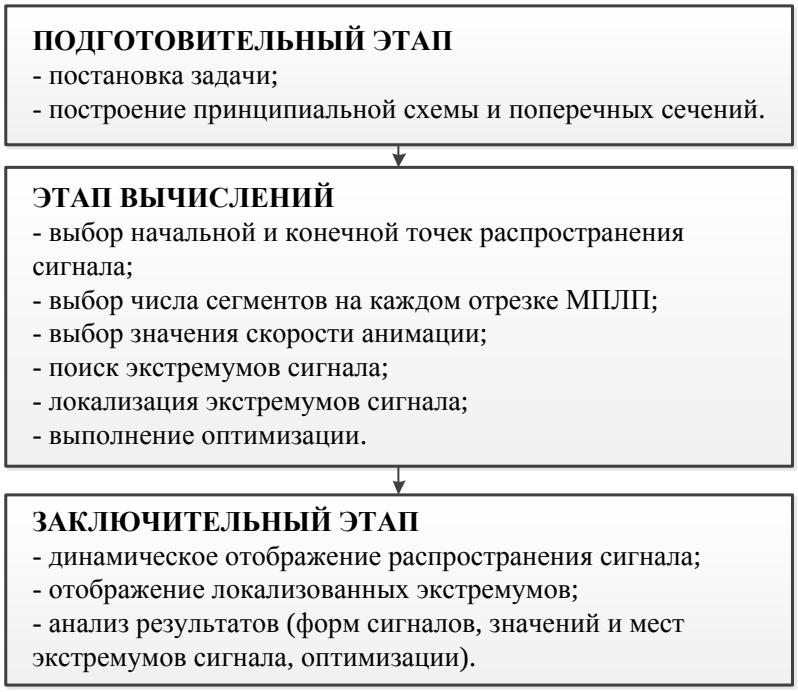

Рис. 1. Методика выявления и локализации экстремумов сигнала в МПЛП

Если узел *A* пользователь может выбрать в любом месте на принципиальной схеме, то местоположение узла *B* вычисляется алгоритмом определения допустимых путей распространения. Суть его заключается в обеспечении условия сохранения гальванической связи между отрезками МПЛП на пути распространения сигнала. На рис. 3 представлена тестовая схема, а рис. 4 содержит изображение каждого шага алгоритма до обработки первого элемента схемы. Рассмотрим подробнее этот алгоритм (блок-схема приведена на рис. 5) на примере тестовой схемы:

1. Сначала в систему поступает индекс начального узла *A* (первый узел, который выбирает пользователь). *A*=2.
2. Создается список пройденных узлов list (сначала пустой), а также текущему узлу *a* присваивается индекс начального (*a*=*A*=2).
3. Нумеруются элементы принципиальной схемы, подключенные к узлу *a*.
4. Выполняется проверка, есть ли еще пронумерованные необработанные элементы схемы. Если есть, то переход на шаг 5, если нет – на шаг 7.
5. Далее поочередно выполняется обработка каждого пронумерованного элемента схемы. Вывод элемента, подключенный к узлу *a*, определяется как входной, а противоположный вывод – как выходной.
6. Индекс узла, подключенного к выходному выводу, присваивается узлу *b* (*b*=3).

7. В конец списка list добавляется индекс узла *a* (в конец list заносится 2).
8. Выполняется проверка, есть ли еще узлы с индексом *b*. Если да, то переход на шаг 9, если нет – на шаг 11.
9. Узел *b* есть, поэтому переносим его индекс в узел *a* (*a*=3).
10. Текущий пронумерованный элемент схемы отмечается как «пройденный», а другие элементы, подключенные к узлу *a*, снова нумеруются, т.е. выполнен переход на шаг 3.
11. Алгоритм будет работать до тех пор, пока не закончатся узлы *b*.

Рис. 2. Алгоритм визуализации распространения сигнала по цепи

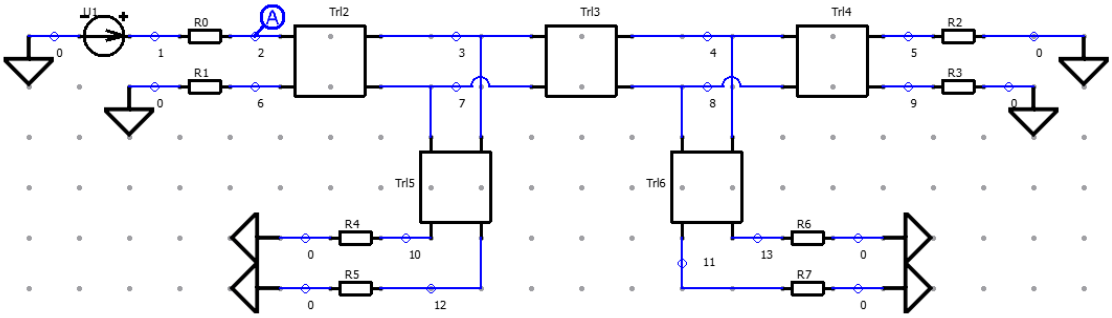

Рис. 3. Тестовая схема

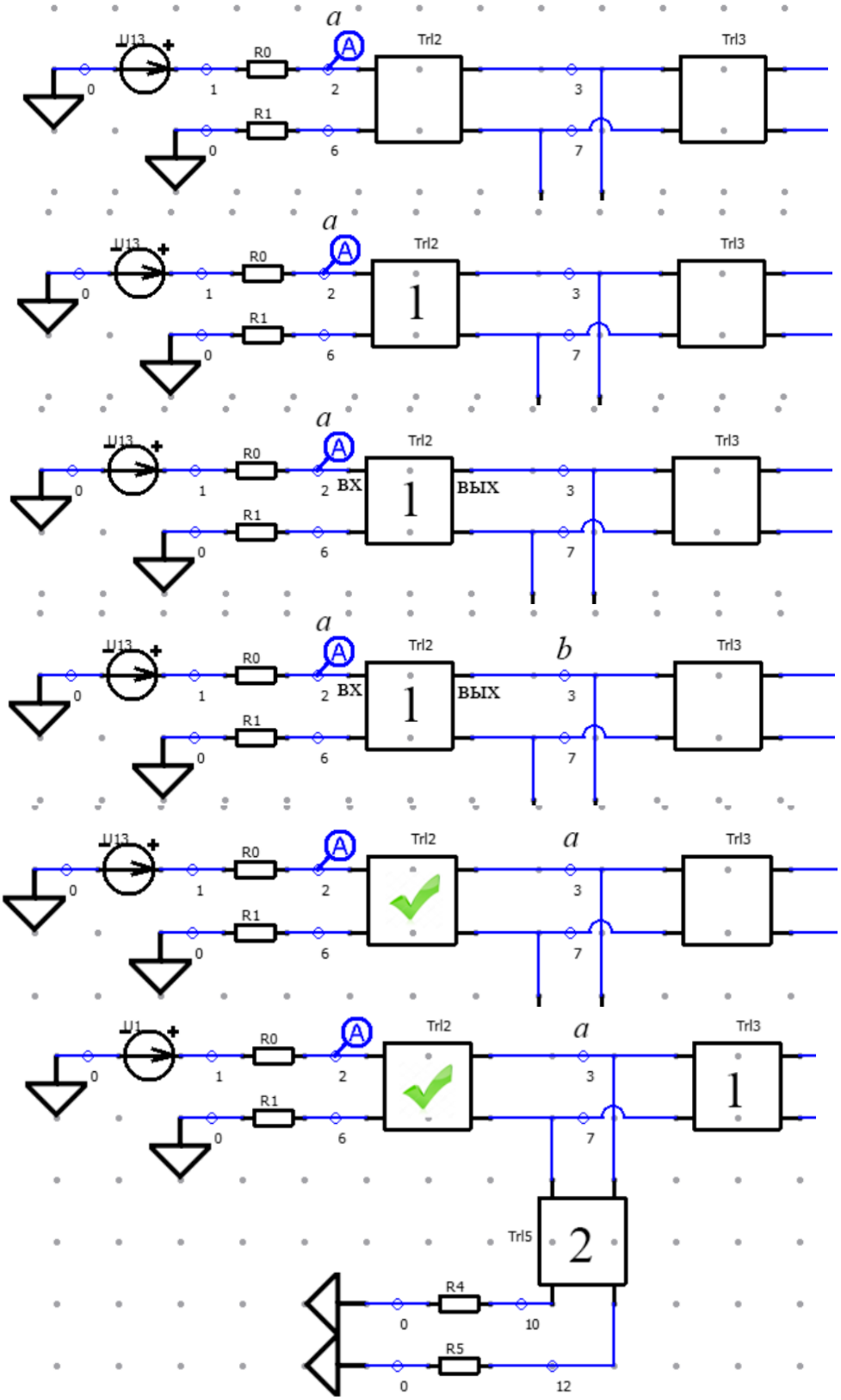

Рис. 4. Изображение каждого шага алгоритма при обработке первого элемента схемы

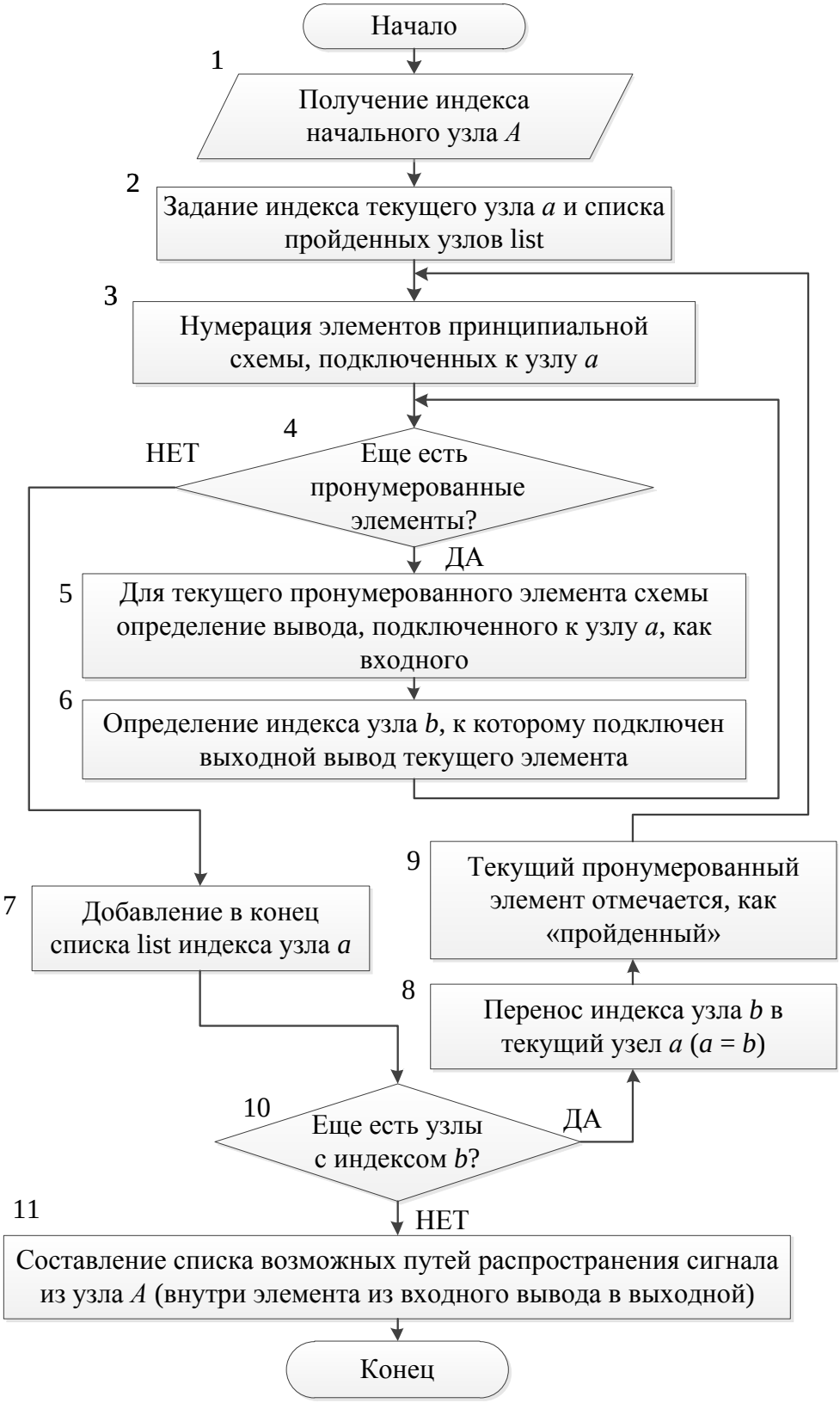

Рис. 5. Алгоритм определения допустимых путей распространения сигнала по цепи

В результате выполнения алгоритма на рис. 5 у пользователя появляется возможность выбрать конечный узел *B*, при наведении на узлы мышью (все возможные конечные узлы, полученные для тестовой схемы, представлены на рис. 6).

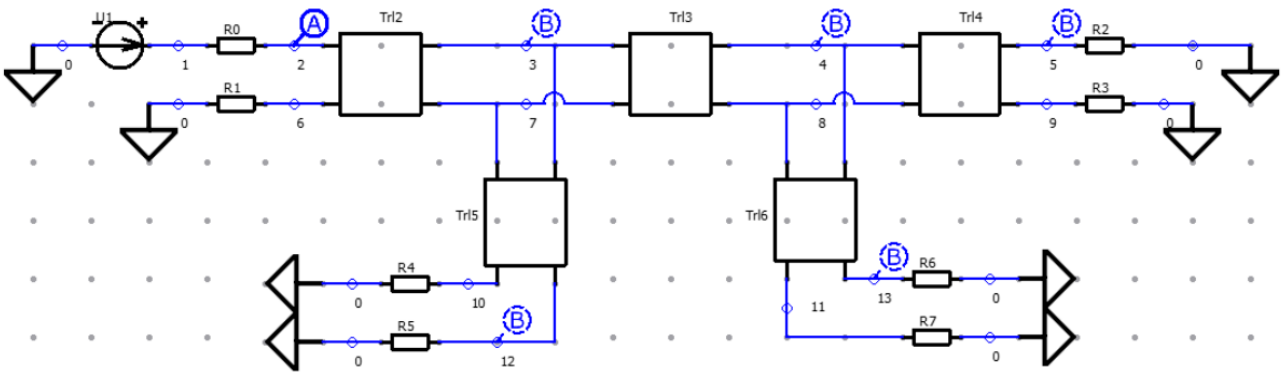

Рис. 6. Все возможные варианты выбора узла *B* для тестовой схемы

После выбора точек *A* и *B* в системе составляется список узлов и сегментов отрезков МПЛП (на рисунках схематично изображены квадратами), в которых необходимо построить формы сигнала. Данный список передается в модуль отображения, который создает кадры динамического отображения распространения сигнала вдоль проводника. Параллельно с динамическим отображением форм сигнала показывается место на принципиальной схеме, в котором эта форма вычислена. Подсвечивается весь отрезок проводника МПЛП, а точкой указывается конкретное место вдоль этого отрезка. На рис. 7 показан пример локализации сигнала на тестовой схеме.

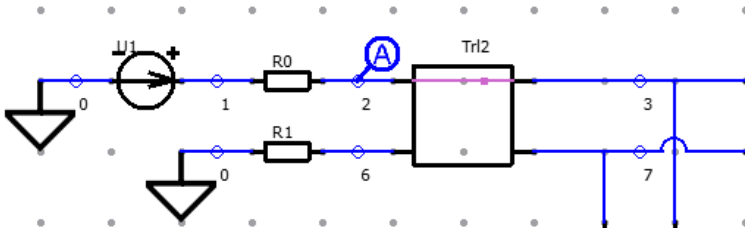

Рис. 7. Пример локализации сигнала

Для выявления и локализации экстремумов сигнала используется алгоритм, блок-схема которого показана на рис. 8. Рассмотрим подробнее этот алгоритм. Результаты вычисления отклика (действительные значения) в одном сегменте хранятся в матрице-векторе, состоящей из одного столбца. Суть данного алгоритма заключается в полном переборе этой матрицы и вывода наибольшего либо наименьшего значения. На блок-схеме из рис. 8 все обозначения приведены для напряжений (аналогичным образом алгоритм выполняется и для токов), где U_{max} – это максимальное значение напряжения; U_{max} – минимальное значение напряжения; U_n – текущий элемент матрицы (при первом выполнении алгоритма в блоках 3 и 9 n=1); n – количество элементов матрицы. В результате его выполнения выводится значение экстремума сигнала. Так как отклик вычисляется в каждом сегменте отрезка МПЛП, то в результате выполнения алгоритма, известны и номер сегмента проводника и отрезка, где этот сигнал локализован.

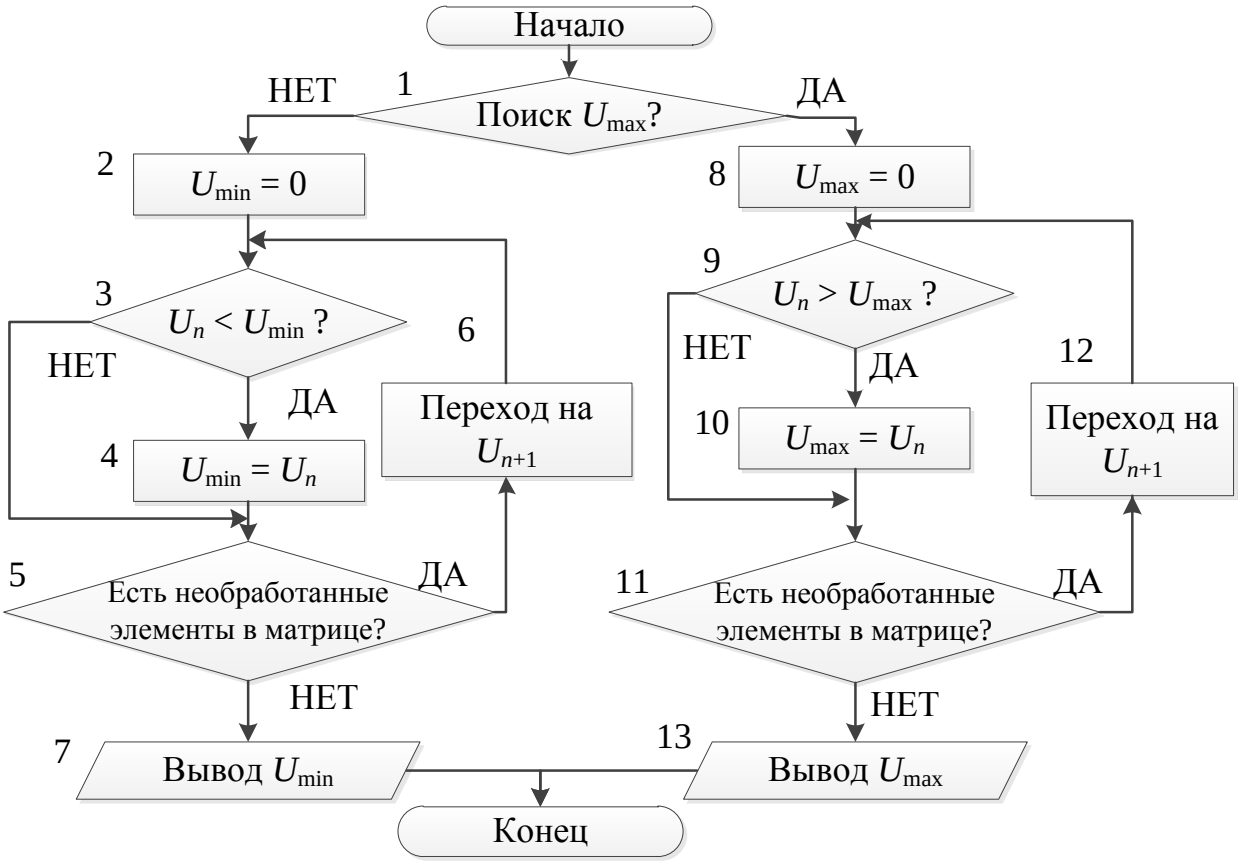

Рис. 8. Алгоритм выявления и локализации экстремумов сигнала

Результаты применения разработанной методики

Предложенная методика и алгоритмы были использованы в программном комплексе для моделирования задач электромагнитной совместимости TALGAT, для чего был разработан специальный программный модуль. В результате его использования выполнены исследования по выявлению и локализации экстремумов сигнала: в двухвитковой меандровой линии [4] (выявлен максимум напряжения, в 1,14 раза превышающий амплитуду сигнала на входе); в микрополосковой С-секции [6] (выявлен максимум напряжения, в 2 раза превышающий амплитуду сигнала на входе); в шине ПП радиоприемного устройства системы автономной навигации космического аппарата [7–9] (выявлены максимумы напряжения, в 1,2 и 2,7 раза превышающие амплитуду сигнала на входе), с применением оптимизации генетическим алгоритмом [10–12] (выявлены максимумы напряжения, превышающие установившейся уровень на 18, 36 и 38%), а также под воздействием электростатического разряда [13].

Таким образом, в данной работе предложены методика и алгоритмы для выявления и локализации экстремумов сигнала в МПЛП, на основе которых реализован программный модуль, а также выполнен широкий ряд исследований.

Разработка методики и алгоритмов выполнена в рамках выполнения базовой части государственного задания №8.9562.2017/8.9 Министерства образования и науки Российской Федерации.

Литература

1. Семенов С. С., Педан А. В., Воловиков В. С., Климов И. С. Анализ трудоемкости различных алгоритмических подходов для решения задачи коммивояжера // Системы управления, связи и безопасности. 2017. №. 1. С. 116-131. – URL: http://sccs.intelgr.com/archive/2017-01/08-Semenov.pdf (дата обращения 15.01.2018).

2. Goudos K., Kalialakis C., Mittra R. Evolutionary algorithms applied to antennas and propagation: A review of state of the art // International Journal of Antennas and Propagation. 2016. P. 1-12.

3. Газизов Р. Р., Заболоцкий А. М., Газизов Т. Т. Исследование максимума напряжения сверхкороткого импульса в микрополосковой меандровой линии при изменении ее геометрических параметров // Технологии ЭМС. 2016. № 3 (58). С. 11-17.

4. Газизов Р. Р., Заболоцкий А. М., Орлов П. Е. Локализация максимумов сигнала в многопроводных линиях передачи печатных плат с помощью системы TALGAT // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. 2015. № 4 (38). С. 147-150.

5. Заболоцкий А. М., Газизов Т.Р. Временной отклик многопроводных линий передачи. – Томск: Томский государственный университет, 2007. – 152 с.

6. Газизов Р. Р., Заболоцкий А. М., Газизов Т. Т. Исследование распространения сверхкороткого импульса в микрополосковой С-секции при изменении зазора между связанными проводниками // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. 2016. Т. 19. № 1. С. 79-82.

7. Газизов Р. Р., Заболоцкий А. М., Белоусов А. О., Газизов Т. Р. Локализация максимумов напряжения в шине печатной платы системы автономной навигации космического аппарата // Труды МАИ. 2016. № 89. – URL: https://www.mai.ru/upload/iblock/9db/gazizov_zabolotskiy_belousov_gazizov_rus.pdf (дата обращения: 20.12.2017).

8. Gazizov R. R. Zabolotsky A. M., Gazizov T. R. Ultrashort pulse maximum localization in multiconductor structures // Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines (14–16 November). – Omsk, 2016. – P. 1-5.

9. Gazizov R. R., Belousov A. O., Gazizov T. R. Influence of Ultrashort Pulse Duration on Localization of Crosstalk Peak Values in PCB of Spacecraft Autonomous Navigation System // International Siberian Conference on Control and Communications (29–30 June). – Astana, 2017. – P. 1-5.

10. Gazizov R. R., Zabolotsky A. M., Gazizov T. T., Belousov A. O. Influence of ultrashort pulse duration on its peak values localization in PCB of spacecraft autonomous navigation system // 18th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices. (Erlagol, Altai. 30 June–4 July) – Erlagol, 2017. – P. 69-74.

11. Gazizov R. R., Belousov A. O., Gazizov T. T., Gazizov T. R. Optimization of ultrashort pulse duration with usage of genetic algorithms by criteria of peak

voltage maximization in PCB Bus // Proc. of IEEE 2017 Siberian Symposium on Data Science and Engineering (12–13 April). – Novosibirsk, 2017. – P. 1-6.

12. Gazizov R. R., Ryabov R. S., Gazizov T. T. Influence of crossover and mutation coefficients on GA optimization of ultrashort pulse duration by criteria of peak voltage maximization in PCB bus // Proc. of IEEE 2017 International Multi-Conference on Engineering, Computer and Information Sciences (18–24 September). – Novosibirsk, 2017. P. 1-6.

13. Gazizov R. R. Simulation of ESD effects on PCB bus of spacecraft autonomous navigation // Proc. of IEEE 2017 International Multi-Conference on Engineering, Computer and Information Sciences (18–24 September). – Novosibirsk, 2017. P. 1-5.

References

1. Semenov S. S., Pedan A. V., Volovikov V. S., Klimov I. S. Analysis of the Labor Intensity of Various Algorithmic Approaches for Solving the Traveling Salesman Problem. *Systems of Control, Communication and Security*, 2017, no. 1, pp. 116-131. Available at: http://sccs.intelgr.com/archive/2017-01/08-Semenov.pdf (accessed 20 December 2017) (in Russian).

2. Goudos K., Kalialakis C., Mittra R. Evolutionary algorithms applied to antennas and propagation: A review of state of the art. *International Journal of Antennas and Propagation*, 2016, pp. 1-12.

3. Gazizov R. R., Zabolotsky A. M., Gazizov T. T. Issledovaniye maksimuma napryazheniya sverhkorotkogo impulsa v mikropoloskovoy meandrovoy linii pri izmenenii eye geometricheskih parametrov [Research on voltage maximum of ultrashort pulse in microstrip meander line with variation of its geometrical parameters]. *Technologii Electromagnitnoy Sovmestimosty*, 2016, vol. 58, no. 3, pp. 11-17 (in Russian).

4. Gazizov R. R., Zabolotsky A. M., Orlov P. E. Signal maximum localization in multiconductor transmission lines of printed circuit boards using TALGAT system. *Docladi Tomskogo gosudarstvennogo universiteta system upravlenita i radioelectroniki*, 2015, vol. 38, no. 4, pp. 147-150 (in Russian).

5. Zabolotsky A. M., Gazizov T. R. *Vremennoy otklik mnogoprovodnyh liniy peredachi* [Time response of multiconductor transmission lines]. Tomsk, Tomsk State University, 2007. 152 p. (in Russian).

6. Gazizov R. R. Zabolotsky A. M., Gazizov T. T. Research on ultrashort pulse propagation in microstrip C-section with variated separation between coupled conductors. *Docladi Tomskogo gosudarstvennogo universiteta system upravlenita i radioelectroniki*, 2016, vol. 19, no. 1, pp. 79-82 (in Russian).

7. Gazizov R. R., Zabolotsky A. M., Belousov A. O., Gazizov T. R. Voltage maximum localization in bus of printed circuit board of spacecraft autonomous navigation system. *Trudi MAI*, 2016, no. 89, pp. 1-9. Available at: https://www.mai.ru/upload/iblock/9db/gazizov_zabolotskiy_belousov_gazizov_rus.pdf (accessed 20 December 2017) (in Russian).

8. Gazizov R. R. Zabolotsky A. M., Gazizov T. R. Ultrashort pulse maximum localization in multiconductor structures. *2016 Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines*. Omsk. 2016, pp. 1-5.

9. Gazizov R. R., Belousov A. O., Gazizov T. R. Influence of Ultrashort Pulse Duration on Localization of Crosstalk Peak Values in PCB of Spacecraft Autonomous Navigation System. *International Siberian Conference on Control and Communications.* Astana, 2017, pp. 1-5.

10. Gazizov R. R., Zabolotsky A. M., Gazizov T. T., Belousov A. O. Influence of ultrashort pulse duration on its peak values localization in PCB of spacecraft autonomous navigation system. *18th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices*. Erlagol, 2017, pp. 69-74.

11. Gazizov R. R., Belousov A. O., Gazizov T. T., Gazizov T. R Optimization of ultrashort pulse duration with usage of genetic algorithms by criteria of peak voltage maximization in PCB Bus. *Proceedings of IEEE 2017 Siberian Symposium on Data Science and Engineering*. Novosibirsk, 2017, pp. 1-6.

12. Gazizov R. R., Ryabov R. S., Gazizov T. T. Influence of crossover and mutation coefficients on GA optimization of ultrashort pulse duration by criteria of peak voltage maximization in PCB bus. *Proceedings of IEEE 2017 International Multi-Conference on Engineering, Computer and Information Sciences*. Novosibirsk, 2017, pp 1-6.

13. Gazizov R.R. Simulation of ESD effects on PCB bus of spacecraft autonomous navigation. *Proceedings of IEEE 2017 International Multi-Conference on Engineering, Computer and Information Sciences*. Novosibirsk, 2017, pp. 1-5.

Статья поступила 26 декабря 2017 г.

Информация об авторе

Газизов Руслан Рифатович – соискатель ученой степени кандидата технических наук. Аспирант кафедры телевидения и управления. Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники. Область научных интересов: компьютерное моделирование распространения сигналов, электромагнитная совместимость, информационная безопасность. E–mail: ruslangazizow@gmail.com

Адрес: 634050, Россия, г. Томск, Ленина пр., д. 40.

Methods and Algorithms of Signal Extremum Detection in Multiconductor Transmission Lines

R. R. Gazizov

Relevance. *Rapid development and minimizing of radioelectronic equipment causes increasing density of its mounted and assembled components. At the same time, the continuous useful signal frequency growth respectively leads to increasing frequencies of interference signals. These factors show the significance of the opportunity to detect and localize the signal extremum in multiconductor transmission lines (MCTL) to provide electromagnetic compatibility (EMC), because its results may be useful for locating of sections of transmission lines with parasitic interference and radiation, which can be operatively eliminated.* ***The objective*** *of this work is to formulate methods and algorithms of signal extremum detection and locating in MCTL during designing phase.* ***Methods.*** *This work uses theoretical bases of quasi-static calculation of a response, which takes place at any conductor of MCTL.* ***Results.*** *Signal detection methods and algorithms are formulated and all their associated diagrams are presented in this work. The described algorithms are implemented as PC software, which was actively used during researches (brief results are presented in this paper).* ***Applicability.*** *Developed methods and algorithms are used in a computer simulation software for electromagnetic compatibility analysis of various printed circuit board segments, and also can be used by radio electronics manufacturers to enhance reliability of their products.*

Key words: *mathematic simulation, method, quasistatic analysis, program modulus, signal extremum, multiconductor transmission lines.*

Information about Author

Ruslan Rifatovich Gazizov – Doctoral Student. The postgraduate student of the Department of Television and Control. Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics. Field of research: computer simulation of the signal propagation, electromagnetic compatibility, information security. E-mail: ruslangazizow@gmail.com

Address: Russia, 634050, Tomsk, Lenin Prospekt, 40.

УДК 623.62

Подавление сетецентрических систем управления радиоэлектронными информационно-техническими воздействиями

Макаренко С. И.

Постановка задачи. *В настоящее время происходит переход архитектуры систем государственного и военного управления от иерархического к сетецентрическому принципу построения. Сетецентрическая система управления является распределённой системой, в которой ее базовые элементы объединены в единое информационное пространство. Такое объединение делает неэффективными существующие способы дестабилизирующего воздействия, ориентированные на подавление или поражение отдельных элементов. В связи с этим требуется предложить новый подход к подавлению распределенных сетецентрических систем управления.* ***Целью работы*** *является формирование общего подхода к подавлению телекоммуникационных систем как базового элемента информационной подсистемы сетецентрической системы управления, а также формирование конкретных предложений по способам такого подавления на основе существующих технических средств.* ***Результат и его новизна.*** *В статье предложены радиоэлектронные информационно-технические воздействия как эволюционное развитие существующих способов радиоэлектронного подавления. Данные воздействия осуществляют подавление сетецентрической системы управления за счет нарушения функционирования протоколов множественного доступа, протоколов маршрутизации и протоколов обеспечения качества обслуживания трафика в телекоммуникационных системах. Ориентированность на нарушение протоколов функционирования канального, сетевого и транспортного уровня отличает предложенные воздействия от существующих способов радиоэлектронного подавления, которые в большинстве ориентированы на подавление отдельных каналов и сетей радиосвязи.* ***Практическая значимость.*** *Предложенные в статье способы радиоэлектронного информационно-технического воздействия могут быть использованы для эффективного нарушения функционирования сетецентрических систем. Кроме того, эти воздействия могут использоваться для тестирования устойчивости собственных сетецентрических систем управления к подобным воздействиям со стороны потенциального противника.*

Ключевые слова*: сетецентрическая система управления, радиоэлектронная борьба, радиоэлектронное подавление, информационное противоборство, информационно-техническое воздействие, телекоммуникационная система, сеть связи.*

Актуальность

В настоящее время происходит переход архитектуры систем государственного и военного управления от иерархического к сетецентрическому принципу построения. Сетецентрическая система управления является распределённой системой, в которой ее базовые элементы объединяются в единое информационное пространство. Объединение элементов в единое информационное пространство повышает возможности информационного взаимодействия

Библиографическая ссылка на статью:
Макаренко С. И. Подавление сетецентрических систем управления радиоэлектронными информационно-техническими воздействиями // Системы управления, связи и безопасности. 2017. № 4. С. 15-59. URL: http://sccs.intelgr.com/archive/2017-04/02-Makarenko.pdf

Reference for citation:
Makarenko S. I. Suppression of a Net-Centric Control System with Radio Cyber Attacks. *Systems of Control, Communication and Security*, 2017, no. 3, pp. 15-59. Available at: http://sccs.intelgr.com/archive/2017-04/02-Makarenko.pdf (in Russian).

всех компонентов системы управления. Одновременно с этим, повышение сетевой связности элементов сетецентрической системы управления делает неэффективными существующие способы дестабилизирующих воздействий, основанные на применении средств радиоэлектронного подавления (РЭП), средств функционального поражения электромагнитным излучением (ФП ЭМИ) и информационно-технических воздействий (ИТВ). Это происходит из-за того, что данные способы ориентированы, в основном на нарушение процессов передачи данных в иерархических системах управления и неэффективны при воздействии на высокосвязную сетевую среду единого информационного пространства сетецентрической системы. В едином информационном пространстве для передачи информации возможно использовать множество путей, при этом нарушение функционирования отдельных линий или подсетей радиосвязи не будет являться критичным для нарушения управления в сетецентрической системе.

Указанные факторы определяют актуальность разработки новых способов дестабилизирующих воздействий – *радиоэлектронных информационно-технических воздействий* (РЭ ИТВ). Предполагается, что они будут воздействовать на процессы передачи информации путем нарушения функционирования сетевых протоколов единого информационного пространства. При этом «точками входа» РЭ ИТВ в сетецентрическую систему управления будут являться радиолинии и радиоканалы в составе сети связи специального назначения, которая составляет техническую основу единого информационного пространства.

Целью статьи является разработка общего подхода к подавлению сетецентрических систем управления, а также формирование конкретных предложений по способам РЭ ИТВ на основе существующих технических средств РЭП. В основу представленного подхода положено обобщение научных результатов автора, полученных им в процессе проведения исследований, связанных с развитием систем РЭП.

Ввиду объемности статьи, она была декомпозирована на следующие подпункты.

1. Сетецентрическая система управления как объект подавления.
   1.1. Основные особенности сетецентрической системы управления.
   1.2. Сетецентрическая среда как основа информационной подсистемы сетецентрической системы управления.
2. Анализ основных уязвимостей сетецентрической системы управления и перспективные возможности ассиметричного противодействия ей.
   2.1. Уязвимости сетецентрической системы управления, обусловленные высокой информационной зависимостью всех ее элементов.
   2.2. Уязвимости сетецентрической системы управления, обусловленные использованием в ней двойных информационных технологий.
   2.3. Возможности ассиметричного противодействия сетецентрической системе управления.
3. Предлагаемые направления разработки новых способов подавления телекоммуникационных систем (ТКС), являющихся составными частями

сети связи специального назначения сетецентрической системы управления.

3.1. Актуальность разработки новых способов нарушения процессов передачи информации в сети связи специального назначения в интересах противодействия сетецентрической системе управления.

3.2. Обоснование целесообразности разработки новых способов воздействия на объекты и процессы телекоммуникационных систем в составе сети связи специального назначения на сетевом и транспортном уровнях модели OSI.

4. Предложения по реализации новых способов РЭ ИТВ для подавления ТКС, являющихся составными частями сети связи специального назначения.

4.1. Способы РЭ ИТВ, ориентированные на подавление отдельных сетей радиосвязи множественного доступа на канальном уровне ТКС.

4.2. Способы РЭ ИТВ, ориентированные на нарушение функционирования протоколов маршрутизации на сетевом уровне ТКС.

4.3. Способы РЭ ИТВ, ориентированные на нарушение функционирования протоколов обеспечения качества обслуживания на транспортном уровне ТКС.

1. Сетецентрическая система управления как объект подавления

1.1. Основные особенности сетецентрической системы управления

Анализ концепции сетецентрического управления, выполненный в работе автора [1], показывает, что ее основная идея лежит в области изменения принципов управления. Точнее говоря, это новый способ организации информационного обеспечения процессов управления как реальный инструмент повышения эффективности сил и средств за счет синергетического эффекта.

При иерархической системе управления в ходе взаимодействия между двумя одноранговыми элементами в работу включается вся иерархическая цепочка, вплоть до общего для обоих элементов лица, принимающего решение (ЛПР).

Сетевая организация допускает непосредственное взаимодействие двух одноранговых элементов. В этом случае, потенциальная эффективность сети линейно увеличивается с ростом числа ее элементов и экспоненциально – с ростом числа связей между ними. Однако при внедрении сетевой системы управления иерархическая структура не упраздняется, а лишь добавляются новые связи между одноранговыми элементами. Эти связи призваны повысить эффективность информационного обмена внутри системы, но не заменить собой существующую иерархическую систему управления. Ускорение циркуляции информации в результате внедрения информационных технологий создало предпосылки для организации управления более сложными структурами, включающими в себя элементы, как классических иерархий, так и сетей. Введение в ор-

ганизационную структуру системы управления сетевых элементов позволяет усилить взаимодействие между отдельными ее звеньями и сделать их более информационно-насыщенными. Ранее это было невозможно, поскольку сложность и запутанность таких организационных структур могли только замедлить, а то и вовсе парализовать процесс управления [2].

Существующий подход к структурному построению систем государственного и военного управления, в основном, основывается на использовании жестких иерархических структурах. В такой иерархической структуре отдельные, и в основном автономные объекты управления, объединены в жестко подчиненную структуру в интересах выполнения отдельной задачи. Такому принципу комплексирования свойственны формальные и бюрократические барьеры для прохождения информации по всем подразделениям при выполнении задач органов управления высшего уровня. В иерархических системах управления зачастую используются штатные или системно-зависимые компоненты пунктов управления (ПУ), которые генерируют данные на основе независимых стратегий обработки информации в интересах информационного обеспечения конкретного вышестоящего ПУ, построенного по иерархическому принципу и, как правило, не имеющего горизонтальной интеграции с другими пунктами управления. Информационная интеграция нижестоящих ПУ осуществляется в вышестоящим ПУ. Результатом этого является то, что иерархические системы управления не обеспечивают полноценных горизонтальных связей, что уменьшает их потенциальную эффективность. Таким системам управления свойственны жесткие механизмы координации действий подчиненных сил и средств, а содержание, скорость доставки, форматы и качество информации, в основном, определяются процессами выполнения формальных требований управления. Такой подход создает ряд неизбежных социальных и технических барьеров циркуляции информационных потоков, которые препятствуют интеграции объектов системы управления на тактическом уровне и, в конечном итоге, снижают общую эффективность действий управляемых объектов. Предполагается, что если объекты и ПУ будут интегрированы в единое информационное пространство и будут полностью использовать доступные информационные ресурсы, то возможности, которые появятся в результате этого, значительно повысят существующую эффективность применения современных систем управления [1].

В работе [3] рядом американских экспертов дается следующее определение категории «сетецентричности».

Сетецентричность – характерное свойство системы, включающей в себя различные компоненты: инфраструктуру, платформы, подсистемы, процессы и людей по устойчивому глобально-взаимосвязанному информационно-сетевому взаимодействию, при котором информация для ее совместного использования предоставляются компонентам системы своевременно и бесшовно [3].

Проведенный в работах [1, 3] анализ использования принципа сетецентричности к построению систем управления войсками и оружием позволил выделить основные свойства сетецентрических систем управления:

- как правило, под сетецентричностью понимается принцип организации систем управления, позволяющий реализовать режим высокой осведомлённости о складывающейся ситуации в окружающей среде благодаря формированию и поддержанию целостного и единого информационного пространства, а также включения в процесс непрерывной актуализации информации, получаемой от как можно большего числа источников первичной информации [4];
- для сетецентрической системы управления при формировании решений и управляющих воздействий характерно использование всей доступной информации [5];
- для сетецентрических систем управления характерны принципы открытости, самоорганизации, слабой иерархии в контуре принятия решений, а также способность формировать цели внутри себя на основе высокой осведомлённости о складывающейся ситуации в окружающей среде [6].

При этом сетецентрическая система управления состоит из следующих основных элементов, объединенных в единое информационное пространство (рис. 1) [3]:

- сил и средств наблюдения, которые обеспечивают непрерывный поток актуальной информации о складывающейся обстановке, об эффектах действия собственных сил и средств, а также сил и средств других сторон;
- пунктов управления, в которых производиться комплексирование информации, поступающей от сил и средств наблюдения, ее обработка, и выработка на ее основе стратегии действий ЛПР;
- управляемых сил и средств, реализующих выработанную стратегию действий.

Таким образом, обобщая вышесказанное можно дать следующее определение сетецентрической системе управления.

Сетецентрическая система управления – система управления распределённой системой, в которой ее базовые элементы, такие как силы и средства наблюдения, ПУ и ЛПР, а также управляемые силы и средства объединены в единое информационное пространство. При этом такая система управления характеризуется принципами открытости, самоорганизации, слабой иерархии в контуре принятия решений и способностью порождать цели внутри себя.

Фактически, сетецентрические системы управления – это матричные информационно-управляющие системы, в основе которых лежит глобальная информационная взаимосвязь ее элементов. При этом для такой системы характерна не только вертикальная интеграция между силами и средствами наблюдения, ПУ и управляемыми силами и средствами, но и широко развитая сеть горизонтальных связей на одном и том же уровне управления между разнород-

ными элементами системы, которые являются источниками и потребителями циркулирующей в системе информации [7].

Рис. 1. Общая структура сетецентрической системы управления

В информационной подсистеме сетецентрических систем, гетерогенной по своей сути, эффективно увязаны [7]:

- различные форматы и типы циркулирующей информации;
- разнородные источники и потребители информации;
- различные способы первичной, вторичной и третичной обработки информации.

Как правило, сетецентрические свойства системы реализуются через базовый функционал матричных информационно-управляющих систем, который включает в себя следующие основные составляющие [7]:

- формирование единого координатно-временного поля и привязка к нему всех элементов системы, а также событий и информации, относящейся к ним;
- сбор и комплексирование разнородной информации (в едином координатно-временном поле), полученной от различных источников с перекрёстным уточнением и добавлением;
- анализ и прогноз развития обстановки на стратегическом, оперативном и тактическом уровнях;
- формирование единого информационно-управляющего поля;
- формирование многокритериальной и многоцелевой среды поддержки принятия решений;
- передача информации и управляющих команд управляемым силам и средствам;

- документирование всех событий системы, команд управления и реакции внешней среды.

Отличительной чертой сетецентрических информационно-управляющих систем специального назначения является их глобальность, как в пространственном, так и в функциональном плане. Они функционируют в режиме реального времени и в асинхронном, относительно потока событий, режиме работы [7].

Современные достижения в области информационных технологий и внедрение сетецентрических принципов существенным образом повышают возможности взаимодействия всех компонентов системы государственного и военного управления по обмену информацией. Это ведет к повышению эффективности действий системы по показателю оперативности управления за счет повышения скорости реализации цикла управления (цикла Бойда): «наблюдение – ориентация – решение – действие» [8]. Повышение возможностей элементов системы по информационному взаимодействию также позволяет повысить непрерывность и устойчивость управления. Кроме того, возможности по интенсивному информационному взаимодействию элементов сетецентрической системы управления позволяет обеспечить совместно-распределенную выработку единого замысла и принятие решения. Таким образом, внедрение сетецентрической концепции позволяет ЛПР:

- транслировать собственное понимание и видение вариантов решения задач своим подчиненным для более качественного их уяснения;
- оценивать возможные варианты действий;
- вырабатывать критерии оценки возможные варианты действий;
- принимать решения о своих дальнейших действиях;
- с большей гибкостью и эффективностью реализовывать принятые решения путем многовариантного использования подчиненных сил и средств.

Таким образом, в рамках сетецентрической концепции повышение качества информационного взаимодействия между элементами направлено на повышение плотности связности элементов, интенсивности информационного обмена, осведомленности и взаимопонимания между всеми ЛПР, в интересах повышения качества принятия решений и координации действий управляемых сил и средств. В конечном итоге это ведет к преимуществу сетецентрической системы управления в оперативности, непрерывности и устойчивости управления по сравнению с «традиционными» иерархическими системами.

Переход от иерархической структуры управления к сетецентрической требует преодоления внутренних и внешних организационных и технических барьеров, стоящих на пути повышения качества информационного обмена и синергического применения возможностей систем государственного и военного управления. Такое изменение должно быть поддержано гарантией того, что компоненты этой системы управления будут иметь технические возможности по использованию информационных сетей, независимо от их местоположения или организационной принадлежности [3].

По мнению ряда экспертов [3], к основным признакам сетевых организаций можно отнести следующее [3, 9]:

- наличие единой стратегической цели и отсутствие четкого планирования для нижестоящих уровней управления;
- отсутствие четкой иерархической структуры подчиненности ЛПР, а зачастую и отсутствие центрального руководства;
- децентрализация и параллельность работы ЛПР в различных организациях системы управления;
- многоуровневая структура с разветвленной и сложной системой связей и «вложенных» сообществ исполнителей;
- координация деятельности ЛПР, ПУ и исполнительных сил и средств с использованием возможностей глобальных информационных сетей;
- высокая динамика самоорганизации системы, за счет хорошо налаженного обмена информацией между ее элементами и способности к быстрой их реорганизации в случае необходимости.

Приведенные выше признаки являются характерными для сетевой формы организации, получившие при информатизации общества новый импульс для развития. Эффективность таких сетевых организаций напрямую зависит от интенсивности и качества обмена информацией, при этом данные характеристики должны быть гораздо выше, чем в организациях, построенных на иерархическом принципе [3, 9].

Таким образом, сетецентрические возможности являются эффектом от взаимодействия ЛПР и управляемых сил и средств в едином информационном пространстве. Сетецентрическая система управления получает преимущества за счет того, что может быстрее получать и более эффективно обрабатывать информацию в процессе принятия решений, а также использовать свои информационные возможности для решения поставленных задач более эффективно, целенаправленно и гибко. Это позволяет системам государственного и военного управления, построенным по сетецентрическому принципу, при выполнении задач действовать более эффективно по показателям оперативности, непрерывности и устойчивости управления [3].

1.2. Сетецентрическая среда как основа информационной подсистемы сетецентрической системы управления

Все компоненты сетецентрической системы управления являются информационно-зависимыми и функционируют в так называемой «сетецентрической среде».

Концепция сетецентрической среды описывает возможные способы взаимодействия сил и средств в информационно-сетевой среде. В рамках этой концепции подразумевается, что включение в сеть всех компонентов системы управления создает возможность для беспрецедентного совместного использования информации при взаимодействии, введения адаптивных организационных структур и повышения степени единства действий путем синхронизации и интеграции компонентов сил и средств, в том числе и на самых низших уров-

нях. В данной концепции термины «сеть» и «сетевой» используются как синонимы понятия «сетецентричности» [3].

Сетецентрическая среда – это область, включающая человеческие и технические ресурсы, а также технологии, обеспечивающие эффективное их взаимодействие, функционирующая в интересах ее абонентов и обеспечивающая пользователей необходимой им информацией в понятной им форме и с заданной достоверностью. Эта же среда должна обеспечивать свойства информационной безопасности (конфиденциальности, целостности, доступности) в условиях дестабилизирующих воздействий [3].

Сетецентрическая среда, оперирующая возможностями и условиями (атрибутами), может рассматриваться в виде модели, состоящей из двух обобщенных областей (рис. 2) [3]:

1) области знаний;
2) технической области.

Область знаний включает в себя [3]:

- когнитивную область;
- социальную область.

Техническая область включает в себя [3]:

- физическую область;
- информационную область.

Каждая из областей сетецентрической среды имеет важное самостоятельное значение, но эффективность их совместного функционирования достигается синергией (однонаправленным действием) всех этих элементов. При этом ни одна из этих составных частей сетецентрической среды не может существовать изолированно, так как существуют зависимости между областями, между возможностями внутри самих областей и возможностями в рамках областей. Общие возможности в рамках сетецентрической среды шире, чем просто сумма возможностей области знаний и технической области. Эти две области интегрированы между собой для более полного использования их эмерджентного потенциала [3].

Рассмотрим составные области сетецентрической среды на основе анализа работ [1, 3] более подробно.

Физическая область – это традиционная область размещения ПУ, сил и средств наблюдения, а также управляемых сил и средств. Кроме того, эта область включает в себя физические средства информационно-вычислительных сетей, а также средства сбора, передачи, хранения и обработки информации. Традиционные дестабилизирующие воздействия (такие как средства огневого поражения, средства РЭП и ФП ЭМИ) воздействуют на элементы именно этой области. В сетецентрической системе управления физическую область следует рассматривать как некоторую предельную реально существующую систему, при этом основная часть возможностей и проявлений этой системы управления расположена в других областях, прежде всего, в информационной. Однако достигаемые эффекты в этих областей проецируются обратно на физическую область.

В многослойной модели сетецентрической среды физическая область соответствует *физическому слою*, который содержит все физически реальные средства сбора, передачи, хранения и обработки информации, а также ЛПР, средства поддержки принятия решений и управляемые силы и средства.

В сетецентрических системах государственного и военного управления технической основой, физически связывающей все элементы, включенные в сетецентрическую среду, является *сеть связи специального назначения*.

Сеть связи специального назначения (СС СН) – сеть связи, предназначенная для нужд органов государственной власти, нужд обороны страны, безопасности государства и обеспечения правопорядка [25].

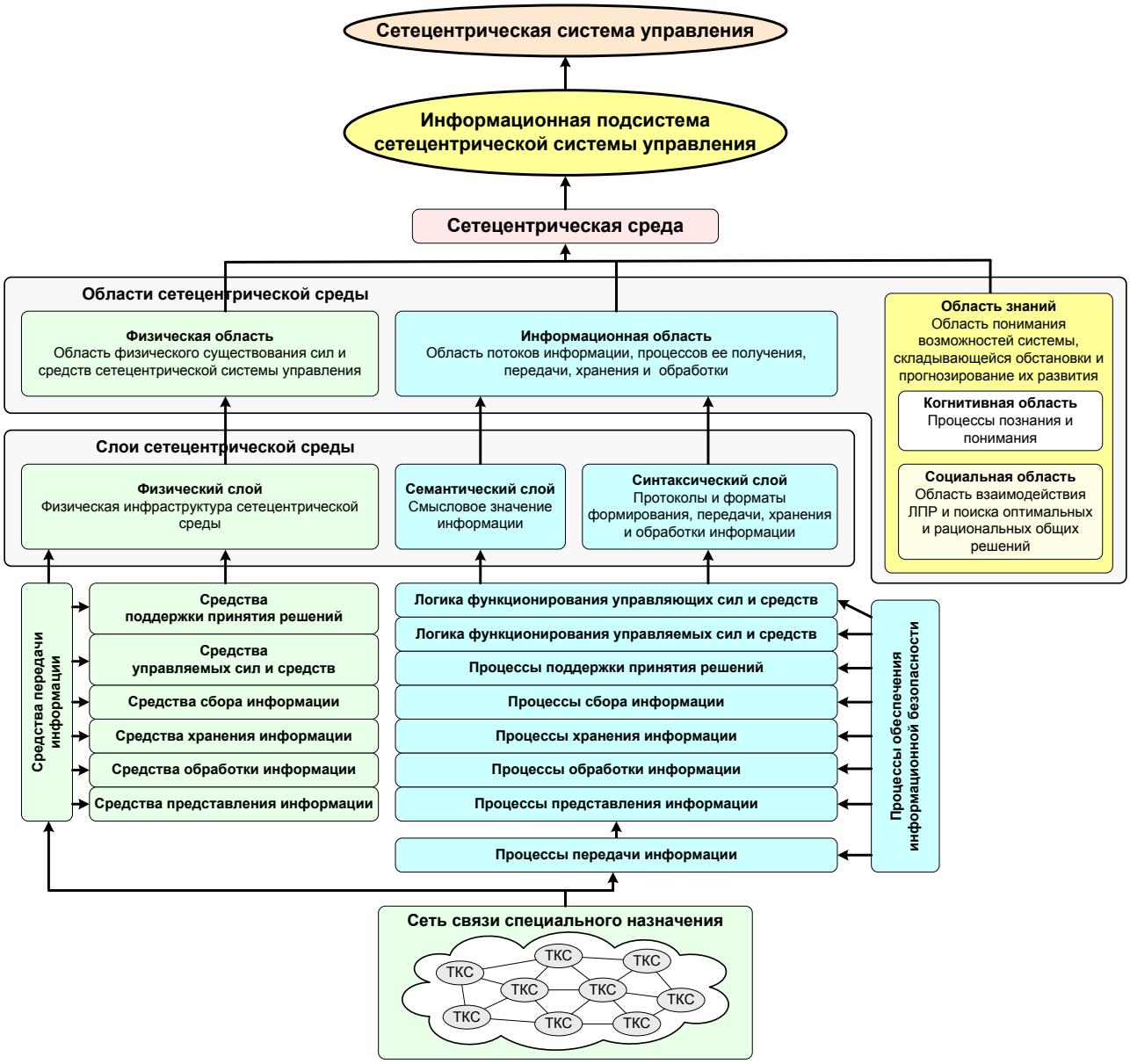

Рис. 2. Структура сетецентрической среды

Информационная область – это область, где создаётся, добывается, обрабатывается и распределяется информация. Эта область включает в себя системы сбора и передачи информации, модели хранения и обработки информации и т. д. Это главная среда сетецентрической системы управления, которая выдели-

лась в самостоятельную категорию – *инфосферу*. Информационная область в сетецентрической системе управления связывает между собой все ее элементы и является ключевой. При этом преимущества или проблемы в накоплении, передаче, обработке и обеспечении безопасности информации приобретают в этой области решающее значение.

В состав информационной области входит два слоя:

1) *семантический слой*, который содержит смысловое значение информации;
2) *синтаксический слой*, который содержит протоколы, форматы и правила формирования, передачи, хранения и обработки информации;

Когнитивная область. Когнитивной областью является сознание ЛПР. Именно в когнитивной области располагаются такие явления, как психика ЛПР, доктрина, тактика, и процессы осознания обстановки. Таким образом, когнитивная область – это сфера сознания, и прежде всего, процессы познания и осознания.

Социальная область. Социальная область представляет собой поле взаимодействия ЛПР. Здесь преобладают исторические, культурные, религиозные ценности, психологические установки и этнические особенности. В социальной области развёртываются отношения между людьми, выстраиваются естественные иерархии в группах – лидеры, ведомые, пассивные массы и т. д., складываются системы групповых отношений.

Функционирование в сетецентрической среде в значительной степени зависит от эффективности функционирования каждой из областей, а также от качества взаимосвязей между областями. При этом *область знаний* включает понимание индивидуальных и коллективных возможностей, а также принятие решений, появляющиеся в результате сетецентрического принципа взаимодействия элементов системы управления.

Сетецентрическая среда обеспечивает коллективное распределение и обработку информации. Создание сетецентрической среды предполагает развертывание мощной информационной инфраструктуры, которая обеспечивает:

- сбор информации с разнородных средств наблюдения в интересах ее последующего комплексирования;
- высокопроизводительную обработку информации в реальном времени с отображением реальной ситуации с высокой степенью достоверности;
- обеспечение непрерывного накопления и хранения информации, а также доступ к этим информационным базам ЛПР, всех уровней управления;
- единое информационное пространство для информационного обмена всех элементов сетецентрической системы управления, а также их непрерывный и глобальный доступ к информационным ресурсам системы;
- устойчивость, непрерывность и оперативность управления распределенными силами и средствами, осуществляющими взаимоувязанный комплекс операций в интересах достижения единой цели;

- обеспечение встроенных способностей к самозащите и противодействию воздействию широкого спектра средств и способов преднамеренного дестабилизирующего воздействия.

2. Анализ основных уязвимостей сетецентрической системы управления и перспективных возможностей ассиметричного воздействия на нее

2.1. Уязвимости сетецентрической системы управления, обусловленные высокой информационной зависимостью всех ее элементов

Анализ, представленный в работе [1], показывает, что массовое объединение территориально-распределенных ПУ различного уровня иерархии и разнородных управляемых сил и средств на основе единого информационного пространства может породить проблемы, как с безопасностью информации, так и со сложностью ее формирования, передачей и обработкой. Чрезмерная опора на новые информационные технологии может привести к возникновению новых уязвимостей, которые, в свою очередь, могут быть использованы для разработки новых способов дестабилизирующих воздействий на сетецентрические системы управления.

Анализ и обобщение опыта использования сетецентрических систем для управления войсками и оружием, представленный в работе [1], выявил ряд их проблемных аспектов. К числу главных из них относятся [1, 10-12]:

- высокая сложность сетецентрических систем управления, многокритериальность управления, необходимость управления и координации разнородных сил и средств, зачастую имеющих различные локальные цели и функции;
- чрезмерная информационная зависимость всех элементов сетецентрической системы;
- учет изменения среды функционирования в сетецентрической системе управления зависит от способности сил и средств наблюдения генерировать новую информацию, а также от быстродействия подсистемы информационного обмена;
- резкое ускорение цикла управления, при этом предельная скорость этого цикла определяется возможностями по обработки информации всеми элементами сетецентрической системы управления;
- недостаточно проработанные методы эффективной и быстрой автоматической обработки больших информационных массивов, а также информации о быстропротекающих процессах на основе технологий «Больших Данных»;
- многократная обработка информации о среде функционирования, ее многоуровневая фильтрация и автоматическое сопоставление с ранее известными фактами, а также ограниченные возможности представления всего массива информации через человеко-машинные интерфейсы,

ведут к упрощенному видению обстановки ЛПР и, в конечном итоге, к ее некорректной оценке;
- переоценка способности человека адекватно перерабатывать большой объем противоречивой информации, а также принимать решения в условиях информационной перегрузки;
- возрастание в сетецентрической системе управления роли информационной подсистемы, ее способности поддерживать устойчивый информационный обмен между элементами системы, гарантировать доступ к информационным ресурсам системы, с заданной своевременностью и достоверностью осуществлять передачу информации, при этом обеспечивая требуемый уровень ее безопасности;
- уязвимость технических средств сетецентрической системы управления к преднамеренным дестабилизирующим воздействиям, в первую очередь к средствам и способам РЭП и ИТВ.

Таким образом, сетецентрические системы управления содержат в себе уязвимости, которые в основном связаны с процессами сбора, передачи и обработки информации, а также с обеспечением информационной безопасности. Анализ опыта применения сетецентрических систем управления для управления войсками и оружием, выполненный сотрудниками корпорации RAND, показал, что по мере того как сетецентрические системы становятся все более эффективными в области управления, они становятся все более уязвимыми к контратакам на свою информационную инфраструктуру [10, 11].

2.2. Уязвимости сетецентрической системы управления, обусловленные использованием в ней двойных информационных технологий

Вероятность эффективного противодействия сетецентрическим системам управления повышается за счет широкого использования для создания технических средств систем специального назначения, в том числе и сетецентрических систем государственного и военного управления, так называемых двойных технологий, и, особенно, относящихся к информационным технологиям.

Как показал анализ, проведенный в работах [13-15], в последнее время большинство прорывных технологий, используемых в системах специального назначения ведущих зарубежных стран, являются коммерческими разработками, а не результатами специальных исследований. К числу основных факторов, определяющих широкое внедрение двойных технологий, можно отнести [13]:
- высокую стоимость специальных разработок, при этом их функционал, как правило, дублирует коммерческие продукты;
- невозможность столь же масштабного, как в коммерческом секторе, привлечения средств и специалистов к прорывным разработкам и исследованиям;
- трудности в использовании зарубежных прорывных разработок и привлечения иностранных специалистов к исследованиям;

- необходимость снижения стоимости систем специального назначения без потери их функциональности.

Однако эффективность использования двойных и коммерческих технологий создает ряд серьезных проблем, поскольку при этом повышается уязвимость конечных систем [13, 14].

Во-первых, использование двойных технологий в системах специального назначения означает, что они также применяются и в коммерческой сфере. При этом документация и модернизированные технические образцы в коммерческие сфере, как правило, становятся доступны раньше, чем они будут внедрены в производство систем специального назначения. Таким образом, существует возможность заблаговременного получения доступа к новейшим технологиям создаваемых специальных систем.

Во-вторых, использование двойных технологий ведет к тому, что коммерческие системы и системы специального назначения обладают практически идентичными структурой, свойствами, а также характеристиками. Это создает следующее противоречие. С одной стороны, коммерческие системы разрабатываются для эксплуатации в гораздо более благоприятных условиях, чем специальные системы. С другой – заблаговременный доступ к этим двойным технологиям позволяет в сжатые сроки разрабатывать актуальные способы противодействия новым системам специального назначения.

Все вышеуказанное в полной мере относится к сетецентрической системе государственного и военного управления. Как было указано ранее, наиболее критическим элементом такой системы управления является информационная подсистема. И именно в этой подсистеме наблюдается широкое заимствование технологий сбора, хранения, передачи и обработки информации из коммерческой сферы. Определенное запаздывание в конце XX века в использовании результатов информационно-технической революции в системах специального назначения привело к тому, что разработчики данных систем стали активно стали использовать готовые информационные технологии из коммерческой сферы с целью закрыть имеющиеся «информационные пробелы». Как показано в работах М.А. Шнепс-Шнеппе [16-20], В.А. Нетеса [21], Н.А. Соколова [22], а также в предшествующей работе автора [14], непродуманное использование в информационной подсистеме сетецентрической системы управления коммерческих технологий связи может существенно снизить эффективность данной подсистемы, а также стать причиной ее низкой устойчивости и высокой уязвимости.

2.3. Возможности ассиметричного воздействия на сетецентрическую систему управления

В настоящее время в ведущих зарубежных странах резко актуализированы исследования, посвященные поиску возможностей асимметричного противодействия современным высокотехнологическим системам сетецентрического управления [1].

Интересно то, что поиск асимметричных действий актуален как для государств, занимающих позицию бесспорных технологических лидеров, так и для менее технологически развитых государств. Это связано с необходимостью превентивного поиска мер, направленных на устранение уязвимостей систем сетецентрического управления и воспрепятствованию использования против них ассиметричных способов противоборства. Отправной точкой пристального внимания к асимметричным действиям служит понимание того обстоятельства, что, с одной стороны, сетецентрическая система управления дает существенные преимущества, а, с другой, – в ней имеются вышеуказанные уязвимости, которые не позволяют полностью гарантировать устойчивость управления в условиях преднамеренных дестабилизирующих воздействий.

В работе автора [1] был проведен анализ возможностей по асимметричному противодействию по отношению к сетецентрической системе управления на примере систем управления войсками и оружием. Дадим следующие определения.

Асимметричные действия – реализация собственной стратегии действий, отличных от реализуемых или навязываемых противником, которая позволяет добиться преимуществ, использовать уязвимые места противника, завоевать инициативу и достичь большей свободы собственных действий [13].

Асимметричные действия – уход одной из сторон (стороны, не имеющей достаточного количества ресурсов – производственных, интеллектуальных, научных, технологических и т. п.) от прямого противоборства к концентрации усилий в областях, где удалось выявить уязвимость и слабость противника [23].

В технической сфере асимметричное противодействие может выражаться в выводе из строя дорогостоящих и наиболее уязвимых подсистем при помощи дешевых и низко затратных средств. Ассиметричное противодействие является эффективным способом нарушения функционирования сетецентрической системы управления. При этом в работе [10] указывается, что к одному из основных способов ассиметричного противодействия относится информационное противоборство во всех его проявлениях.

Анализ, проведенный в работах А.В. Копылова [11, 12], позволил сформировать следующие критические аспекты сетецентрических систем управления, делающих возможным ассиметричное противодействие им за счет использования средств РЭП и ИТВ:

- применение средств РЭП, средств ФП ЭМИ и устройств генерации направленной энергии против средств физического слоя информационной подсистемы с целью их поражения или временного нарушения работоспособности;
- применение ИТВ против синтаксического слоя информационной подсистемы с целью нарушения корректности процессов формирования, хранения, передачи, обработки и воспроизведения информации, логики функционирования АСУ и т. д.;
- применение ИТВ против семантического слоя информационной подсистемы с целью искажения или уничтожения информации, циркули-

рующей в сетецентрической системе управления, или блокирование доступа к ней.

В работе [1] показано что, против элементов физической инфраструктуры сетецентрической среды применяются, как правило, средства огневого поражения. Более оправданным по критерию эффективность/затраты является применение средств РЭП и ФП ЭМИ, которые могут обеспечить блокирование значительного пространственного сегмента средств сетецентрической системы управления при определенных энергетических затратах, но без существенных затрат материальных средств (таких как оружие и боеприпасы).

Еще более эффективным по вышеуказанному критерию является применение ИТВ, ориентированных на синтаксический или семантический слой информационной подсистемы сетецентрической среды [24].

Наиболее эффективными являются ИТВ, ориентированные на семантический слой. Для этого требуется внедрение ложных информационных ресурсов в сетецентрическую среду или доступ к семантике циркулирующих в ней информационных потоков. Данные ИТВ могут быть направлены на изменение информационных ресурсов, важных для проведения операции, ввод ложной информации или ложных источников информации, которые сформируют некорректное видение обстановки и, в конечном итоге, навяжут сетецентрической систем управления неверную стратегию действий или будут способствовать бескомпроматному перехвату управления ее силами и средствами. Однако в случае корректного функционирования средств обеспечения информационной безопасности в сетецентрической среде, проведение ИТВ на семантический слой является затруднительным. В этом случае могут быть использованы ИТВ, ориентированные на синтаксический слой. При этом наиболее простым вариантом таких ИТВ является нарушение именно процессов передачи информации. Значимое нарушение этих процессов приведет к критическому снижению доступности информационных ресурсов сетецентрической системы, снижению уровня осведомлённости о складывающейся ситуации, увеличению длительности цикла управления, и, в конечном итоге, – к снижению качества управления по показателям оперативности, непрерывности и устойчивости [24].

В качестве источников ИТВ могут быть использованы имеющиеся средства РЭП, а в качестве места приложения данного воздействия – радиосети и радиоканалы в составе сети связи, являющейся физической основой сетецентрической среды. Такие ИТВ могут быть направлены на нарушение процессов информационного обмена, блокировку доступа к критическим информационным ресурсам и разрушению связности информационной подсистемы. При этом для эффективного достижения этих целей такие ИТВ должны учитывать особенности протоколов информационного обмена, а также особенности построения и функционирования сети связи сетецентрической среды.

В значительной мере эффективному воздействию ИТВ, ориентированных на нарушение процессов информационного обмена в сетецентрической среде, способствует факт широкого использования коммерческих технологий связи в составе сетевого и транспортного уровней сетей связи. Это позволяет заблаговременно учесть в способах подобных ИТВ особенности функционирования

протоколов сетевого и транспортного уровня, а также отработать способы применения таких ИТВ на сетях связи общего пользования, использующих аналогичные протоколы, а уже потом использовать их для противодействия сетецентрическим системам государственного и военного управления.

Таким образом, по мере информационного насыщения государственных и военных сетецентрических систем управления повышается не только их эффективность, но и уязвимость. Ассиметричное противодействие сетецентрической системе управления может быть организованно путем выявление критически значимых элементов в информационной подсистеме и их вывод из строя при помощи ИТВ, ориентированных на нарушение информационного обмена. Это может вызвать каскадные и системные эффекты, совокупный ущерб от которых сопоставим с результатами применения по сетецентрической системе управления стратегического оружия.

3. Предлагаемые направления разработки новых способов подавления телекоммуникационных систем, являющихся составными частями сети связи специального назначения сетецентрической системы управления

3.1. Актуальность разработки новых способов нарушения процессов передачи информации в сети связи специального назначения в интересах противодействия сетецентрической системе управления

Анализ структуры построения сетецентрических систем управления показал, что иерархию ее физических элементов, соответствующих процессам информационного обмена, можно представить в виде схемы, представленной на рис. 3.

Информационная подсистема, основой которой является единая система связи, сетецентрических систем государственного и военного управления объединяет средства сбора, хранения, обработки и представления информации.

В соответствии с ГОСТ РВ 52216-2994 системе связи и сети связи даны следующие определения.

Система связи – часть системы управления, представляющая собой совокупность взаимоувязанных и согласованных по задачам, месту и времени действий узлов и линий связи различного назначения, развертываемых или создаваемых по единому плану для управления силами и средствами.

Сеть связи – часть системы связи, состоящая из узлов связи и соединяющих их линий связи и предназначенная для предоставления услуг связи абонентам, принадлежащим системам управления силами и средствами, находящимися в зоне ее функционирования.

При этом в Законе РФ «О связи» [25] конкретизируется категория сетей связи, предназначенных для нужд систем государственного и военного управления.

Сеть связи специального назначения – сеть связи, предназначенная для нужд органов государственной власти, нужд обороны страны, безопасности государства и обеспечения правопорядка [25].

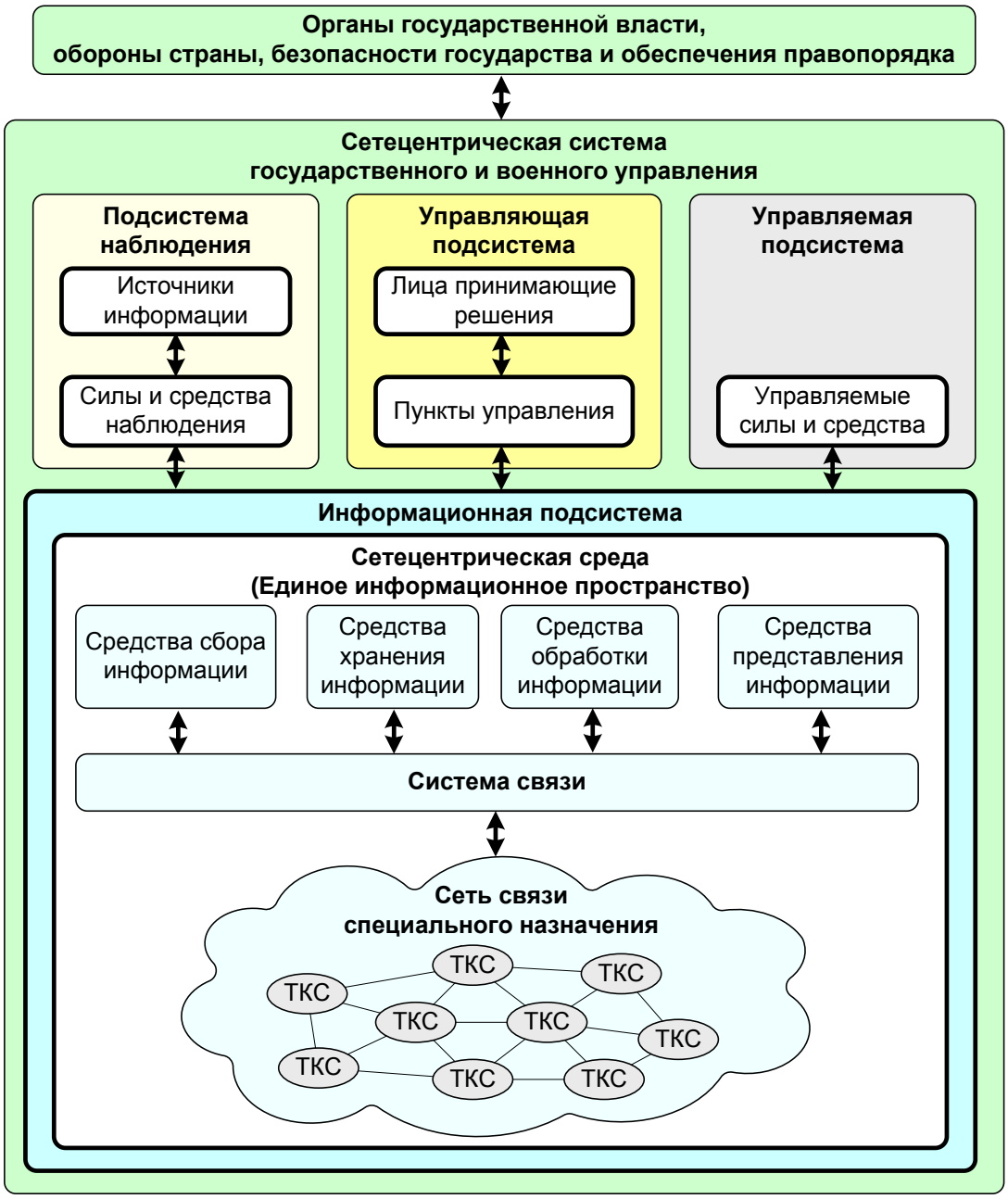

Рис. 3. Иерархия физических элементов сетецентрической системы управления, соответствующая процессам информационного обмена

Таким образом, можно сделать вывод, что технической основой информационной подсистемы сетецентрической системы государственного и военного управления является СС СН, которая состоит из узлов и линий связи. Необходимо отметить, что линии связи в составе СС СН могут быть различного рода (в самом общем случае – радиосвязи, оптико-электронной и проводной связи). При этом узлы в СС СН объединяются в области (домены) маршрутизации, которые соответствуют отдельным ТКС в составе СС СН. В свою очередь ТКС могут включать в себя линии связи различных родов (рис. 4). Еще одной осо-

бенностью построения СС СН в составе информационной подсистемы сетецентрической системы управления является то, что структура такой СС СН становится более гибкой, децентрализованной, сетевой, многоэшелонированной и, кроме того, она более не является жестко привязанной к структуре и иерархии элементов системы управления [14, 15].

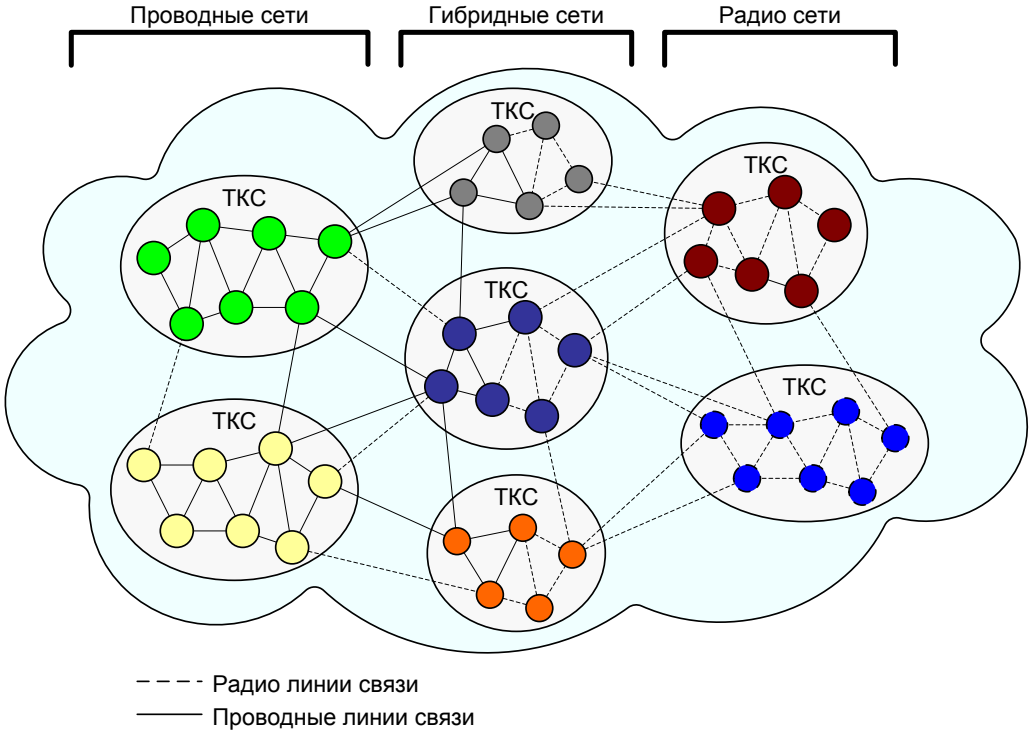

Рис. 4. Телекоммуникационные системы и линии связи различных родов в составе сети связи специального назначения

Эти особенности структурного построения СС СН существенно сужают возможности по эффективному нарушению процессов передачи информации в сетецентрической системе управления по сравнению с «традиционной» иерархической системой.

Традиционно, для нарушения процессов передачи информации против СС СН использовалось огневое поражение и радиоэлектронное поражение (средствами ФП ЭМИ) узлов сети, а также радиоэлектронное подавление линий радиосвязи.

Проведенный в работах автора [1, 24, 26, 27] анализ использования существующей «традиционной» тактики радиоэлектронного подавления и способов применения средств РЭП показал, что оно неэффективно против сетецентрических систем управления. Основанный на «традиционном» подходе к воздействию РЭП пример нарушения работы иерархической системы управления (тактической авиацией) представлен на рис. 5. В этом примере нарушение управления достигалось при воздействии средств РЭП на любом уровне иерархической системы управления, в результате блокирования прохождения информации к управляемому средству, и, как следствие, невыполнения им поставленной задачи. Однако в сетецентрической системе управления полностью подавить пути передачи управляющей информации и команд практически не-

возможно. Для нарушения работы такой сетецентрической системы (рис. 5) необходимо обеспечить радиоэлектронное подавление всех путей передачи информации или вывести из строя все ее технические средства. Фактически значимый эффект нарушения процессов передачи информации в сетецентрической системе управления может быть достигнут, если в СС СН блокируется значительный сегмент или исключается передача информации по всем каналам связи в определённом районе.

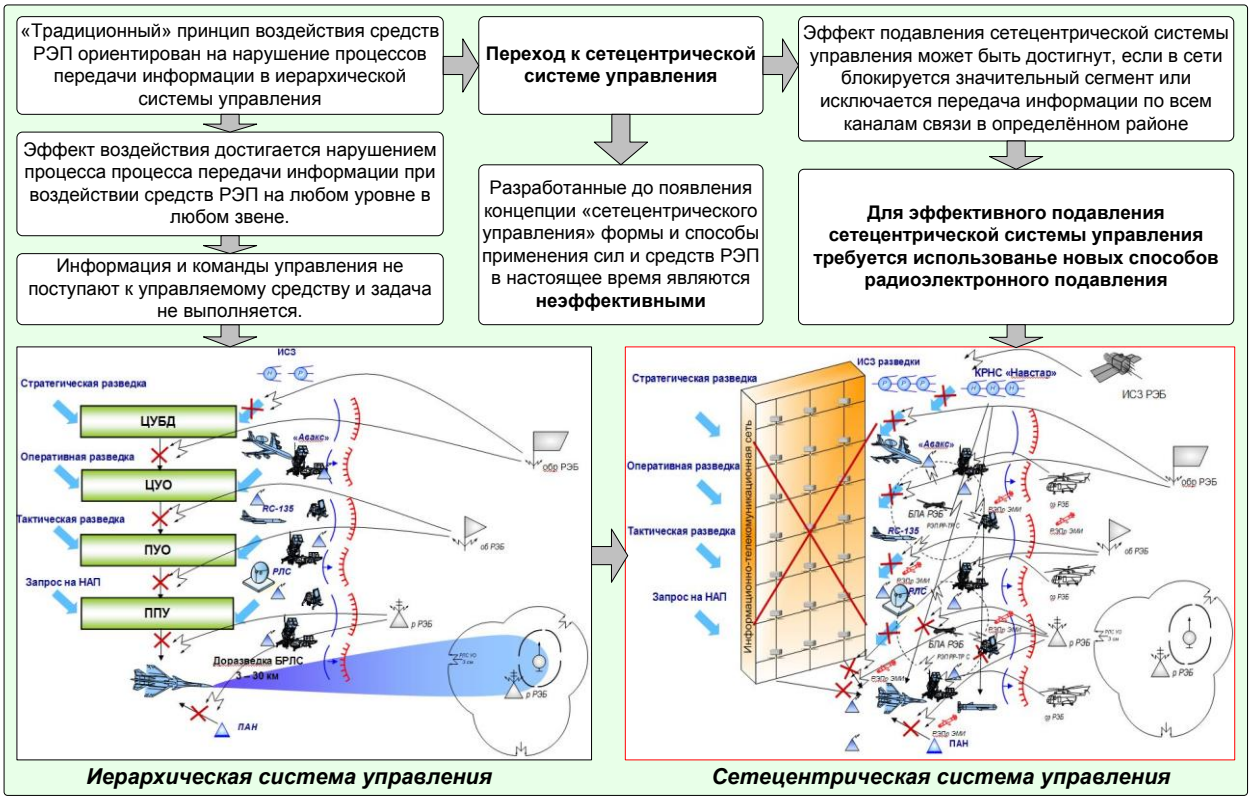

Рис. 5. Примеры нарушения процессов передачи информации путем применения средств РЭП в иерархической и сетецентрической системах управления

Еще одним способом нарушения процессов передачи информации в сетецентрической системе управления является использование ИТВ. Использование ИТВ имеет относительно недавнюю историю, однако формы и способы их применения стремительно развиваются. Как показан анализ, проведенный в работе [1], к наиболее опасным и распространенным ИТВ, ориентированным на нарушение доступности информационных ресурсов, относится удаленная сетевые атаки типа «отказ в обслуживании» – «Denial of Service» (DOS) и «Distributed Denial of Service» (DDOS). Несмотря на свою эффективность, эти атаки с высокой степенью достоверности обнаруживаются и блокируются средствами систем обнаружения вторжений (IDS – Intrusion Detection System) [28]. Кроме того, особенностью таких ИТВ является то, что они ориентированы на нарушение доступности отдельных узлов или подсетей в составе СС СН, что является эффективным для нарушения процессов передачи в низкосвязных или иерархических сетях. Однако, как показано выше, СС СН в составе сетецентри-

ческой системы управления, имея достаточно разветвленную сетевую структуру, может реконфигурировать пути передачи команд и управляющей информации, что делает такие ИТВ эффективными, только если они подавляют всю СС СН или ее значимый сегмент. В дополнении к этому отметим, что для проведения ИТВ типа «отказ в обслуживании» требуется получить доступ и внедрить субъект атаки в СС СН, что представляет существенные трудности для реальных сетей специального назначения, имеющих многоуровневые средства защиты и обеспечения безопасности.

При организации воздействия на процессы передачи информации в СС СН необходимо учитывать еще один важный факт. Воздействие на сетецентрические системы государственного и военного управления без каких-либо ограничений проводится в военное время. Однако в мирное время и в угрожаемый период такое воздействие средствами РЭП или ИТВ с высокой долей вероятности будет расценено как акт военного нападения на критическую инфраструктуру государства. В работе [1] показано, что современное невоенное противоборство между государствами, в том числе и в мирное время может вестись средствами информационного воздействия, при этом совокупность таких воздействий классифицируются как «информационная война».

Информационная война – комплексное воздействие на систему государственного и военного управления противостоящей стороны, на ее военно-политическое руководство, которое уже в мирное время приводило бы к принятию благоприятных для стороны-инициатора информационного воздействия решений, а в ходе конфликта полностью парализовало бы функционирование инфраструктуры управления противника [1, 9].

Информационная война ведется путем проведения взаимосвязанных по цели, месту и времени информационных операций.

Информационная операция – это комплекс взаимосвязанных по цели, месту и времени мероприятий, акций и воздействий, направленных на инициализацию и управление процессами манипулирования информацией, с целью достижения и удержания информационного превосходства путем воздействия на информационные процессы в информационных системах противника [1, 9].

Как показано в работе [1], воздействия средствами РЭП, а также ведение информационного противоборства путем воздействия ИТВ на критическую информационную инфраструктуру противника является составными частями информационной операции. Достигаемым эффектом информационного превосходства при нарушении процессов передачи информации является блокирование и недопущение доступа противостоящей стороны к собственных информационным ресурсам, а также существенное увеличение длительности цикла управления, и в конечном итоге – критическое снижение качества сетецентрической системы государственного и военного управления, по показателям оперативности, непрерывности и устойчивости.

Характерной особенностью информационной войны является то, что она ведется, в том числе, и в мирное время, и в угрожаемый период. Следовательно, воздействия, осуществляемые в рамках конкретной информационной операции и направленные на нарушение процессов передачи информации в сетецентри-

ческой системе государственного и военного управления, должны носить бескомпроматный характер. Использование бескомпроматных воздействий в мирное время и в угрожаемый период целесообразно в целях недопущения компрометации стороны, проводящей информационную операцию, и, соответственно, перерастания информационной войны в прямое военное противоборство.

Требуется отличать скрытность воздействия от бескомпроматности воздействия.

Скрытность воздействия – способность воздействия (преднамеренного дестабилизирующего воздействия, воздействия средством РЭП, информационно-технического воздействия и т. д.) вызвать заданные структурные и/или функциональные изменения в объекте воздействия и при этом не быть обнаруженным.

Бескомпроматность воздействия – способность воздействия (преднамеренного дестабилизирующего воздействия, воздействия средством РЭП, информационно-технического воздействия и т. д.) вызвать заданные структурные и/или функциональные изменения в объекте воздействия, при этом не обнаружить источник (субъект) воздействия и не оставить улики, его компрометирующие.

Таким образом, свойство бескомпроматности делает акцент на скрытности источника (субъекта) воздействия, а не самого воздействия.

При этом подавляющая часть современных «традиционных» средств и способов РЭП, а также широко распространенных ИТВ типа DOS/DDOS атак не способны эффективно и бескомпроматно нарушать процессы передачи информации в СС СН являющихся частью сетецентрической системы управления. В связи с этим актуальным является формирование направлений исследований в интересах разработки новых способов воздействий, основанных на РЭП и ИТВ, для эффективного и бескомпроматного нарушения процессов передачи информации в СС СН в целях противодействия сетецентрической системе государственного и военного управления.

3.2. Обоснование целесообразности разработки новых способов воздействия на объекты и процессы телекоммуникационных систем на сетевом и транспортном уровнях модели OSI

Исходя из актуальности поиска новых направлений исследований в интересах разработки новых способов воздействий, основанных на РЭП и ИТВ, для эффективного и бескомпроматного нарушения процессов передачи информации в СС СН, представляется необходимым сформулировать ряд принципиальных подходов к реализации указанных способов.

В настоящее время современные силы и средства РЭП традиционно используются для проведения операций с целью дезорганизации систем управления противника. С целью рационального использования имеющегося ресурса техники РЭП, целесообразным является использование новых РЭ ИТВ, основанных на развитии форм и способов применения уже существующих средств

РЭП за счет внедрения новых режимов их работы. При этом предполагается дополнить режимы работы средств РЭП новыми способами постановки радиоэлектронных помех, которые учитывают особенности передачи информации в ТКС входящих в СС СН сетецентрической системы управления.

Как показано выше, СС СН состоит из ограниченного количества взаимодействующих ТКС, причем в составе последних могут находиться как отдельные линии радиосвязи (ЛРС), так и целые сети радиосвязи (СРС). При реализации РЭ ИТВ, ориентированных на бескомпроматное подавление ТКС в составе СС СН, требуется учитывать особенности процессов межсетевого обмена, маршрутизации, а также динамики процессов реконфигурации. При этом, предлагается перейти от принципа подавления отдельных элементов радиосегмента ТКС, таких как ЛРС и СРС, к использованию этих элементов в качестве своеобразных «точек входа» для РЭ ИТВ, которые будут нарушать сетевые процессы передачи информации и распространять свое дестабилизирующее воздействие на ТКС в целом, в том числе и на ее проводной сегмент.

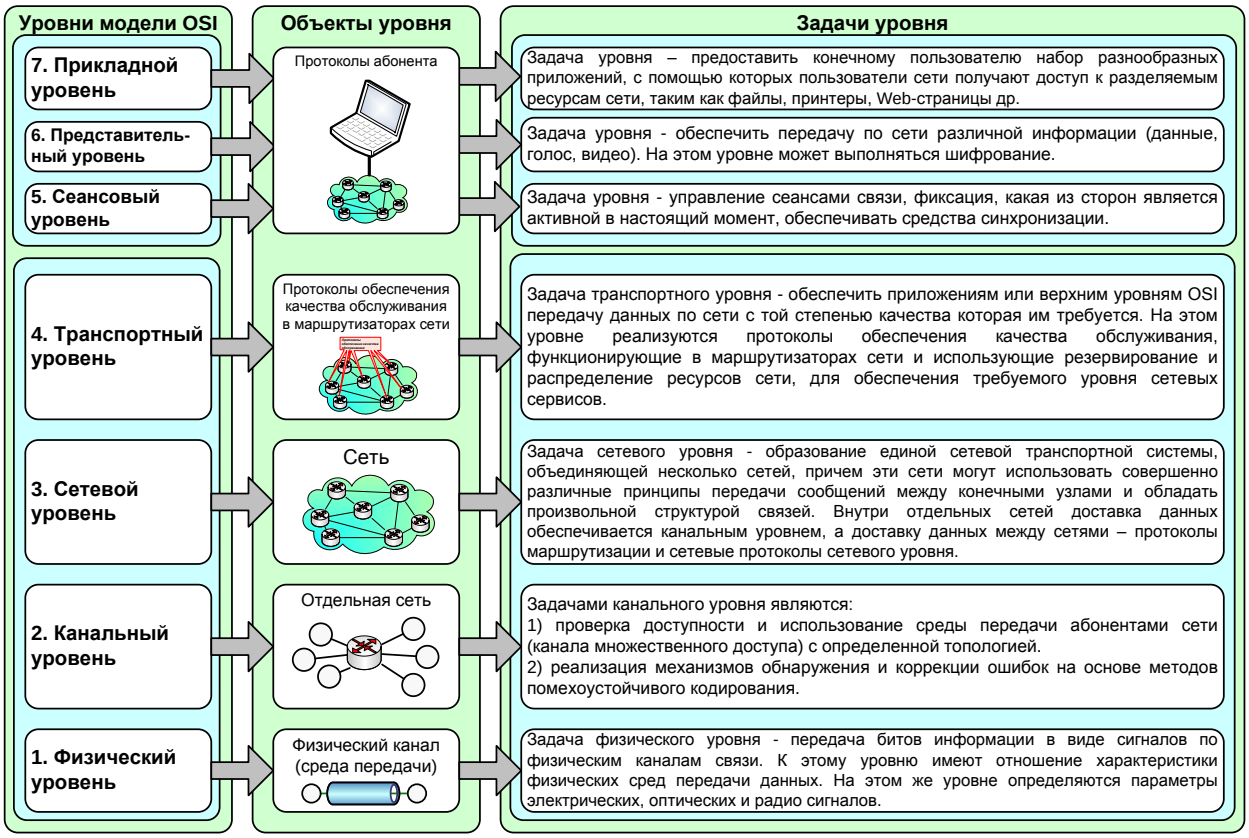

Рис. 6. Функции и задачи различных уровней модели OSI

Логика функционирования систем связи традиционно декомпозируется на семь функциональных уровней в соответствии с моделью открытых систем – OSI (Open Systems Interconnection) – рис. 6. Такая декомпозиция позволяет описать процессы передачи в системе связи с различной степенью функциональной абстракции – от физического уровня, на котором рассматривается передача сигналов в физической среде, до сетевого и транспортного, на которых рассматриваются процессы функционирования систем связи в целом. При этом

следует отметить тот факт, что значимыми для описания процессов передачи в сетях связи (в том числе и для ТКС и СС СН) являются только четыре нижних уровня модели OSI (физический, канальный, сетевой, транспортный), так как именно они соответствуют аппаратно-программным средствам сети. Верхние же уровни модели OSI (сеансовый, представительный, прикладной) реализуются только программными средствами абонента.

До последнего времени основная часть исследований в области радиоэлектронного подавления была сконцентрирована на задачах подавления отдельных ЛРС, т. е. на подавлении объекта физического уровня модели OSI. Имелись отдельные исследования, посвященные подавлению СРС с учетом их структуры, логики функционирования, и ценности передаваемой информации, однако они не носили системно-массового характера.

Вместе с тем, анализируя возможности использования «традиционных» средств РЭП [1], можно прийти к выводу, что с их помощью возможны более глубокие воздействия на ТКС с целью нарушения функционирования и других объектов транспортной подсистемы модели OSI (на физическом, канальном, сетевом и транспортном уровнях).

Объектами радиоэлектронного воздействия на физическом уровне OSI традиционно являются РЭС и ЛРС. На канальном уровне OSI к таким объектам относятся каналы множественного доступа, предназначенные для образования отдельных радиосетей (например, на основе протоколов TDMA, ALOHA, DVB-RSC). К объектам радиоэлектронного воздействия на сетевом уровне OSI можно отнести узлы и каналы связи ТКС, а также протоколы маршрутизации и сигнализации, обеспечивающие процессы передачи данных в ней. На транспортном уровне к объектам радиоэлектронного воздействия следует отнести протоколы и аппаратно-программные средства обеспечения качества обслуживания информационных потоков, передаваемых по ТКС. При этом воздействие средств РЭП приводит к различным негативным эффектам на различных уровнях OSI, некоторые из которых представлены на рис. 7.

Современная методология применения «традиционных» средств РЭП ставит своей целью снижение качества обслуживания QoS (Quality of Service) отдельных ЛРС и СРС ниже значений, определенных требованиями к качеству связи. Таким образом, основная часть исследований по РЭП посвящена решению задач подавления на физическом уровне модели OSI. Однако объединение отдельных сетей, в единую ТКС ведет к тому, что подавление отдельных ЛРС или СРС в ее составе не приведет к значимому ущербу. Подавление отдельных элементов ТКС лишь послужит причиной перемаршрутизации информационных потоков в сети без снижения своевременности передачи, без нарушения доступности информационных ресурсов сетецентрической среды, а также без снижения оперативности передачи управляющей информации сетецентрической системы управления.

Рис. 7. Эффекты, возникающие на различных уровнях функционирования ТКС в результате РЭ ИТВ

Воздействие «традиционных» средств и комплексов РЭП на системы связи происходит на физическом уровне модели OSI. Однако, как было показано ранее, это воздействие проявляется также и на вышестоящих уровнях транспортной подсистемы ТКС – канальном, сетевом и транспортном уровнях модели OSI. Предлагаемые в данном исследовании новые РЭ ИТВ основаны на использовании ранее не рассматриваемых эффектов от воздействия радиоэлектронных помех на канальном, сетевом и транспортном уровнях OSI. Именно за счет применения РЭ ИТВ предполагается решение проблемы подавления ТКС, которые являются базовым элементами СС СН. При этом СС СН, в свою очередь, является технической основой информационной подсистемы сетецентрической системы управления. Предполагается, что непосредственным объектом воздействия РЭ ИТВ будут отдельные ЛРС и СРС, функционирующие в составе ТКС.

В настоящее время для решения задач обеспечения качества обслуживания в ТКС проводятся многочисленные исследования эффективности функционирования сетей связи и коммутационных устройств различного уровня в условиях передачи трафика сложной структуры (наличие самоподобных свойств, непуассоновское распределение времени поступления пакетов и др.), а также маршрутизации информационных потоков в сетях с динамически изменяемой топологией. В исследованиях по этой тематике указывается на значительное снижение пропускной способности сетей и своевременности передачи информационных потоков в них в случае, если топология сети динамически меняется.

Предлагается использовать результаты данных исследований для оценки качества обслуживания ТКС и для разработки новых решений по их подавлению.

Предполагается использовать отображение РЭ ИТВ на физическом уровне на более высокие уровни функционирования ТКС – канальный, сетевой и транспортный. Для формализации таких процессов отображения, ТКС рассматривается как сложная многоуровневая система. При этом, элементами такой системы являются отдельные протоколы, совместно реализующие функционал каждого конкретного уровня. Каждый из протоколов любого уровня может подвергнуться целевому воздействию РЭ ИТВ, что незамедлительно скажется на процессе функционирования других взаимосвязанных с ним протоколов, а также всей ТКС в целом. При этом необходимо сосредоточиться на поиске способов РЭ ИТВ обладающих следующими свойствами:

- бескомпроматными относительно субъекта воздействия на физическом уровне и способными преодолевать меры помехозащиты, используемые в современных средствах радиосвязи ТКС СС СН;
- учитывающие сложность и многоуровневость ТКС, а также ориентированные на усугубление внутренних локальных конфликтов и противоречий между отдельными протоколами в ТКС;
- учитывающие динамические процессы функционирования ТКС ориентированные на перевод протоколов ТКС в нестационарные и нестабильные режимы функционирования, которые, в конечном итоге, приводят к значимому снижению устойчивости ТКС.

РЭ ИТВ обладающие вышеуказанными свойствами, фактически соответствуют новым бескомпроматным способам радиоэлектронного воздействия на физическом уровне, которые, с одной стороны, не будут обнаруживаться и блокироваться существующими средствами помехозащиты, а, с другой стороны, – будут ориентированы на снижение эффективности функционирования протоколов сетевого и транспортного уровня ТКС путем инициализации ряда дестабилизирующих и нестационарных эффектов на этих уровнях (рис. 8).

Широкое внедрение таких РЭ ИТВ в территориально-распределенные средства РЭП позволит реализовать следующие основные направления ассиметричного противодействия сетецентрической системе управления:

- эффективно и бескомпроматно нарушать процессы передачи информации в сетецентрических системах управления при проведении информационных операций в мирное и военное время;
- обеспечивать снижение связности сети информационных подсистем сетецентрических систем управления, снижение скорости и интенсивности информационного обмена в них, а также обеспечивать значимое снижение доступности их информационных ресурсов;
- обеспечить увеличение длительности цикла управления, и, в конечном итоге, – снижение качества управления, по показателям его оперативности, непрерывности и устойчивости.

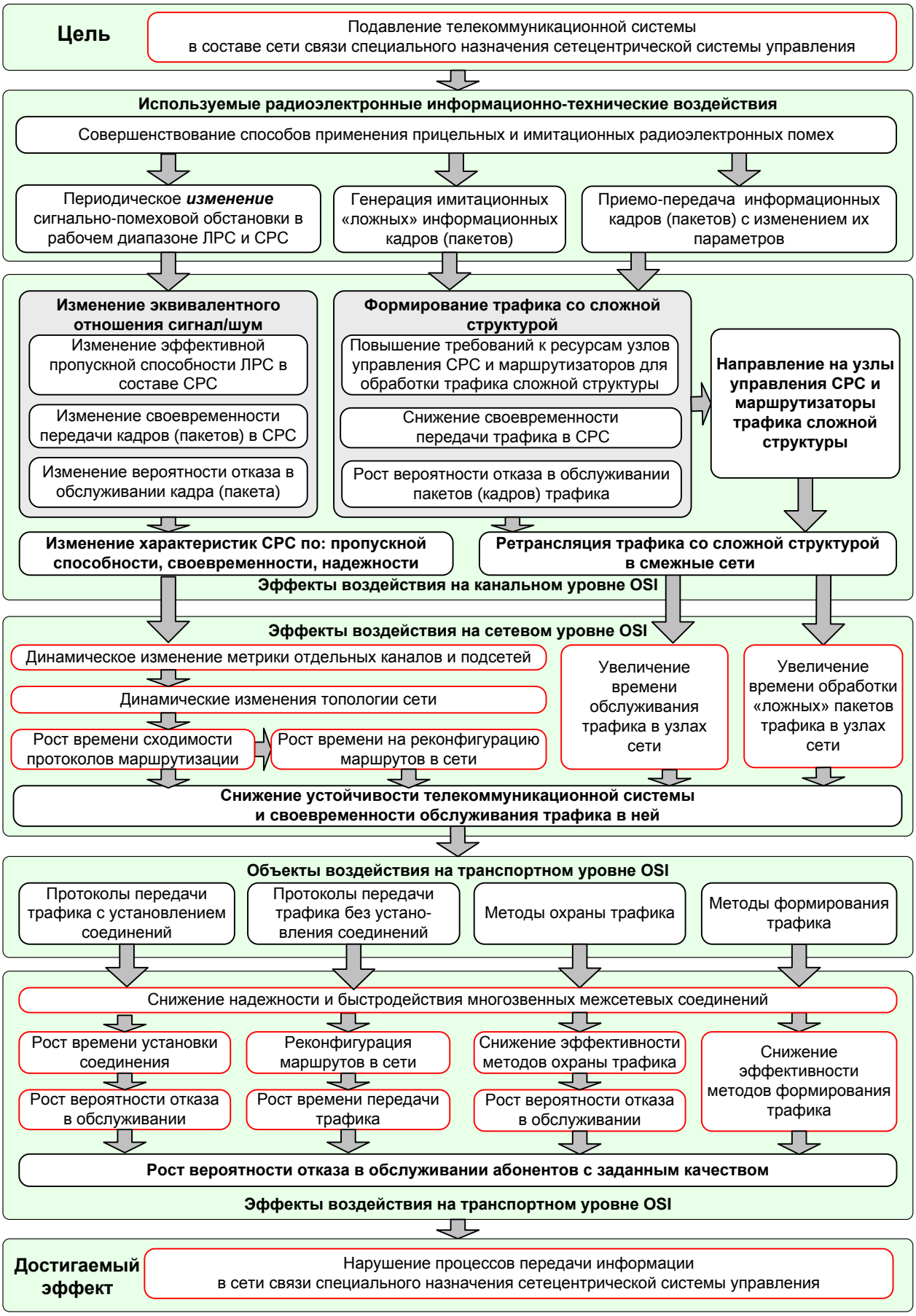

Рис. 8. Порядок воздействия РЭ ИТВ на процессы и объекты сетевого и транспортного уровня ТКС

4. Предложения по реализации новых способов радиоэлектронных ИТВ для подавления ТКС, являющихся составными частями сети связи специального назначения

Кратко рассмотрим основные перспективные направления разработки РЭ ИТВ, ориентированных на подавление ТКС за счет учета особенностей функционирования протоколов на канальном, сетевом и транспортном уровнях модели OSI,. Основными особенностями обосновываемых РЭ ИТВ является учет ими динамических процессов в ТКС при влиянии радиоэлектронных помех, что позволяет использовать для снижения эффективности ТКС динамические нестационарные и переходные режимы, происходящие в ней в результате воздействия периодических помех, а также отображение этих периодических помех на более высоких уровнях модели OSI за счет учета функциональных зависимостей между протоколами ТКС.

Необходимо отметить, что применение всех обосновываемых в данном подразделе РЭ ИТВ целесообразно исключительно против пакетных ТКС с развитой топологией. Применение подобных воздействий против ТКС с древовидной топологией бессмысленно ввиду возможности достижения эффекта подавления таких ТКС «традиционным» подавлением их каналов.

Ниже кратко представлены основные направления разработки РЭ ИТВ, ориентированных на подавление ТКС путем нарушения функционирования протоколов канального, сетевого и транспортного уровней.

В качестве одной из целей для таких РЭ ИТВ целесообразно рассматривать космический сегмент информационной подсистемы сетецентрической системы государственного и военного управления, так как он, с одной стороны, осуществляет глобальные функции информационного обеспечения, а с другой – строится на основе средств радиосвязи и, вследствие этого, уязвим для применения способов радиоэлектронного воздействия.

В целом, новизной разработанных способов РЭ ИТВ является использование «традиционных» радиоэлектронных помех для порождения и развития внутрисистемных конфликтов в ТКС на верхних уровнях ее функционирования. В частности, рассматриваются помехи с динамически изменяемыми параметрами, которые приводят к переходным и нестационарным процессам на верхних уровнях OSI. Достигаемый новый прикладной эффект – это подавление ТКС в целом, в том числе и ее проводного сегмента, за счет воздействия РЭ ИТВ через радиоканалы, как своеобразные «точки входа».

4.1. Способы радиоэлектронного ИТВ, ориентированные на подавление отдельных сетей радиосвязи множественного доступа на канальном уровне ТКС

Исследования возможностей радиоэлектронных воздействий по подавлению протоколов связи на канальном уровне, которые представлены в предшествующих работах автора [29-33], показали следующее. В работах Л. Клейнрока [34], Д. Бертсекаса и Р. Галлагера [35] показано, что пакетным СРС, использующим для передачи пакетов общий радио канал со СМД, свой-

ственна общая нестабильность функционирования. Такие СРС требуют коррекции при большом времени непрерывной работы. Таким образом, возможна реализация РЭ ИТВ, направленного на подавление СРС на основе общего радиоканала со случайным СМД, путем периодического воздействия преднамеренных помех и за счет использования специфических свойств метода СМД. Данный подход для подавления СРС был впервые предложен С.И. Бабусенко [36-38] и получил развитие в работах автора [30, 31] применительно к СРС на основе протоколов CSMA/CA и S-Aloha.

Процесс обслуживания пакетов в этих СРС со случайным СМД был представлен в виде Марковского процесса гибели-размножения, в котором интенсивность обслуживания пакетов определяется пропускной способностью, которая, в свою очередь, зависит от текущего значения отношения сигнал/(шум+помеха) (ОСШП) в общем канале радиосвязи. Проведенное моделирование показало, что динамическое периодическое радиоэлектронное воздействие на общий радиоканал таких СРС ведет к сносу их в заблокированное состояние даже после снятия радиоэлектронного воздействия. При этом, эффект подавления может быть достигнут без полного подавления радио канала СМД, а за счет частичного снижения его пропускной способности, в пределах 10-20%.

Данный способ РЭ ИТВ ориентирован на канальный уровень OSI и может быть осуществлен «традиционными» средствами РЭП за счет введения режима динамических прицельных по времени и частоте помех, временные параметры которых согласованы с параметрами протокола случайного СМД, используемого в подавляемой СРС.

Современные СРС строятся на основе MIMO технологий, в которых для передачи сообщений абоненту могут быть выбраны несколько путей. В дальнейшем, вышеуказанное направление разработки радиоэлектронных воздействий получило развитие в виде модели многоканальной системы массового обслуживания с блокировкой отдельных каналов, представленной в работе автора [32]. Периодическое радиоэлектронное воздействие в виде подавления отдельных радиоканалов в многоканальной СРС ведет к существенному снижению качества обслуживания такой системы, и, в конечном итоге, – к перегрузке СРС пакетами и переходу ее в заблокированное состояние. Проведенное в работе автора [32] моделирование показало, что при выполнении критерия блокировки системы ее пропускная способность снижется на 30%, а время обслуживания в многоканальной системе радиосвязи увеличивается в 10-20 раз относительно уровня, соответствующего ее нормальному функционированию.

Таким образом, РЭ ИТВ, ориентированные на нарушение протоколов канального уровня за счет динамики своего воздействия, позволяют осуществить перевод СРС в нестационарный режим работы, а также увеличить длительность и глубину переходных процессов в них. Увеличение интенсивности РЭ ИТВ позволяет перевести СРС в заблокированное состояние вследствие снижения интенсивности обслуживания ею входного потока пакетов ниже критических значений.

4.2. Способы радиоэлектронного ИТВ, ориентированные на нарушение функционирования протоколов маршрутизации на сетевом уровне ТКС

Принцип воздействия помехами с динамически изменяемыми параметрами для варьирования пропускной способностью каналов в их рабочем диапазоне ОСШП (с целью исключения срабатывания средств помехозащиты физического уровня) в дальнейшем получил развитие в разработках РЭ ИТВ, ориентированных на подавление ТКС путем нарушения устойчивости функционирования протоколов маршрутизации на сетевом уровне модели OSI.

Для исследования и последующего учета эффектов от динамического радиоэлектронного воздействия на сетевом уровне было проведено моделирование пересчета QoS отдельных сетей и каналов радиосвязи в коэффициенты метрики сети, используемые соответствующими протоколами ТКС при решении задач сигнализации в сети и маршрутизации в ней потоков трафика. Математическая модель, формализующая оценку метрики каналов сети в условиях динамического воздействия помех применительно к спутниковым каналам DVB-S/S2, представлена в работе автора [39]. Проведенное моделирование для канала связи DVB-S2 показало, что периодическое изменение ОСШП в канале (как в сторону увеличения, так и в сторону снижения) приводит к принятию протоколом маршрутизации решения об изменении метрики канала, что подразумевает остановку процесса передачи данных в ТКС и запуск пересчета путей в новой топологии сети. Интенсивность принятия данных решений прямо пропорциональна периодичности и глубине изменения ОСШП в отдельных каналах ТКС, а время между моментами этих решений, в общем случае, может быть аппроксимировано экспоненциальным распределением. Анализ эффектов от воздействия средств подавления на адаптивно-лавинные протоколы маршрутизации (OSPF, IS-IS, EIGRP и др.), которое было проведено в работах автора [39-43], показало, что такое РЭ ИТВ ведет к росту интенсивности перемаршрутизации потоков трафика в ТКС, снижению адекватности таблиц маршрутизации, и, в конечном итоге, – к снижению устойчивости ТКС в целом.

Исследование процесса функционирования маршрутизатора ТКС с адаптивно-лавинным протоколом (на основе OSPF), проведенное в работе автора [40], показало, что вероятность подавления ТКС определяется интенсивностью отказов отдельных ее радиоканалов вследствие воздействия помех, а также параметром протокола маршрутизации, формализующим время ожидания восстановления связи. При этом размер сети ТКС практически не влияет на эффективность ее подавления. Таким образом, существует принципиальная возможность подавления ТКС при воздействии с заданной интенсивностью даже на единственный радиоканал в ее составе.

Для обоснования временных параметров РЭ ИТВ, направленного на нарушение функционирования протоколов маршрутизации без установления соединения, в работе автора [41] была разработана модель функционирования объекта связи в условиях отказов каналов связи в виде Марковского процесса переходов между состояниями «нормальное функционирование» – «отказ кана-

ла» – «ожидание восстановления связи» – «реконфигурация маршрутизатора». Использование данной модели в составе методики обоснования временных параметров РЭ ИТВ для воздействия на протокол маршрутизации по состоянию каналов (на примере протокола OSPF) позволило определить наиболее сложные условия функционирования для этого протокола маршрутизации. Результаты моделирования показывают, что при согласовании временных параметров РЭ ИТВ и временных параметров протокола маршрутизации достигается снижение надежности отдельного маршрутизатора ТКС по показателю коэффициент готовности до уровня 0,5. За счет лавинной рассылки смежным узлам сообщений об изменении метрики каналов связи каждый из маршрутизаторов ТКС снижает свой коэффициент готовности из-за постоянного пересчета кратчайших путей. В результате эффект снижения устойчивости распространяется на всю ТКС в целом. При этом показатель устойчивости сети ТКС по показателю «среднесетевая вероятность устойчивости информационного направления связи» снижается до значений 0,2-0,4. При этом уровень снижения устойчивости сети ТКС пропорционален средней длине направления связи.

Для обоснования временных параметров РЭ ИТВ, направленных на нарушение функционирования протоколов маршрутизации с установлением соединения, в работе автора [42] была разработана модель функционирования информационного направления связи в ТКС, учитывающая не только процесс реконфигурации отдельных ее маршрутизаторов вследствие отказа каналов, но и учет структуры соединений в ТКС, а также принятого в ТКС подхода к резервированию путей передачи. Результаты моделирования эффектов от воздействия РЭ ИТВ на ТКС показывают, что ТКС на основе протокола маршрутизации с установлением соединения снижают свою устойчивость за счет снижения устойчивости соединений, проходящих через узлы, которые подверглись воздействию РЭ ИТВ. При этом уровень снижения устойчивости ТКС пропорционален количеству узлов, на которые осуществляется воздействие РЭ ИТВ. На основе этой модели в дальнейшем была разработана методика обоснования временных параметров РЭ ИТВ для воздействия на протокол маршрутизации с установлением соединений, которая позволяет обосновать временные параметры динамических помех, снижающих устойчивость ТКС до значений ниже требуемых.

Для подтверждения адекватности разработанного научно-методического аппарата обоснования способов РЭ ИТВ и практического подтверждения эффектов функционального подавления ТКС были проведены экспериментальные исследования на основе сети с протоколом OSPF и OADV, результаты которых представлены в работе [44]. Сравнение теоретических расчетов и полученных экспериментальных данных позволяет сделать вывод о практическом подтверждении возможностей таких РЭ ИТВ осуществлять эффективное подавление ТКС.

Вышеуказанные перспективные направления разработки РЭ ИТВ, ориентированных на сетевой уровень ТКС, могут быть реализованы территориально-распределенными «традиционными» комплексами РЭП за счет введения режима динамических низкоэнергетических прицельных по частоте и времени по-

мех, временные параметры которых согласованны с параметрами протоколов маршрутизации, используемых в подавляемых ТКС.

4.3. Способы радиоэлектронного ИТВ, ориентированные на нарушение функционирования протоколов обеспечения качества обслуживания на транспортном уровне ТКС

Перспективным направлением разработки способов РЭ ИТВ, ориентированных на подавление ТКС на транспортном уровне модели OSI, является разработка радиоэлектронных воздействий, ориентированных на формирование трафика сложной структуры и нарушение функционирования протоколов обеспечения качества обслуживания.

Так, перспективными являются РЭ ИТВ, ориентированные на формирование в канале радиосвязи потока пакетов сложной структуры с коэффициентом вариации больше единицы и существенно отличающегося от простейшего. Анализ результатов моделирования обработки потоков сложной структуры в узлах коммутации сети, представленный в работах автора и его коллеги К.В. Ушанева [45, 46], показал, что своевременность обработки таких потоков в десятки, а в некоторых случаях, в сотни раз ниже относительно обработки простейших потоков! При этом, данный эффект наблюдается преимущественно в высоконагруженных маршрутизаторах.

Первый вариант таких РЭ ИТВ представлен в работе автора [47] и основан на внедрении дополнительных имитационных пакетов трафика, что позволяет сформировать выходной поток пакетов из канала радиосвязи со структурой существенно отличающейся от простейшего (коэффициент вариации больше единицы). Отличительной особенностью этих РЭ ИТВ является необходимость внедрения дополнительных пакетов, которые являются копиями ранее переданных пакетов, что в ряде случаев может привести к «разрушению» информационного потока. Кроме того, ряд протоколов ТКС (например, IPSec) нумеруют пакеты внутри сессии передачи данных, что позволяет им обнаруживать внедренные пакеты. Указанного недостатка лишен второй вариант РЭ ИТВ, ориентированный на полный перехват и преобразование структуры потока трафика, методологические основы которого представлены в работах [48, 49].

Оценка результатов воздействия указанных РЭ ИТВ, ориентированных на формирование сложного структуры передаваемого в ТКС трафика, который критичен к задержкам, показал, что устойчивость ТКС снижается за счет снижения своевременности обслуживания трафика в ее узлах и фактической блокировки узлов, передающих сложный трафик. Такие РЭ ИТВ представляют собой вариант бескомпроматной DOS-атаки. Кроме того, эффект воздействия РЭ ИТВ проявляется еще и в том, что сформированные сложные потоки трафика передаются дальше по ТКС, снижая своевременность обработки и в других ее узлах. Таким образом, данные РЭ ИТВ способны адресно подавлять отдельные информационные направления связи в ТКС. При этом уровень снижения устойчивости ТКС при воздействиях таких РЭ ИТВ пропорционален количе-

ству «усложненных» потоков трафика, их скорости, а также средней длине направления связи в ТКС.

Перспективные способы РЭ ИТВ, ориентированные на транспортный уровень ТКС, могут быть реализованы как территориально-распределенными комплексами РЭП, реализующими новые способы имитационных радиоэлектронных помех, так и аппаратно-программными закладками, а также специальными программными средствами (вирусами), внедряемыми в оборудование ТКС.

Выводы

По итогам материала статьи, обобщая вышесказанное, можно сделать следующие основные выводы.

1. В настоящее время происходит переход архитектуры систем государственного и военного управления от иерархического к сетецентрическому принципу построения. Сетецентрическая система управления является распределённой системой, в которой ее базовые элементы, такие как силы и средства наблюдения, ПУ и ЛПР, а также управляемые силы и средства объединены в единое информационное пространство. Подобное объединение повышает возможности информационного взаимодействия всех компонентов системы управления. Это ведет к повышению эффективности действий системы по показателю оперативности управления за счет повышения скорости реализации цикла управления (цикла Бойда) «наблюдение – ориентация – решение – действие». Кроме того, в сетецентрических системах повышается непрерывность и устойчивость управления, за счет увеличения путей доставки информации и команд от ПУ к управляемым силам и средствам.

2. Основой единого информационного пространства сетецентрической системы управления является сетецентрическая среда. Сетецентрическая среда функционирует в физической, информационной, социальной и когнитивной областях. При этом информационно-технические процессы функционирования сетецентрической среды декомпозируется на три слоя: физический, семантический и синтаксический. Физический слой соответствует информационной инфраструктуре сетецентрической среды, которая существует в реальном физическом мире. Семантический слой включает в себя смысловое содержание формируемой, хранимой, передаваемой, обрабатываемой и представляемой информации. Синтаксический слой соответствует форматам, правилам и протоколам процессов формирования, хранения, передачи, обработки и представления информации.

3. Анализ процессов функционирования сетецентрических систем управления на примере систем управления войсками и оружием, использующихся в локальных войнах, позволил вскрыть их уязвимости. В основном, эти уязвимости связанны с процессами сбора, передачи и обработки информации, а также с процессами обеспечения информационной безопасности.

При этом к наиболее критичным уязвимостям сетецентрической системы управления системы относится:

- высокая информационная взаимозависимость всех ее элементов;
- широкое использование в ней двойных информационных технологий.

Наличие этих уязвимостей делает возможным ассиметричное противодействие системе сетецентрического управления за счет нарушения процессов формирования, передачи, хранения, обработки и представления информации в ней.

4. Проведенный анализ возможностей использования средств огневого поражения, средств РЭП, средств ФП ЭМИ, а также ИТВ против физического, семантического и синтаксического слоев сетецентрической среды показал, что наиболее эффективным по показателю эффективность/затраты является применение ИТВ, ориентированных на синтаксический слой. При этом наиболее простым вариантом такого ИТВ является воздействие, направленное на нарушение процессов передачи информации, что приводит к критическому снижению доступности информационных ресурсов системы, увеличению длительности цикла управления, и, в конечном итоге, – к снижению качества управления, по показателям оперативности, непрерывности и устойчивости. В качестве источника такого ИТВ могут быть использованы имеющиеся средства РЭП, а в качестве места приложения данного воздействия – радиосети и радиоканалы в составе сети связи, являющейся физической основой сетецентрической среды. При этом для эффективного нарушения процессов передачи информации эти ИТВ должны учитывать особенности протоколов информационного обмена, а также особенности построения и функционирования сети связи сетецентрической среды.

5. Одним из важных элементом сетецентрической среды является СС СН, которая обеспечивает процессы передачи информации в ней. При переходе к сетецентрическому принципу построения систем управления, структура СС СН становиться более гибкой – децентрализованной, сетевой и многоэшелонированной. При этом структура СС СН более не является жестко привязанной к структуре и иерархии элементов системы управления.

6. Существующие преднамеренные дестабилизирующие воздействия, основанные на применении средств РЭП и ИТВ типа «отказ в обслуживании», ориентированны на устаревшие иерархические системы управления, и являются неэффективными против сетевых децентрализованных СС СН так как не обеспечивают значимое снижение их устойчивости. Таким образом, существующие дестабилизирующие воздействия уже не могут эффективно обеспечивать нарушение процессов передачи информации в СС СН, а также значимо снижать уровень доступности информационных ресурсов в сетецентрической системе управления.

7. Современное невоенное противоборство между государствами может вестись и в мирное время, и классифицируется как «информационная война». Преднамеренные дестабилизирующие воздействия (РЭП и ИТВ), осуществляемые в процессе информационной войны в мирное время и в угрожаемый период и направленные на нарушение процессов передачи информации в СС СН

противостоящей стороны должны носить бескомпроматный характер. Это исключит компрометацию той стороны, которая осуществляет это воздействие.

8. Структурно СС СН состоит из взаимодействующих между собой ТКС. Одной из наиболее важных частей СС СН являются ее космический эшелон, который обеспечивает для сетецентрической системы управления глобальную (в масштабах Земли) непрерывность информационного обмена, а также доступность информационных ресурсов системы управления для удаленных пользователей. Устойчивость ТКС космического эшелона СС СН является критически важной для обеспечения требований как по доступности к самой СС СН, так и требований по своевременности и достоверности связи, а также требований к доступности информационных ресурсов в сетецентрической системе управления.

9. Существующие системы и способы РЭП ориентированны на подавление только отдельных каналов и сетей радиосвязи ТКС путем нарушения функционирования протоколов связи на физическом и канальном уровнях модели OSI. При переходе ТКС в составе СС СН к децентрализовано-сетевой структуре, не связанной со структурой системы управления, существующие системы и способы РЭП становятся неэффективными и не обеспечивают значимое снижение устойчивости ТКС.

10. Анализ тенденций развития и построения перспективных ТКС СС СН позволил сформировать основные требования и рекомендации, связанные с практической реализацией новых способов дестабилизирующих воздействий на ТКС путем применения РЭ ИТВ.

- РЭ ИТВ должны реализовываться на физическом уровне OSI и использовать радиоканалы связи как «точку входа» внутрь защищаемого периметра ТКС для осуществления дестабилизирующих воздействий, ориентированных на снижение доступности ее информационных ресурсов;
- РЭ ИТВ должны реализовывать бескомпроматное воздействие, основанное на новых режимах постановки низкоэнергетических радиоэлектронных помех с целью, как эффективного преодоления известных способов помехозащиты средств связи в ТКС, так и возможности быть использованными в мирное и в военное время;
- РЭ ИТВ должны быть ориентированны на нарушение функционирования протоколов маршрутизации сетевого уровня пакетных сетей связи путем динамического изменения их топологии;
- РЭ ИТВ должны быть ориентированы на нарушение функционирования протоколов обеспечения качества обслуживания транспортного уровня пакетных сетей путем усложнения структуры передаваемого трафика или направление дополнительного имитационного трафика на критичные или наиболее загруженные маршрутизаторы сети.

Литература

1. Макаренко С. И. Информационное противоборство и радиоэлектронная борьба в сетецентрических войнах начала XXI века. Монография. – СПб.: Наукоемкие технологии, 2017. – 546 с.

2. Буренок В. М., Ляпунов В. М., Мудров В. И. Теория и практика планирования и управления развитием вооружения / Под ред. А.М. Московского. – М.: Изд-во «Вооружение. Политика. Конверсия», 2005. – 418 с.

3. Alberts D. S., Garstka J. J., Stein F. P. Network Centric Warfare: Developing and Leveraging Information Superiority. 2-nd Edition (Revised). – US Department of Defense, C4ISR Cooperative Research Program Publications Series, 2001. – 292 p. – URL: http://www.dodccrp.org/files/Alberts_NCW.pdf (дата обращения 19.12.2017).

4. Дроговоз П. А., Чемезов С. В., Турко Н. И., Куликов С. А. Развитие системы стратегического менеджмента интегрированных структур ГК «Ростехнологии» на основе концепции сетецентричности // Проблемы стратегического менеджмента и механизмы военно-гражданской интеграции в высокотехнологичных отраслях промышленности: Сб. науч. статей. – М.: ЦОП АВН, 2011. – С. 93.

5. Трахтенгерц Э. А. Использование двух сетецентрических принципов модификации экономических целей и стратегий в кризисной ситуации // Управление большими системами. 2013. №. 45. С. 289-329.

6. Ефремов А. Ю., Максимов Д. Ю. Сетецентрическая система управления – что вкладывается в это понятие? // Труды третьей российской конференции с международным участием «Технические и программные средства систем управления, контроля и измерения». – М.: ИПУ РАН, 2012. – С. 159-161.

7. Макаренко А. В. Введение в сетецентрические информационно-управляющие системы // Конструктивная кибернетика. Исследования. Разработки. Консалтинг [Электронный ресурс]. 03.04.2010. – URL: http://www.rdcn.ru/estimation/2010/03042010.shtml (дата обращения: 03.07.2017).

8. Ивлев А. А. Основы теории Бойда. Направления развития, применения и реализации. Монография. – М., 2008. – 64 с.

9. Гриняев С. Н. Поле битвы – киберпространство. Теория, приемы, средства, методы и системы ведения информационной войны. – М.: Харвест, 2004. – 426 с.

10. Сидорин А. Н. Прищепов В. М., Акуленко В. П. Вооруженные силы США в XXI веке: Военно-теоретический труд. - М.: Кучково поле; Военная книга, 2013. - 800 с.

11. Копылов А. В. К вопросу о критике концепции «сетецентрических» войн (операций) в американских СМИ // Военная история и футурология [Электронный ресурс]. 2011. – URL: http://www.milresource.ru/Kop-NCW.html (дата обращения 03.07.2017).

12. Копылов А. В. О слабых сторонах американской концепции «сетецентрических войн (операций)» // Военная мысль. 2011. № 7. С. 53-62.

13. Бедрицкий А. В. Информационная война: концепции и их реализация в США / Под ред. Е.М. Кожокина. – М.: РИСИ, 2008. – 187 с.

14. Макаренко С. И. Перспективы и проблемные вопросы развития сетей связи специального назначения // Системы управления, связи и безопасности. 2017. № 2. С. 18-68. – URL: http://sccs.intelgr.com/archive/2017-02/02-Makarenko.pdf (дата обращения 21.12.2017).

15. Макаренко С. И. Описательная модель сети связи специального назначения // Системы управления, связи и безопасности. 2017. № 2. С. 113-164. – URL: http://sccs.intelgr.com/archive/2017-02/05-Makarenko.pdf (дата обращения 21.12.2017).

16. Шнепс-Шнеппе М. А. Телекоммуникации Пентагона: цифровая трансформация и киберзащита. – М.: Горячая линия – Телеком, 2017. – 272 с.

17. Шнепс-Шнеппе М.А. «Красный телефон» на DISN сети как родимое пятно в среде AS-SIP // International Journal of Open Information Technologies. 2015. Т. 3. № 6. С. 7-12.

18. Шнепс-Шнеппе М. А., Намиот Д. Е. Об эволюции телекоммуникационных сервисов на примере GIG // International Journal of Open Information Technologies. 2015. Т. 3. № 1. С. 1-13.

19. Шнепс-Шнеппе М. А. От IN к IMS. О сетях связи военного назначения // International Journal of Open Information Technologies. 2014. Т. 2. № 1. С. 1-11.

20. Шнепс-Шнеппе М. А., Намиот Д. Е, Цикунов Ю. В. Телекоммуникации для военных нужд: сеть GIG-3 по требованиям кибервойны // International Journal of Open Information Technologies. 2014. Т. 2. № 10. С. 3-13.

21. Нетес В. А. Надежность сетей связи в период перехода к NGN // Вестник связи. 2007. № 9. С. 1-8.

22. Соколов Н. А. Системные аспекты построения и развития сетей электросвязи специального назначения // International Journal of Open Information Technologies. 2014. Т. 2. № 9. С. 4-8.

23. Бобков Ю. Я., Тютюнников Н. Н. Концептуальные основы построения АСУ Сухопутными войсками ВС РФ: монография. – М.: Издательство «Палеотип», 2014. – 92 с.

24. Антонович П. И., Макаренко С. И., Михайлов Р. Л., Ушанев К. В. Перспективные способы деструктивного воздействия на системы военного управления в едином информационном пространстве // Вестник Академии военных наук. 2014. № 3 (48). С. 93-101.

25. О связи. Федеральный закон РФ от 07.07.2003 № 126-ФЗ // Собрание законодательства Российской Федерации от 14 июля 2003 г. № 28 ст. 2895.

26. Макаренко С. И. Проблемы и перспективы применения кибернетического оружия в современной сетецентрической войне // Спецтехника и связь. 2011. № 3. С. 41-47.

27. Макаренко С. И. Радиоэлектронные информационные воздействия на сети связи сетецентрической системы управления // Вестник Военно-воздушной академии. 2016. № 3 (27). С. 108-117.

28. Шелухин О. И., Сакалема Д. Ж., Филинова А. С. Обнаружение вторжений в компьютерные сети (сетевые аномалии). Учебное пособие для вузов / Под ред. О.И. Шелухина. – М.: Горячая линия-Телеком, 2013. – 220 с.

29. Макаренко С. И., Татарков М. А. Моделирование обслуживания нестационарного информационного потока системой связи со случайным множественным доступом // Информационно-управляющие системы. 2012. № 1. С. 44-50.

30. Макаренко С. И. Подавление пакетных радиосетей со случайным множественным доступом за счет дестабилизации их состояния // Журнал радиоэлектроники. 2011. № 9. С. 2-2. – URL: http://jre.cplire.ru/jre/sep11/4/text.pdf (дата обращения 21.12.2017).

31. Макаренко С. И. Оценка качества обслуживания пакетной радиосети в нестационарном режиме в условиях воздействия внешних дестабилизирующих факторов // Журнал радиоэлектроники. № 6. 2012. – URL: http://jre.cplire.ru/jre/jun12/9/text.pdf (дата обращения 21.12.2017).

32. Макаренко С. И., Синицин И. А. Инженерная методика оценки качества обслуживания системы массового обслуживания M/M/n/q с ненадежными каналами и ее приложение для анализа функционирования систем многоканальной связи в условиях помех // Инфокоммуникационные технологии. 2014. Том 12. № 4. С. 24-32.

33. Макаренко С. И. Исследование влияния преднамеренных помех на возможности по ретрансляции сообщения и показатели качества обслуживания канального уровня модели OSI для системы связи со случайным множественным доступом абонентов // Информационные технологии моделирования и управления. 2010. №6 (65). С. 807-815.

34. Клейнрок Л. Вычислительные системы с очередями. – М.: Мир, 1979. – 600 с.

35. Бертсекас Д., Галлагер Р. Сети передачи данных. – М.: Мир, 1989. – 544 с.

36. Исаев В. В., Бабусенко С. И. Статистическое моделирование многопролетных сетей пакетной радиосвязи // Техника средств связи: материалы 18 научно-технической конференции. – Воронеж: НИИС, 1992.

37. Бабусенко С. И., Исаев В. В. Аналитическая модель маршрутизации в пакетной сети // Техника средств связи: материалы 18 научно-технической конференции. – Воронеж: НИИС, 1992.

38. Бабусенко С. И. Модель процесса радиоподавления пакетной радиосети с протоколом ненастойчивого доступа с прослушиванием несущей // Тезисы докладов 31 ВНТК академии. – Л.: ВАС, 1990.

39. Макаренко С. И., Михайлов Р. Л., Новиков Е. А. Исследование канальных и сетевых параметров канала связи в условиях динамически изменяющейся сигнально-помеховой обстановки // Журнал радиоэлектроники. 2014. № 10. – URL: http://jre.cplire.ru/jre/oct14/3/text.pdf (дата обращения 21.12.2017).

40. Макаренко С. И., Михайлов Р. Л. Модель функционирования коммутатора в сети с использованием протокола покрывающего дерева STP и

исследование устойчивости сети в условиях ограниченной надежности каналов связи // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2013. № 2. С. 61-68.

41. Макаренко С. И., Михайлов Р. Л. Модель функционирования маршрутизатора в сети в условиях ограниченной надежности каналов связи // Инфокоммуникационные технологии. 2014. Том 12. № 2. С. 44-49.

42. Макаренко С. И., Рюмшин К. Ю., Михайлов Р. Л. Модель функционирования объекта сети связи в условиях ограниченной надежности каналов связи // Информационные системы и технологии. 2014. № 6 (86). С. 139-147.

43. Макаренко С. И. Время сходимости протоколов маршрутизации при отказах в сети // Системы управления, связи и безопасности. 2015. № 2. С. 45-98. – URL: http://sccs.intelgr.com/archive/2015-02/03-Makarenko.pdf (дата обращения 05.12.2017).

44. Макаренко С. И., Афанасьев О. В., Баранов И. А., Самофалов Д. В. Экспериментальные исследования реакции сети связи и эффектов перемаршрутизации информационных потоков в условиях динамического изменения сигнально-помеховой обстановки // Журнал радиоэлектроники. 2016. № 4. – URL: http://jre.cplire.ru/jre/apr16/4/text.pdf (дата обращения: 05.12.2017).

45. Ушанев К. В., Макаренко С. И. Показатели своевременности обслуживания трафика в системе массового обслуживания Pa/M/1 на основе аппроксимации результатов имитационного моделирования // Системы управления, связи и безопасности. 2016. № 1. С. 42-65. – URL: http://sccs.intelgr.com/archive/2016-01/03-Ushanev.pdf (дата обращения: 05.12.2017).

46. Ушанев К. В. Имитационные модели системы массового обслуживания типа $Pa/M/1$, $H_2/M/1$ и исследование на их основе качества обслуживания трафика со сложной структурой // Системы управления, связи и безопасности. 2015. № 4. С. 217-251. – URL: http://sccs.intelgr.com/archive/2015-04/14-Ushanev.pdf (дата обращения: 26.12.2017).

47. Макаренко С. И. Преднамеренное формирование информационного потока сложной структуры за счет внедрения в систему связи дополнительного имитационного трафика. // Вопросы кибербезопасности. 2014. № 3 (4). С. 7-13.

48. Ушанев К. В. Расчет операторов преобразования трафика для преднамеренного повышения структурной сложности информационного потока // Труды учебных заведений связи. 2017. Т. 3. № 2. С. 93-101.

49. Макаренко С. И., Коровин В. М., Ушанев К. В. Оператор преобразования трафика для преднамеренного повышения структурной сложности информационных потоков // Системы управления, связи и безопасности. 2016. № 4. С. 77-109. – URL: http://sccs.intelgr.com/archive/2016-04/04-Makarenko.pdf (дата обращения 05.12.2017).

References

1. Makarenko S. I. *Informatsionnoe protivoborstvo i radioelektronnaia borba v setetsentricheskikh voinakh nachala XXI veka. Monografiia* [Information warfare and electronic warfare to network-centric wars of the early XXI century. Monograph]. Saint Petersburg, Naukoemkie Tekhnologii Publ., 2017. 546 p. (in Russian).

2. Burenok V. M., Liapunov V. M., Mudrov V. I. *Teoriia i praktika planirovaniia i upravleniia razvitiem vooruzheniia* [Theory and practice of planning and managing the development of weapons]. Moscow, "Vooruzhenie. Politika. Konversiia" Publ., 2005. 418 p. (in Russian).

3. Alberts D. S., Garstka J. J., Stein F. P. *Network Centric Warfare: Developing and Leveraging Information Superiority*. 2-nd Edition (Revised). US Department of Defense, C4ISR Cooperative Research Program Publications Series, 2001. 292 p. Available at: http://www.dodccrp.org/files/Alberts_NCW.pdf (accessed 19 December 2017).

4. Drogovoz P. A., Chemezov S. V., Turko N. I., Kulikov S. A. Razvitie sistemy strategicheskogo menedzhmenta integrirovannykh struktur GK «Rostekhnologii» na osnove kontseptsii setetsentrichnosti [The development of the system of strategic management of integrated structures of "Russian technologies" Corporation on the basis of the Net-centric concept]. *Problemy strategicheskogo menedzhmenta i mekhanizmy voenno-grazhdanskoi integratsii v vysokotekhnologichnykh otrasliakh promyshlennosti* [Problems of strategic management and mechanisms of civil-military integration in high-tech industries]. Moscow, Academy of Military Sciences, 2011, p. 93 (in Russian).

5. Trahtengerts E. A. Use of two network-centric principles of modification of economic targets and strategy in crisis situations. *Large-scale Systems Control*, 2013, no. 43, pp. 289-329 (in Russian).

6 Efremov A. Iu., Maksimov D. Iu. Setetsentricheskaia sistema upravleniia – chto vkladyvaetsia v eto poniatie? [Network-centric control system – what is embedded in this concept?]. *Trudy tret'ei rossiiskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem 'Tekhnicheskie i programmnye sredstva sistem upravleniia, kontrolia i izmereniia'*. Moscow, Institute of Control Sciences RAS, 2012. pp. 159-161 (in Russian).

7. Makarenko A. V. Vvedenie v setetsentricheskie informatsionno-upravliaiushchie sistemy [Introduction to network-centric information management systems]. *Konstruktivnaia kibernetika. Issledovaniia. Razrabotki. Konsalting*, 2010. Available at: http://www.rdcn.ru/estimation/2010/03042010.shtml (accessed 03 July 2017) (in Russian).

8. Ivlev A. A. *Osnovy teorii Boida. Napravleniia razvitiia, primeneniia i realizatsii. Monografiia* [Fundamentals of the theory of Boyd. Areas of development, application and implementation]. Moscow, 2008. 64 p. (in Russian).

9. Griniaev S. N. *Pole bitvy – kiberprostranstvo. Teoriia, priemy, sredstva, metody i sistemy vedeniia informatsionnoi voiny* [Battlefield – cyberspace. Theory, techniques, tools, methods and systems of information warfare]. Moscow, Kharvest Publ., 2004. 426 p. (in Russian).

10. Sidorin A. N. Prishchepov V. M., Akulenko V. P. *Vooruzhennye sily USA v XXI veke: Voenno-teoreticheskii trud* [The U.S. armed forces in the XXI century]. Moscow, Kuchkovo pole Publ., 2013. 800 p. (in Russian).

11. Kopylov A. V. K voprosu o kritike kontseptsii «setetsentricheskikh» voin (operatsii) v amerikanskikh SMI [To the question of criticism of the concept of "network-centric" war (operations) in the American media]. *Voennaia istoriia i futurologiia*, 2011. Available at: http://www.milresource.ru/Kop-NCW.html (accessed 03 July 2017) (in Russian).

12. Kopylov A. V. O slabykh storonakh amerikanskoi kontseptsii ‘setetsentricheskikh voin (operatsii)’ [Weaknesses American concept of "network-centric warfare (operations)"]. *Military Thought*, 2011, no. 7, pp. 53-62 (in Russian).

13. Bedritskiy A. V. *Informatsionnaia voina: kontseptsii i ikh realizatsiia v SShA* [Information warfare: concepts and their implementation in the United States]. Moscow, The Russian Institute of Strategic Research, 2008. 187 p. (in Russian).

14. Makarenko S. I. Prospects and Problems of Development of Communication Networks of Special Purpose. *Systems of Control, Communication and Security*, 2017, no. 2, pp. 18-68. Available at: http://sccs.intelgr.com/archive/2017-02/02-Makarenko.pdf (accessed 21 December 2017) (in Russian).

15. Makarenko S. I. Descriptive Model of a Special Purpose Communication Network. *Systems of Control, Communication and Security*, 2017, no. 2, pp. 113-164. Available at: http://sccs.intelgr.com/archive/2017-02/05-Makarenko.pdf (accessed 21 December 2017) (in Russian).

16. Shneps-Shneppe M. A. *Telekommunikatsii Pentagona: tsifrovaia transformatsiia i kiberzashchita* [Telecommunications Pentagon: digital transformation and cyber defence]. Moscow, Goriachaia liniia – Telekom Publ., 2017. 272 p. (in Russian).

17. Shneps-Shneppe M. A. «Krasnyi telefon» na DISN seti kak rodimoe piatno v srede AS-SIP [The "red phone" on DISN network as a birthmark in the environment AS-SIP]. *International Journal of Open Information Technologies*, 2015, vol. 3, no. 6, pp. 7-12 (in Russian).

18. Shneps-Shneppe M. A., Namiot D. E. Ob evoliutsii telekommunikatsionnykh servisov na primere GIG [The evolution of telecommunication services on an example GIG]. *International Journal of Open Information Technologies*, 2015, vol. 3, no. 1, pp. 1-13 (in Russian).

19. Shneps-Shneppe M. A. Ot IN k IMS. O setiakh sviazi voennogo naznacheniia [About communication networks for military purposes]. *International Journal of Open Information Technologies*, 2014, vol. 2, no. 1, pp. 1-11 (in Russian).

20. Shneps-Shneppe M. A., Namiot D. E, Tsikunov Iu. V. Telekommunikatsii dlia voennykh nuzhd: set' GIG-3 po trebovaniiam kibervoiny [Telecommunications for military purposes: the network is GIG-3 according to the requirements of cyberwar]. *International Journal of Open Information Technologies*, 2014, vol. 2, no. 10, pp. 3-13 (in Russian).

21. Netes V. A. Nadezhnost' setei sviazi v period perekhoda k NGN [Reliability of communication networks in the period of transition to NGN]. *Vestnik sviazi*, 2007, no. 9, pp. 1-8 (in Russian).

22. Sokolov N. A. Sistemnye aspekty postroeniia i razvitiia setei elektrosviazi spetsial'nogo naznacheniia [The system aspects of the construction and development of telecommunication networks of special purpose]. *International Journal of Open Information Technologies*, 2014, vol. 2, no. 9, pp. 4-8 (in Russian).

23. Bobkov Ju. Ja., Tiutiunnikov N. N. *Kontseptual'nye osnovy postroeniia ASU Sukhoputnymi voiskami VS RF: monografiia* [Concepts of ACS of Land forces of armed forces of the Russian Federation. Monograph]. Moscow, Paleotip Publ., 2014. 92 p. (in Russian).

24. Antonovich P. I., Makarenko S. I., Mihaylov R. L., Ushanev K. V. New means of destructive effects on network centric military command, control and communication systems in the information space. *Vestnik Akademii voennykh nauk*. 2014, vol. 48, no. 3, pp. 93-101 (in Russian).

25. *O sviazi* [About the connection]. Federal law of Russia. 2003. (in Russian).

26. Makarenko S. I. Problemy i perspektivy primeneniia kiberneticheskogo oruzhiia v sovremennoi setetsentricheskoi voine [Problems and prospects for the use of cyber weapons in today's network-centric warfare]. *Specialized Machinery and Communication*, 2011, no. 3, pp. 41-47 (in Russian).

27. Makarenko S. I. The radio-electronic information influence on network of net-centric control system. *Vestnik Voenno-vozdushnoy akademii*, vol. 27, no. 3, pp. 108-117 (in Russian).

28. Sheluhin O. I., Sakalema D. Zh., Filinova A. S. *Obnaruzhenie vtorzhenii v komp'iuternye seti (setevye anomalii)* [Intrusion detection in computer networks (network anomalies)]. Moscow, Goriachaia liniia – Telekom Publ., 2013. 220 p. (in Russian).

29. Makarenko S. I., Tatarkov M. A. Model of Service the Non-Stationary Traffic in Communication System with CSMA. *Informatsionno-upravliaiushchie sistemy*, no. 1, 2012, pp. 44-50 (in Russian).

30. Makarenko S. I. The countermeasures of the radio networks with the random multiple access by changing the radionet state to non-stable. *Journal of Radio Electronics*, 2011, no. 9. Available at: http://jre.cplire.ru/jre/sep11/4/text.pdf (accessed 21 December 2017) (in Russian).

31. Makarenko S. I. Estimation of quality of service in radio network with package transmitting in unstationary mode under influence of external destructive factors. *Journal of Radio Electronics*, 2012, no. 6. Available at: http://jre.cplire.ru/jre/jun12/9/text.pdf (accessed 21 December 2017) (in Russian).

32. Makarenko S. I., Sinitsyn I. A. The Evaluation Procedure of the Quality of Service of M/M/N/Q Queuing System with Unsafe Channels and its Annex for the Analysis of Multi-Channel Radio Communication Systems in Noise Effect Environment is Presented. *Infocommunikacionnye tehnologii*, no. 4, 2014, pp. 24-32 (in Russian).

33. Makarenko S. I. Issledovanie vliianiia prednamerennykh pomekh na vozmozhnosti po retransliatsii soobshcheniia i pokazateli kachestva obsluzhivaniia

kanal'nogo urovnia modeli OSI dlia sistemy sviazi so sluchainym mnozhestvennym dostupom abonentov [The Study of the Influence of Intentional Interference at the Relay Capabilities of the Message and the Quality of Service Link Layer of the OSI Reference Model for Communication Systems with Random Multiple Access Subscribers]. *Informatsionnye tekhnologii modelirovaniia i upravleniia*, 2010, vol. 65, no. 6, pp. 807-815 (in Russian).

34. Kleinrock L. *Queueing Systems: Volume II – Computer Applications*. New York: Wiley Interscience, 1975. 576 p.

35. Bertsekas D., Gallager R. *Seti peredachi dannykh* [Data network]. Moscow, Mir Publ., 1989. 544 p. (in Russian).

36. Isaev V. V., Babusenko S. I. Statisticheskoe modelirovanie mnogoproletnykh setei paketnoi radiosviazi [Statistical modeling of multi-span networks, packet radio]. *Tekhnika sredstv sviazi: materialy 18 nauchno-tekhnicheskoi konferentsii* [Proceedings of the 18th scientific and technical conference "Technique of communication"], Voronezh, Research Institute of Telecommunications, 1992. (in Russian).

37. Babusenko S. I., Isaev V. V. Analiticheskaia model' marshrutizatsii v paketnoi seti [Analytical model of routing in a packet network]. *Tekhnika sredstv sviazi: materialy 18 nauchno-tekhnicheskoi konferentsii* [Proceedings of the 18th scientific and technical conference "Technique of communication"]. Voronezh, Research Institute of Telecommunications, 1992. (in Russian).

38. Babusenko S. I. Model' protsessa radiopodavleniia paketnoi radioseti s protokolom nenastoichivogo dostupa s proslushivaniem nesushchei [The process model of the jamming packet radio network Protocol nenastoychiv access with listening of carrier]. *Proceedings of 31 military-scientific conference of the Academy*. Leningrad, Military Academy of Communications, 1990. (in Russian).

39. Makarenko S. I., Mikhailov R. L., Novikov E. A. Issledovanie kanal'nykh i setevykh parametrov kanala sviazi v usloviiakh dinamicheski izmeniaiushcheisia signal'no–pomekhovoi obstanovki [The Research of Data Link Layer and Network Layer Parameters of Communication Channel in the Conditions Dynamic Vary of the Signal and Noise Situation]. *Journal of Radio Electronics*, 2014, no. 10. Available at: http://jre.cplire.ru/jre/oct14/3/text.pdf (accessed 21 December 2017) (in Russian).

40. Makarenko S. I., Mikhailov R. L., The model of the switch functioning in the network which applies the Spanning Tree Protocol and the net stability analysis in the conditions of the communication channels limited reliability. *Radio and telecommunication systems*, 2013, no. 2, pp. 61-68 (in Russian).

41. Makarenko S.I., Mikhaylov R.L. The Model of Functioning of the Router in the Case of Limited Reliability of Communication Channels. *Infocommunikacionnye tehnologii*, 2014, vol. 12, no. 2, pp. 44-49 (in Russian).

42. Makarenko S. I., Ryimshin K. Yu., Mixajlov R. L. Model of functioning of telecommunication object in the limited reliability of communication channel conditions. *Information Systems and Technologies*, 2014, vol. 86, no. 6, pp. 139-147 (in Russian).

43. Makarenko S. I. Convergence Time of IGP Routing Protocol. *Systems of Control, Communication and Security*, 2015, no. 2, pp. 45-98. Available at: http://sccs.intelgr.com/archive/2015-02/03-Makarenko.pdf (in Russian).

44. Makarenko S. I., Afanasev O. V., Baranov I. A., Samofalov D. V. Experimental analysis of the network reaction and the routing effects under conditions of noise-to-signal ratio dynamic changes. *Journal of Radio Electronics*, 2014, no. 4. Available at: http://jre.cplire.ru/jre/apr16/4/text.pdf (accessed 05 December 2017) (in Russian).

45. Ushanev K.V., Makarenko S. I. The Timeliness Indicators of Traffic Service in Queue Systems Pa/M/1 Based on Approximation of Imitating Modeling Results. *Systems of Control, Communication and Security*, 2016, no. 1, pp. 42-65. Available at: http://sccs.intelgr.com/archive/2016-01/03-Ushanev.pdf (accessed 05 December 2017) (in Russian).

46. Ushanev K. V. Simulation Models of Queuing Systems of Type Pa/M/1, H2/M/1 and Research on the Basis of their Quality of Service Traffic with a Complicated Structure. *Systems of Control, Communication and Security*, 2015, no. 4, pp. 217-251. Available at: http://journals.intelgr.com/sccs/archive/2015-04/14-Ushanev.pdf (accessed 26 August 2016) (in Russian).

47. Makarenko S. I. Premeditated formation of the traffic of difficult structure due to implementation in the communication system of additional imitative traffic. *Voprosy kiberbezopasnosti*, 2014, vol. 4, no. 3, pp. 7-13 (in Russian).

48. Ushanev K. V. The Calculation of the Traffic Transformation Operator for Deliberate Increase of the Structural Complexity of Information Stream. *Proceedings of Educational Institutes of Communication*, 2017, vol. 3, no. 2, pp. 93-101.

49. Makarenko S. I., Korovin V. M., Ushanev K. V. The Traffic Transformation Operator for Deliberate Increase of the Structural Complexity of the Information Stream. *Systems of Control, Communication and Security*, 2016, no. 4, pp. 77-109. Available at: http://sccs.intelgr.com/archive/2016-04/04-Makarenko.pdf (accessed 05 December 2017) (in Russian).

Статья поступила 21 декабря 2017 г.

Информация об авторе

Макаренко Сергей Иванович – кандидат технических наук, доцент. Заместитель генерального директора по научной работе – главный конструктор. ООО «Корпорация «Интел групп». Область научных интересов: сети и системы связи; радиоэлектронная борьба; информационное противоборство. E-mail: mak-serg@yandex.ru

Адрес: Россия, 197372, Санкт-Петербург, пр. Богатырский, д. 32, корп. 1 лит. А, офис 6Н.

Suppression of a Net-Centric Control System with Radio Cyber Attacks

S. I. Makarenko

Relevance. *Currently control systems architectures tend to the transition from hierarchical to net-centric principle of structure. A net-centric control system is a distributed system, which base elements are integrated into one information space. Such union makes contemporary destabilizing methods ineffective against net-centric control systems as they suppress and jam only individual components of the system. It is important to create new methods of net-centric control systems suppression.* ***The purpose of this paper*** *is to formulate a concept of new telecommunication systems suppression methods. Telecommunication systems are viewed as basic elements of the united information space in the net-centric control system. This paper also describes specific applications for new suppression methods based on existing technical equipment of electronic warfare.* ***Results.*** *New methods of radio cyber-attacks are presented as the evolution of contemporary jamming methods and are described in the paper. The proposed cyber-attacks suppress net-centric system functions by disrupting the multiple access protocols, routing protocols and QoS protocols of telecommunication systems. Unlike existing methods of radio suppression, which specialize only in disrupting individual network elements (links and network nodes), new methods focus on breaching primary functional telecommunication protocols.* ***Applicability.*** *Methods of radio cyber-attacks that are proposed in this paper can be applied to effectively disrupt the net-centric control systems. They also can be used in stability and firmness tests of net-centric control system elements.*

Keywords*: net-centric control system, electronic warfare, jamming, information warfare, , telecommunications network, network.*

Information about Author

Sergey Ivanovich Makarenko – Ph.D. of Engineering Sciences, Docent. Chief designer. “Intel Group Corporation” ltd. Field of research: stability of network against the purposeful destabilizing factors; electronic warfare; information struggle. E-mail: mak-serg@yandex.ru

Address: Russia, 197372, Saint Petersburg, Bogatyrskiy prospect, 32, korp. 1, lit. A, office 6N.

УДК 62–50:519.7/8

Интервальная математика и построение градуировочных характеристик средств измерения

Левин В. И.

Актуальность. *При проектировании различных средств измерения возникает задача построения так называемой градуировочной характеристики измерительного прибора, т.е. количественной зависимости результата измерений от измеряемой величины. Эта характеристика является обратной по отношению к прямой характеристике – зависимости измеряемой величины от результата измерений. Эту задачу решают на основе приближенных данных, получаемых в ходе эксперимента с измерительным прибором. В работе предложен новый метод решения данной задачи, основанный на аппарате интервальной математики.* ***Цель.*** *Целью работы является разработка полностью формализованного метода построения градуировочной характеристики измерительного прибора по приближенным данным, полученным в эксперименте с этим прибором.* ***Метод.*** *Предложенный в статье метод заключается в представлении функции прямого преобразования измерительного прибора в виде линейной интервальной функции, определении ее интервальных параметров (коэффициентов) по данным эксперимента и решении получившейся интервальной зависимости между результатом измерения и измеряемой величиной относительно измеряемой величины. При этом используется методика решения интервальных уравнений.* ***Результат****. Получены общие формулы, определяющие интервальную градуировочную характеристику измерительного прибора на основе данных, полученных в эксперименте с прибором. Выполнен детальный математический анализ этих формул. Установлены общие законы, которым подчиняются прямая и обратная (градуировочная) характеристики любого измерительного прибора, а также зависимость между прямой и обратной характеристиками.* ***Выводы.*** *В статье предложен новый подход к построению градуировочных характеристик измерительных приборов, основанный на использовании интервальной математики, для обработки данных экспериментов с приборами. Этот подход, в отличие от существующих, позволяет строить градуировочные характеристики измерительных приборов и анализировать их чисто аналитически.*

Ключевые слова: *измерительный прибор, градуировочная характеристика, измеряемая величина, результат измерений, интервальная математика.*

Введение

В период II Мировой войны в практику ведения военных действий западных стран (США, Англия, Канада) было введено много новых технологий, такие, как управление огнем зенитной артиллерии, обнаружение воздушных целей с помощью радаров, шифрование и дешифрование информации в системах связи и т.д. Все эти технологии в той или иной степени были связаны с изучением неопределенности, присущей любым военным действиям и любому процессу принятия решений, и использовали соответствующие математические

Библиографическая ссылка на статью:
Левин В. И. Интервальная математика и построение градуировочных характеристик средств измерения // Системы управления, связи и безопасности. 2017. № 4. С. 60-70. URL: http://sccs.intelgr.com/archive/2017-04/03-Levin.pdf

Reference for citation:
Levin V. I. Interval Mathematics and Constructing of Calibration Characteristics of Measuring Tools. *Systems of Control, Communication and Security*, 2017, no. 4, pp. 60-70. Available at: http://sccs.intelgr.com/archive/2017-04/03-Levin.pdf (in Russian).

методы, в первую очередь, теорию вероятностей и математическую статистику. После войны эти работы были продолжены во многих странах мира и распространены на гражданские объекты – технические, экономические, социальные. При этом расширилось понимание неопределенности, в которую стали включать не только случайность возможных исходов событий, но также их неединственность или даже неизвестность, дрейф переменных, семантическую неопределенность, неопределенность целей, многокритериальность при принятии решений, неопределенность моделей или структуры изучаемой системы и т.д. Новые технологии изучения неопределенности систем привели к появлению соответствующих новых математических методов этого изучения, таких как теория нечетких множеств, многозначная логика, теория сверхслучайных процессов и т.д. Одним из самых популярных методов стала интервальная математика, изучающая величины, определяемые с точностью до интервалов возможных значений. Конкретные практические задачи, которые приходится решать для систем и процессов, содержащих неопределенность, весьма разнообразны. Здесь и нахождение интервала неопределенности характеристики системы, и решение уравнений с неопределенными коэффициентами, и обработка данных экспериментов, и проверка гипотез по этим данным, и др. Одной из важнейших для практики является задача построения градуировочных характеристик измерительного прибора по данным эксперимента. Именно этой задаче и посвящена настоящая статья.

Обзор литературы

Проблемы количественного изучения систем и процессов, характеризуемых той или иной неопределенностью, возникли одновременно с появлением новых технологий моделирования этих систем (процессов) в период II Мировой войны. Соответствующими задачами на первом этапе применительно к военному делу, с позиции теории вероятностей и теории случайных процессов, занимались Н. Винер [1], А.Н. Колмогоров [2] и их ученики и последователи Ф. Морз, Д. Кимбелл [3], Е.С. Вентцель и др. [4]. Однако широкое развитие подобных исследований применительно к гражданским объектам, работающим в условиях неопределенности, началось в 1950–1960-е годы, с позиций математической статистики и ее специальных направлений – обработка данных и планирование экспериментов [5, 6]. В 1970-1980-е годы появилось более широкое понимание неопределенности, включившее не только случайность, но и неопределенность целей, незнание и неединственность возможных исходов, многокритериальность принятия решений. В связи с этим возникли новые подходы к количественному описанию неопределенности: теория нечетких множеств, неопределенность моделей, принятие решений в многокритериальных задачах [7–9]. А с 1980-х годов начали интенсивно применять подход, основанный на интервальной математике, позволяющий вычислять оценки характеристик неопределенных систем и процессов с гарантированной точностью [10–17]. Этот подход сначала применялся в метрологии для определения интервального значения заданной функции при интервальных значениях аргументов. Затем за рубежом этот подход развили для автоматического учета ошибок округления при

числовом решении задач на компьютерах, с выдачей результата не в виде числа, а в виде интервала. Это направление получило название интервальные вычисления. А в СССР (России) этот подход развили для нахождения области возможных значений результата вычисления функции с учетом неточно заданных ее аргументов, а также всей структуры данных и символического задания функции. Это направление получило название интервальный анализ или интервальная математика и рассматривалось как теоретическая основа для решения различных задач с неопределенностью в исходных данных и параметрах модели. Обстоятельный обзор соответствующих задач и результатов см. в [18] (см. также последние работы [19, 20]).

Постановка задачи

Рассмотрим основную задачу проектирования любого измерительного прибора – задачу построения градуировочной характеристики прибора по приближенным данным, полученным в эксперименте. Пусть функция преобразования измерительного прибора имеет вид

$$y = f(x), \tag{1}$$

где x – измеряемая величина, y – результат измерения, полученного с помощью этого прибора. Функция f в формуле (1) определяет некоторую прямую модель работы измерительного прибора. Задача заключается в том, чтобы по данным указанного эксперимента установить обратную модель работы измерительного прибора

$$x = \varphi(y), \tag{2}$$

и оценить ее погрешность. Функция φ в модели (2) является обратной по отношению к функции f в модели (1). Она называется градуировочной характеристикой измерительного прибора, а поставленная задача – задачей калибровки.

Задача калибровки может решаться методами математической статистики, соответствующий раздел которой называется теорией калибровки [21]. Однако такой подход связан со значительными трудностями. Эти трудности существенно уменьшаются при использовании методов интервальной математики [18]. При этом обычно применяют графический подход к построению градуировочной характеристики измерительного прибора. Между тем, использование интервальной математики позволяет строить указанную характеристику чисто аналитически, что упрощает процедуру построения и позволяет автоматизировать ее. Настоящая статья посвящена использованию интервальной математики для аналитического построения градуировочных характеристик измерительных приборов.

Решение задачи

Для определенности будем считать измерительный прибор линейным преобразователем. Тогда прямая функция преобразования прибора (1) является линейной функцией вида

$$y = a + bx. \tag{3}$$

Пусть проведен эксперимент по определению выходных значений y прибора по m его входным значениям x. При этом для каждого замеренного значения

x производится n замеров значения y. В результате получается таблица данных (табл. 1).

Табл. 1

x	x_1	x_2	…	x_m
y_1	y_{11}	y_{21}	…	y_{m1}
…	…	…	…	…
y_n	y_{1n}	y_{2n}	…	y_{mn}

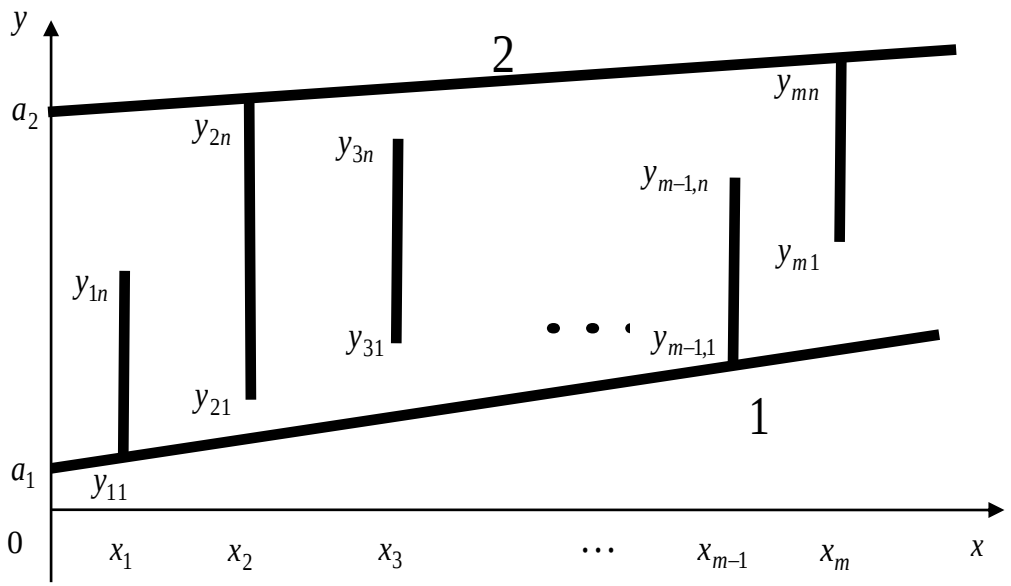

Рис. 1. Прямая интервальная функция – характеристика измерительного прибора (1 – нижняя граничная функция, 2 – верхняя граничная функция).

Соответствующее графическое представление множества данных результатов эксперимента представлено на рис. 1. Используя это представление, можно получить прямую функцию преобразования измерительного прибора в виде соответствующей прямой линейной модели работы этого прибора (3). Для получения данной функции, с учетом ее погрешности, нужно провести на рис.1 две прямые – минимальную верхнюю границу 2 множества данных на рисунке и максимальную нижнюю границу 1 этого множества. Уравнения этих прямых можно записать в виде

$$y_1 = a_1 + b_1 x \text{ (прямая 1)}; \; y_2 = a_2 + b_2 x \text{ (прямая 2)}. \tag{4}$$

Теперь нашу функцию представляет коридор между нижней и верхней прямыми 1 и 2. Аналитически эту функцию можно записать в виде интервальной прямой

$$\tilde{y} = \tilde{a} + \tilde{b} x, \tag{5}$$

где $\tilde{a} = [a_1, a_2]$, $\tilde{b} = [b_1, b_2]$ интервальные параметры, а $\tilde{y} = [y_1, y_2]$ – интервальная выходная переменная. Для решения задачи нахождения обратной к (5) интервальной функции, поставленной в § 3, нам остается решить уравнение (5) относительно x. Применим для этого интервальный метод [22]. Будем искать неизвест-

ную x в (5), с учетом возможности ее неточных значений, в форме интервала возможных значений

$$x = \tilde{x} = [x_1, x_2]. \tag{6}$$

С учетом (6) уравнение (5) переписывается в виде

$$\tilde{y} = \tilde{a} + \tilde{b}\tilde{x} \text{ или } [y_1, y_2] = [a_1, a_2] + [b_1, b_2] \cdot [x_1, x_2]. \tag{7}$$

Для решения уравнения (7) относительно $\tilde{X}$ используем алгоритм из работы [22].

Шаг 1. Приводим левую и правую части уравнения (7) к явному виду интервала. Учитывая, что согласно рис.1 в (5) $\tilde{a} > 0$, $\tilde{b} > 0$, $\tilde{x} > 0$, с помощью стандартных преобразований интервалов [22] находим: левая часть $\tilde{y} = [y_1, y_2]$, правая часть $\tilde{a} + \tilde{b}\tilde{x} = [a_1, a_2] + [b_1, b_2] \cdot [x_1, x_2] = [a_1, a_2] + [b_1 x_1, b_2 x_2] = [a_1 + b_1 x_1, a_2 + b_2 x_2]$.

Шаг 2. Представляем все уравнение (7) в явном интервальном виде

$$[y_1, y_2] = [a_1 + b_1 x_1, a_2 + b_2 x_2]. \tag{8}$$

Шаг 3. Переходим от интервального уравнения (8) к системе двух детерминированных уравнений, приравнивая одноименные границы правого и левого интервалов в (8). Получаем

$$\left.\begin{aligned} y_1 &= a_1 + b_1 x_1 \\ y_2 &= a_2 + b_2 x_2 \end{aligned}\right\} \tag{9}$$

Шаг 4. Решаем систему уравнений (9). Находим корни 1-го и 2-го уравнений.

$$x_1 = y_1 / b_1 - a_1 / b_1 \text{ (прямая 1)}, \; x_2 = y_2 / b_2 - a_2 / b_2 \text{ (прямая 2)}. \tag{10}$$

Пара корней (x_1, x_2), определяемых выражением (10), и есть искомое решение уравнения (7) относительно $\tilde{x} = [x_1, x_2]$. Это решение можно записать в явном виде в форме такой интервальной функции

$$\tilde{x} = [x_1, x_2] = [y_1 / b_1 - a_1 / b_1, y_2 / b_2 - a_2 / b_2]. \tag{11}$$

Нижняя граница этой функции является детерминированной функцией $x_1 = f_1(y_1)$, определяемой 1-м выражением (10), а верхняя граница – детерминированной функцией $x_2 = f_2(y_2)$, определяемой 2-м выражением (10).

Итак, интервальная функция, обратная по отношению к интервальной функции (7), дается выражением (11) и может быть представлена графически на рис. 2. Представление на рис. 2 учитывает, что в исходной, прямой интервальной функции (7) вследствие очевидного неравенства $y_1 < y_2$ параметр $\tilde{a} = [a_1, a_2]$ удовлетворяет условию

$$a_1 < a_2, \tag{12}$$

а в представляемой обратной интервальной функции (11) вследствие очевидного неравенства $x_1 < x_2$ параметры $\tilde{a} = [a_1, a_2]$ и $\tilde{b} = [b_1, b_2]$ удовлетворяют условию

$$-a_1 / b_1 < -a_2 / b_2. \tag{13}$$

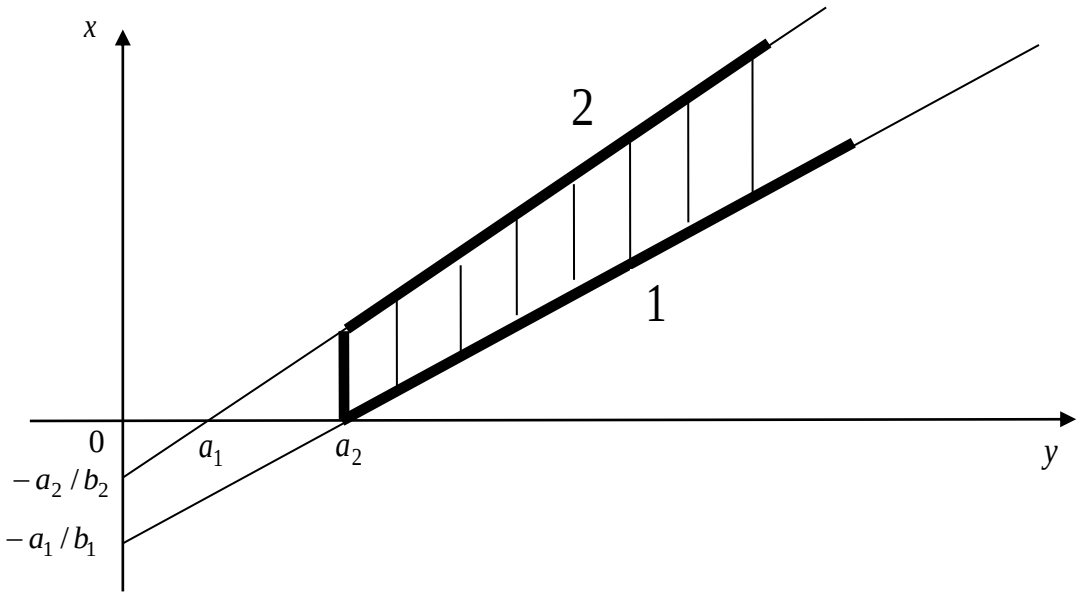

Рис. 2. Обратная интервальная функция – характеристика измерительного прибора (1 – нижняя граничная функция, 2 – верхняя граничная функция).

Таким образом, искомая интервальная функция, обратная по отношению к исходной интервальной функции (7), представляется коридором между нижней и верхней прямыми 1 и 2 (рис. 2), которые описываются уравнениями (10). Эта функция и есть искомая градуировочная характеристика измерительного прибора с определенной по результатам экспериментов функцией прямого преобразования измерительного прибора (7).

Погрешность Δ найденной обратной функции равна ширине коридора между прямыми 1 и 2 на рис. 2, т.е.

$$\Delta = x_2 - x_1 = (y_2/b_2 - a_2/b_2) - (y_1/b_1 - a_1/b_1) = (y_2 - a_2)/b_2 - (y_1 - a_1)/b_1. \quad (14)$$

Анализ решения

Проанализируем полученное выше решение. Целью нашего анализа является установление основных свойств прямой (7) и обратной (11) интервальных функций – характеристик измерительного прибора.

Свойство 1. Верхняя граница коридора, определяющего прямую интервальную функцию – характеристику измерительного прибора (прямая 2), расположена выше нижней границы этого коридора (прямой 1). Это свойство видно непосредственно на рис. 1. Оно следует из соотношения (12) между параметрами a_1 и a_2 прямых 1 и 2, определяющими начальные координаты (при $x = 0$) этих прямых.

Свойство 2. Верхняя граница коридора, определяющего обратную интервальную функцию – характеристику измерительного прибора (прямая 2), расположена выше нижней границы этого коридора (прямой 1). Это свойство видно непосредственно на рис. 2. Оно следует из соотношения (13) между параметрами $-a_1/b_1$ и $-a_2/b_2$ прямых 1 и 2, определяющими начальные (при $y = 0$) координаты этих прямых.

Свойство 3. Верхняя граница коридора, определяющего прямую интервальную функцию – характеристику измерительного прибора (прямая 2), наклонена к оси абсцисс под меньшим углом, чем нижняя граница этого коридора (прямая 1) (см. рис. 1), т.е.

$$b_2 < b_1. \tag{15}$$

Действительно, из неравенства (13) следует цепочка неравенств

$$(-a_1/b_1 < -a_2/b_2) \leftrightarrow (a_1/b_1 > a_2/b_2) \leftrightarrow (a_1/a_2 > b_2/b_1).$$

Но, в силу неравенства (12), $a_1/a_2 < 1$. Отсюда с помощью последнего неравенства цепочки получаем

$$b_2/b_1 < 1,$$

что равносильно(15).

Свойство 4. Верхняя граница коридора, определяющего обратную интервальную функцию – характеристику измерительного прибора (прямая 2), наклонена к оси абсцисс под большим углом, чем нижняя граница этого коридора (прямая 1) (см. рис. 2), т.е.

$$1/b_2 > 1/b_1. \tag{16}$$

Неравенство (16) следует непосредственно из неравенства (15).

Свойства 3 и 4 означают, что коридор, определяющий прямую интервальную характеристику измерительного прибора (рис. 1), при движении слева направо сужается, а коридор, определяющий обратную интервальную характеристику измерительного прибора (рис. 2) при таком же движении расширяется.

Обсуждение

Выше было показано, что дальнейшее развитие интервального подхода к обработке данных позволяет применить его к построению градуировочных характеристик средств измерения, осуществляя его более совершенными методами, чем это делалось раньше. А именно, используя аналитический аппарат интервальной математики. При этом появляются новые возможности в изучении свойств измерительных систем, такие как качественный анализ количественных характеристик этих систем, изменение этих характеристик при варьировании параметров элементов измерительных систем и др. Указанные новые возможности в изучении свойств измерительных систем открывают перспективы усовершенствования процессов проектирования этих систем, в частности, их автоматизации. Использование интервального подхода позволяет преодолеть трудности, которые возникают при построении градуировочных характеристик с помощью математической статистики.

Заключение

В настоящей статье сформулирована задача построения градуировочной характеристики измерительного прибора по данным прямого эксперимента, устанавливающего вход-выходное соотношение этого прибора. В отличие от известных подходов к решению данной задачи, основанных на математической статистике или на графоаналитических процедурах, используется чисто аналитический подход, основанный на математическом аппарате интервальной математики. Такой подход обеспечивает заметные преимущества – возможность ка-

чественного анализа характеристик измерительного прибора, возможность автоматизации его проектирования и др. В работе построен подробный алгоритм вычисления градуировочной характеристики измерительного прибора по данным экспериментально установленной вход-выходной характеристики этого прибора.

Литература

1. Wiener N. Extrapolation, Interpolation and Smoothing of Stationary Time Series. – N.-Y.: Technology Press and Wiley, 1949. – 180 p.

2. Колмогоров А. Н. Интерполирование и экстраполирование стационарных случайных последовательностей // Известия АН СССР. Математика. 1941. № 5. С. 3–14.

3. Methods of Operations Research / by P.M. Morse and G.E. Kimbal. – N.-Y.: J. Wiley, 1951. – 158 p.

4. Вентцель Е. С., Лихтерев Я. М., Мильграм Ю. Г., Худяков И. В. Основы теории боевой эффективности и исследования операций. – М.: ВВИА, 1961. – 524 с.

5. Налимов В. В., Чернова Н. А. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов. – М.: Наука, 1965. – 340 с.

6. Налимов В. В., Чернова Н. А. Теория эксперимента. – М. Наука, 1971. – 320 с.

7. Заде Л. А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. – М.: Мир, 1976. – 176 с.

8. Нариньяни А. С. Недоопределенность в системе представления и обработки знания // Известия АН СССР. Техническая кибернетика. 1986. № 5. С. 17–25.

9. Hyvonen E. Constraint Reasoning Based on Interval Arithmetic: the Tolerance Propagation Approach // Artificial Intelligence. 1992. Vol. 58. P. 19.

10. Moore R. E. Interval Analysis. – N.-Y.: Prentice-Hall, 1966. – 230 p.

11. Канторович Л.В. О некоторых новых подходах к вычислительным методам и обработке наблюдений // Сибирский математический журнал. 1962. Т. 3. № 5. С. 17–25.

12. Алефельд Г., Херцбергер Ю. Введение в интервальные вычисления. – М. Мир, 1987. – 360 с.

13. Вощинин А. П., Сотиров Г. Р. Оптимизация в условиях неопределенности. – М.: МЭИ, София: Техника, 1989. – 226 с.

14. Куржанский А. Б. Задача идентификации – теория гарантированных оценок // Автоматика и телемеханика. 1991. № 4. С. 75–89.

15. Левин В. И. Дискретная оптимизация в условиях неопределенности // Автоматика и телемеханика. 1992. № 7. С. 97–106.

16. Левин В. И. Булево линейное программирование с интервальными коэффициентами // Автоматика и телемеханика. 1994. № 7. С. 111–122.

17. Левин В. И. Интервальное дискретное программирование // Кибернетика и системный анализ. 1994. № 6. С. 92–103.

18. Вощинин А. П. Интервальный анализ данных: развитие и перспективы // Заводская лаборатория. 2002. Т. 68. № 1. С. 118–126.

19. Орлов А. И. Статистика интервальных данных // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2015. Т. 81. № 3. С. 61–69.

20. Скибицкий Н. В. Построение прямых и обратных статистических характеристик объектов по интервальным данным // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2017. Т. 83. № 1. С. 87–98.

21. Семенов Л. А., Сирая Т. Н. Методы построения градуировочных характеристик средств измерения. – М.: Изд-во стандартов, 1986. – 127 с.

22. Левин В. И. Интервальные уравнения и моделирование неопределенных систем // Системы управления, связи и безопасности. 2017. № 2. С. 101–112.

References

1. Wiener N. *Extrapolation, Interpolation and Smoothing of Stationary Time Series.* N.-Y.: Technology Press and Wiley, 1949. 180 p.

2. Kolmogorov A. N. Interpolirovanie i ekstrapolirovanie stacionarnyh sluchaynyh posledovatelnostey [Interpolation and Extrapolation of Stationary Random Sequences]. *Izvestiya AN SSSR. Matematika*, 1941, no. 5, pp. 3-14 (in Russian).

3. Morse P. M., Kimbal G. E. *Methods of Operations Research.* N.-Y., J. Wiley, 1951. 158 p.

4. Ventcel E. S., Lihterev Ya. M., Milgram Yu. G., Hudyakov I. V. *Osnovy teorii boevoy effektivnosti i issledovaniya operaciy* [Basis of theory of Combat Effectiveness and Operation Research]. Moscow, Air force engineering Academy, 1961. 524 p. (in Russian).

5. Nalimov V. V., Chernova N. A. *Statisticheskie metody planirovaniya ekstremalnyh eksperimentov* [Statistical Methods of Planning of Extremal Experiments]. Moscow, Nauka Publ., 1965. 340 p. (in Russian).

6. Nalimov V. V., Chernova N. A. *Teoriya eksperimenta* [Theory of Experiment]. Moscow, Nauka Publ., 1971. 320 p. (in Russian).

7. Zadeh L. A. The Concept of a Linguistic Variable and its Application to Approximate Reasoning. *Information Sciences*. 1975. no. 8, 9, pp. 199–249, 301–357; 43–80.

8. Narinjyani A. S. Nedoopredelennostj v sisteme predstavleniya i obrabotki znaniya [Uncertainty in System of Presenting and Transforming of Knowledge]. *Izvestiya AN SSSR. Tekhnicheskaya kibernetika* [Transactions of Academy of Science of USSR. Technical Cybernetics], 1986, no. 5, pp. 17–25 (in Russian).

9. Hyvonen E. Constraint Reasoning Based on Interval Arithmetic: the Tolerance Propagation Approach. *Artificial Intelligence*, 1992, vol. 58, pp. 19.

10. Moore R. E. *Interval Analysis*. N.-Y.: Prentice-Hall, 1966. 230 p.

11. Kantorovich L. V. *O nekotoryh novyh podhodah k vyhchislitelnym metodam i obrabotke nablyudeniy* [About some new approaches to Computing Methods and Observation Processing]. *Sibirskiy matematicheskiy zhurnal* [Siberian Mathematics Journal], 1962, vol. 3, no. 5, pp. 17–25 (in Russian).

12. Alefeld G., Herzberger J. *Introduction to Interval Computation*. N.Y.: Academic Press, 1983. 352 p.

13. Voschinin A. P., Sotirov G. R. *Optimizaciya v usloviyah neoprede-lennosti* [Optimization in Condition of Uncertainty]. Moscow, Moscow Power Engineering Institute, 1989. 226 p. (in Russian).

14. Kurzhanskii A. B. Identification Problem – Theory of Guaranteed Estimates. *Automation and Remote Control*, 1991, vol. 52, no. 4, part 1, pp. 447–465.

15. Levin V. I. Discrete Optimization under Interval Uncertainty. *Automation and Remote Control*, 1992, Vol. 53, no. 7, pp. 1039–1047.

16. Levin V. I. Boolean Linear Programming with Interval Coefficients. *Automation and Remote Control*, 1994, vol. 55, no. 7, pp. 1019–1028.

17. Levin V. I. Interval Discrete Programming. *Cybernetics and Systems Analysis*, 1994, vol. 30, no. 6, pp. 866–874.

18. Voschinin A. P. Intervalniy analiz dannyh: razvitie i perspektivy [Interval Data Analysis]. *Industrial Laboratory*, 2002, vol. 68, no. 1, pp. 118–126 (in Russian).

19. Orlov A. I. Statistika intervalnyh dannyh [Statistics of Interval Data]. *Industrial Laboratory*, 2015, vol. 81, no. 3, pp. 61–69 (In Russian).

20. Skibickiyj N. V. Postroenie pryamyh i obratnyh statisticheskih harakteristik objektov po intervalnym dannym [Constructing of Straight and Reverse Characteristics of Objects From Interval Data]. *Industrial Laboratory*, 2017, vol. 83, no. 1, pp. 87–98 (in Russian).

21. Semenov L. A., Siraya T. N. *Metody postroeniya graduirovochnyh harakteristik sredstv izmereniya* [Methods of Constructing of Calibration Characteristics of Measuring Devices]. Moscow, Izd-vo standartov, 1986. 127 p. (in Russian).

22. Levin V. I. Interval Equations and Modeling of Indeterminate Systems]. Systems of Control, Communications and Security, 2017, no. 2, pp. 101–112 (in Russian).

Статья поступила 30 января 2018 г.

Информация об авторе

Левин Виталий Ильич – доктор технических наук, профессор, PhD, Full Professor. Заслуженный деятель науки РФ. Пензенский государственный технологический университет. Область научных интересов: логика; математическое моделирование в технике, экономике, социологии, истории; принятие решений; оптимизация; теория автоматов; теория надежности; распознавание; история науки; проблемы образования. E-mail: vilevin@mail.ru

Адрес: 440039, Россия, г. Пенза, пр. Байдукова/ул. Гагарина, д. 1а/11.

Interval Mathematics and Constructing of Calibration Characteristics of Measuring Tools

V. I. Levin

Relevance. *When designing various measuring instruments, the problem arises of constructing the so-called calibration characteristic of a measuring device, i.e. the quantitative dependence of the measurement result on the measured value. This characteristic is inverse to the direct characteristic – the dependence of the measured value on the measurement result. This problem is solved on the basis of approximate data obtained during the experiment with the measuring instrument. A new method for solving this problem is proposed, based on the apparatus of interval mathematics.* ***Goal.*** *The aim of the work is to develop a completely formalized method for constructing the calibration characteristic of a measuring instrument from approximate data obtained in the experiment with this instrument.* ***Method.*** *The method proposed in the article consists in presenting the function of direct conversion of a measuring device in the form of a linear interval function, determining its interval parameters (coefficients) from the experimental data and solving the resulting interval dependence between the measurement result and the measured quantity with respect to the measured value. The method of solving interval equations is used.* ***Result.*** *General formulas are obtained that determine the interval calibration characteristic of the measuring instrument on the basis of the data obtained in the experiment with the instrument. A detailed mathematical analysis of these formulas is performed. General laws are established that obey the direct and inverse (calibration) characteristics of any measuring instrument, as well as the relationship between direct and inverse characteristics.* ***Conclusions.*** *The article proposes a new approach to the construction of calibration characteristics of measuring instruments, based on the use of interval mathematics, for processing data from experiments with instruments. This approach, unlike existing ones, makes it possible to build calibration characteristics of measuring devices and analyze them purely analytically.*

Keywords: *measuring instrument, calibration characteristic, measured value, measurement result, interval mathematics.*

Information about Author

Vitaly Ilich Levin – Doctor of Technical Sciences, Full Professor. Honoured Scientist of Russia. Penza State Technological University. Field of Research: logic; mathematical modeling in technics, economics, sociology, history; decision making, optimization, recognition, automata theory, reliability theory, history of science, problems of education. E-mail: vilevin@mail.ru

Address: Russia, 440039, Penza, pr. Baydukova / Gagarin st., 1a/11.

УДК 621.391.28

Реализация метода многоуровневого комплексного контроля технического состояния морского робототехнического комплекса

Будко П. А., Виноградeнко А. М., Кузнецов С. В., Гойденко В. К.

Постановка задачи: *при эксплуатации сложных многоуровневых систем, таких как морские робототехнические комплексы, их работоспособность всегда характеризуется большим числом параметров, контроль которых целесообразно осуществлять в несколько этапов. На первом этапе по какому-либо обобщенному показателю проводят проверку системы на работоспособность и, в случае обнаружения аварийной, или предаварийной ситуации, на последующих этапах в результате более тщательного контроля с использованием информации локального, регионального или глобального контура организации управления судят о ее реальном состоянии. Такая процедура контроля приводит к значительному сокращению времени проверок и объемов циркулирующей в системе служебной информации.* ***Целью работы*** *является выработка технических решений по реализации метода многоуровневого комплексного контроля технического состояния морского робототехнического комплекса, позволяющего осуществлять диагностику предаварийного и аварийного состояния радиоэлектронного оборудования его подсистем в режиме on-line.* ***Используемый научно-методический аппарат.*** *Решение задачи контроля и диагностики основано на проведении мониторинга изменения среднего уровня многопараметрического процесса путем построения карты Хотеллинга. Для совмещения показаний различных типов датчиков использован метод, основанный на сетке выбросов и Байесовском выводе, модифицированный для построения трехмерной модели технического состояния радиоэлектронного оборудования робототехнического комплекса на основе поверхности точек.* ***Новизна.*** *Элементами новизны представленного метода многоуровневого комплексного контроля являются то, что для принятия решения о полученной измерительной информации осуществляют позначное весовое мажоритарное сложение сигналов, поступивших с весовыми коэффициентами от нескольких типов датчиков на уровнях платы, блока, а также модуля радиоэлектронного оборудования. При этом осуществляется процесс комплексирования измерительной информации, поступающей от датчика напряжения, датчика напряженности магнитного поля, датчика влажности воздуха и тепловизора.* ***Результатом*** *предложенных технических решений стали метод многоуровневого комплексного контроля технического состояния морского робототехнического комплекса, работающий по одноименному алгоритму, вероятностный граф распознавания технических состояний радиоэлектронного оборудования, а также схемная реализация устройства, осуществляющая предложенный метод и блок принятия решения в виде структурной, функциональной и принципиальной схем.* ***Практическая значимость:*** *предложенные метод многоуровневого комплексного контроля технического состояния морского робототехнического комплекса, устройство многоуровневого комплексного контроля технического состояния радиоэлектронного оборудования и блок принятия решения позволяют повысить достоверность результатов идентификации технического состояния радиоэлектронного оборудования подсистем робототехнического комплекса и расширить область применения технических средств контроля и диагностики.*

Ключевые слова: *робототехнический комплекс, радиоэлектронное оборудование, многоуровневый контроль, диагностика, идентификация, класс технического состояния, комплексирование измерительной информации.*

Библиографическая ссылка на статью:

Будко П. А., Виноградeнко А. М., Кузнецов С. В., Гойденко В. К. Реализация метода многоуровневого комплексного контроля технического состояния морского робототехнического комплекса // Системы управления, связи и безопасности. 2017. № 4. С. 71-101. URL: http://sccs.intelgr.com/archive/2017-04/04-Budko.pdf

Reference for citation:

Budko P. A., Vinogradenko A. M., Kuznetsov S. V., Goydenko V. K. Realization of a Method of Multilevel Complex Control of Technical Condition of a Sea Robot. *Systems of Control, Communication and Security*, 2017, no. 4, pp. 71-101. Available at: http://sccs.intelgr.com/archive/2017-04/04-Budko.pdf (in Russian).

Актуальность

Воздействующие на радиоэлектронные системы (РЭС) различные внутренние и внешние факторы неизбежно вызывают постепенное изменение характеристик ее элементов, а в конечном итоге и ее работоспособности. Трудоемкость и временные затраты на выявление и устранение дефектов в местах их возникновения достаточно велики. На данный момент при растущей сложности современных РЭС, увеличении числа контролируемых параметров, миниатюризации размеров элементов, а также низкого уровня использования систем, выполняющих функции прогнозирования и диагностирования предаварийного состояния, актуальными являются задачи прогнозирования отказов в рабочем режиме, снижения времени восстановления, уменьшения ресурсов сил и средств, требуемых для диагностирования. Это возможно достичь при использовании неразрушающих методов контроля и диагностики. Некоторые виды неразрушающего контроля приведены на рис. 1.

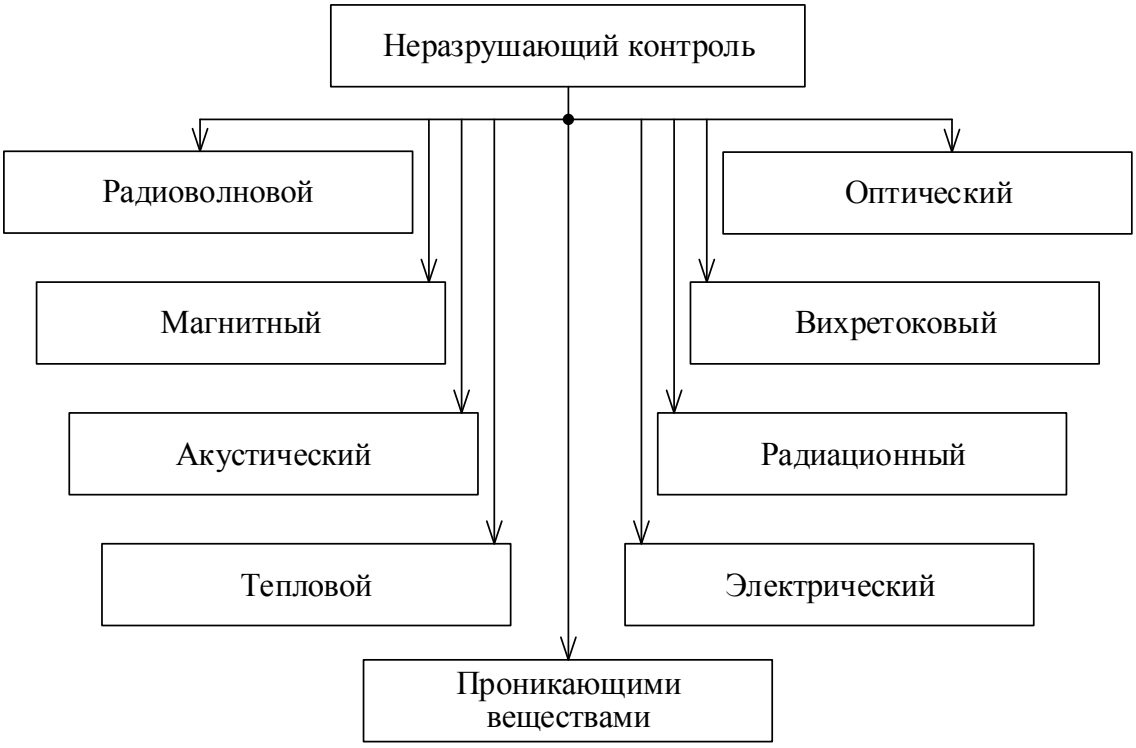

Рис. 1. Виды неразрушающего контроля

Особенно важен неразрушающий контроль для таких необитаемых (необслуживаемых) объектов как роботизированные комплексы, автономные космические и подводные аппараты, автоматизированные узлы связи и радиоцентры, малообитаемые отсеки кораблей и подводных лодок и т. д., где исключено проведение контрольных и диагностических функций радиоэлектронной аппаратуры обслуживающим персоналом. И здесь важно, что сбор диагностической информации необходимо осуществлять *в режиме реального времени*, не допуская перехода предаварийного технического состояния объекта контроля в аварию.

В статье представлен метод многоуровневого комплексного контроля технического состояния морского робототехнического комплекса (МРТК),

представляющий собой совокупность способов и устройство комплексного контроля и диагностики радиоэлектронных модулей комплекса, основанный на комплексировании измерительной информации, поступающей в реальном режиме времени от датчика напряжения, датчика напряженности магнитного поля, тепловизора, и датчика влажности воздуха с дальнейшей мажоритарной обработкой поступающей измерительной информации для анализа и принятия решения на управляющее воздействие со стороны оператора.

Морской робототехнический комплекс как объект контроля

Рассматривая МРТК как сложную техническую систему [1, 2], в нем можно выделить ряд подсистем, рис. 2:

- управляющая (решение задач функционального назначения);
- управления движением;
- навигации;
- радиосвязи;
- гидроакустической связи (ГАС);
- освещения подводной, надводной и воздушной обстановки;
- энергообеспечения;
- управления полезной нагрузкой;
- контроля и диагностики.

При этом основными подсистемами, с которыми взаимодействуют все остальные, являются управляющая подсистема и подсистема контроля и диагностики.

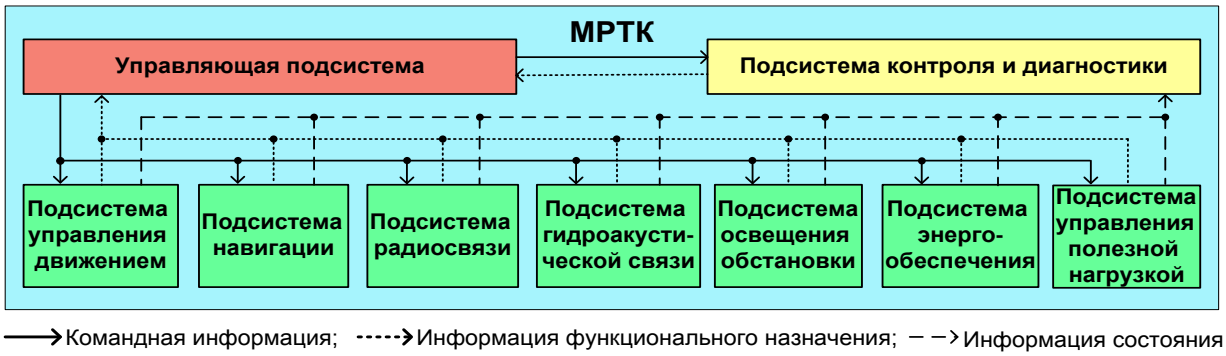

Рис. 2. Организация взаимодействия подсистем МРТК

Управляющая подсистема должна реализовывать набор алгоритмов, направленных на достижение целей применения МРТК [1, 2]. Она взаимодействует с остальными подсистемами, формируя управляющие воздействия (командную информацию) путем обработки информации функционального назначения от подсистем (текущие координаты от подсистемы навигации, принятые команды по каналам связи от подсистем радиосвязи или ГАС, и т. п.). Подсистемы формируют информацию о своем техническом состоянии, которая посредством подсистемы контроля и диагностики также доводится до управляющей подсистемы для применения в процессе выработки командной информации. При этом важно выявление предаварийного состояния подсистем МРТК,

когда еще возможно проведение цикла управляющих воздействий на выход из этого состояния. Это связано с тем, что констатация аварийного состояния комплекса, особенно при выполнении им целевой задачи, зачастую равносильно потере МРТК. В связи с чем, разработка подсистемы контроля и диагностики МРТК, а также алгоритмов её функционирования имеет важное значение [2].

Подсистему контроля и диагностирования МРТК предлагается строить на основе метода распределенного контроля [3, 4] по нескольким контурам управления (по количеству подконтрольных подсистем, рис. 3). При этом МРТК, как сложную систему, включающую $N(k)$ подсистем (узлов) на k-м уровне управления (глобальном – от центра управления, групповом – при действии МРТК в составе группы комплексов, локальном – от управляющей подсистемы МРТК), в условиях воздействия на него дестабилизирующих факторов, контролируют несколькими методами неразрушающего контроля. Это позволяет повысить достоверность фиксирования предаварийного или аварийного состояния и осуществить управляющее воздействие, которое исключит потерю МРТК.

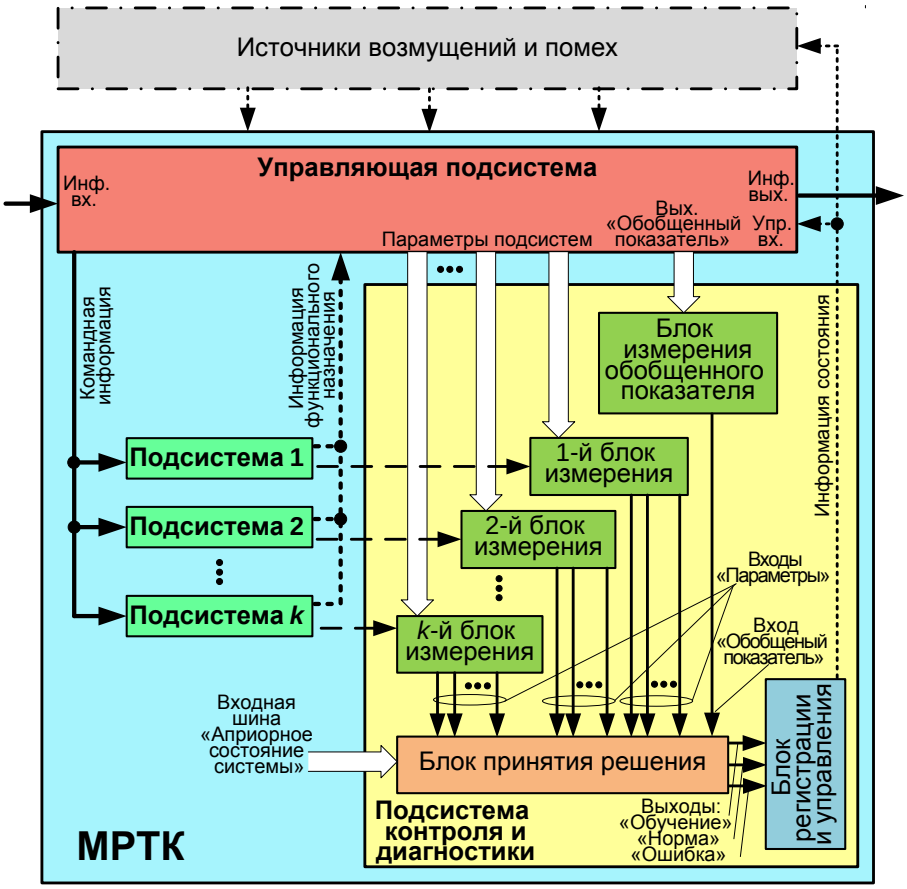

Рис. 3. Структурная схема построения подсистемы контроля и диагностики

Постановка задачи

Возможность реализации заявленного метода опирается на использование неразрушающих методов контроля и диагностики, применяемых в различных отраслях промышленной электроники и электротехники [1-6]. Так известен способ распределенного контроля и адаптивного управления многоуровневой системой [3], однако его недостатком является то, что в процессе выработки

управляющего воздействия постоянно используется вся, доступная измерению информация, что в распределенной системе (на глобальном контуре контроля) не только вызывает избыточность измерительной информации, но и приводит к тому, что в процессе функционирования сети (измерительной сети, сенсорной сети) все измерительные средства находятся в активном состоянии.

Также известны устройства, реализующие неразрушающие виды контроля [7-34], например, устройство автоматизированного контроля технического состояния электрооборудования [12], однако их недостатками является относительно высокая вероятность ошибки при измерении малых отклонений параметров контролируемых электроустановок от нормы в рабочих режимах. Это приводит к тому, что отклонение контролируемого параметра от нормы может быть не зафиксировано, при этом идентификация отклонений контролируемых параметров от нормы ведется только по одному признаку (напряженность магнитного поля). Этим объясняется низкая достоверность результатов идентификации технического состояния контролируемого объекта. Кроме того, эти устройства имеют относительно большое время поиска неисправности, поскольку для выбора оптимального источника измерительной информации (датчика, сенсора) из числа заданных необходимо осуществить последовательный контроль всех существующих источников. Обоснованный выбор оптимального датчика отсутствует. Это обусловлено тем, что в устройстве автоматизированного контроля технического состояния электрооборудования [12] предварительный контроль с учетом различных состояний объектов контроля отсутствует.

Кроме промышленной электроники и электротехники неразрушающие методы контроля активно применяются и в отрасли телекоммуникаций [14, 16, 19-21, 35-39,]. К недостаткам блоков принятия решения таких устройств [12, 19-21] относятся высокая вероятность отказа в обслуживании, вызванная тем, что назначение порогов срабатывания системы контроля осуществляется без учета общего состояния системы связи и уровня загрузки буферных устройств в узлах коммутации, что вызывает блокировку узлов в загруженной сети. Также к недостаткам этих блоков неразрушающего контроля можно отнести достаточно низкую производительность и высокий коэффициент простоя, поскольку для контроля сложных технических систем и идентификации их состояния необходимо производить измерение, преобразование и обработку большого числа параметров, что нередко связано с отключением системы и ее простаиванием.

В связи с указанными недостатками современных методов и устройств контроля для необитаемых (малообитаемых) объектов контроля ставится задача на разработку метода многоуровневого комплексного контроля технического состояния МРТК и технических решений со схемной реализацией, позволяющих осуществлять диагностику предаварийного и аварийного состояния радиоэлектронных модулей подсистем МРТК в режиме *on-line*.

Достижимость технического результата и его новизна

Техническим результатом, достигаемым с помощью предложенных метода многоуровневого комплексного контроля технического состояния МРТК, устройства для его осуществления и блока принятия решения, рис. 4, является:

- повышение достоверности результатов идентификации технического состояния объектов контроля;
- расширение области применения технических средств контроля и диагностики;
- определение классов технических состояний объектов контроля;
- идентификация отклонений параметров контролируемых объектов от нормы по нескольким признакам (температура, напряженность магнитного поля, напряжение, влажность воздуха);
- снижение избыточности измерительной информации в системе контроля.

При рассмотрении метода многоуровневого комплексного контроля технического состояния МРТК под термином «радиоэлектронное оборудование» будем понимать совокупность всего радиоэлектронного оборудования (РЭО) МРТК на всех уровнях разукрупнения его подсистем (плата, блок, модуль).

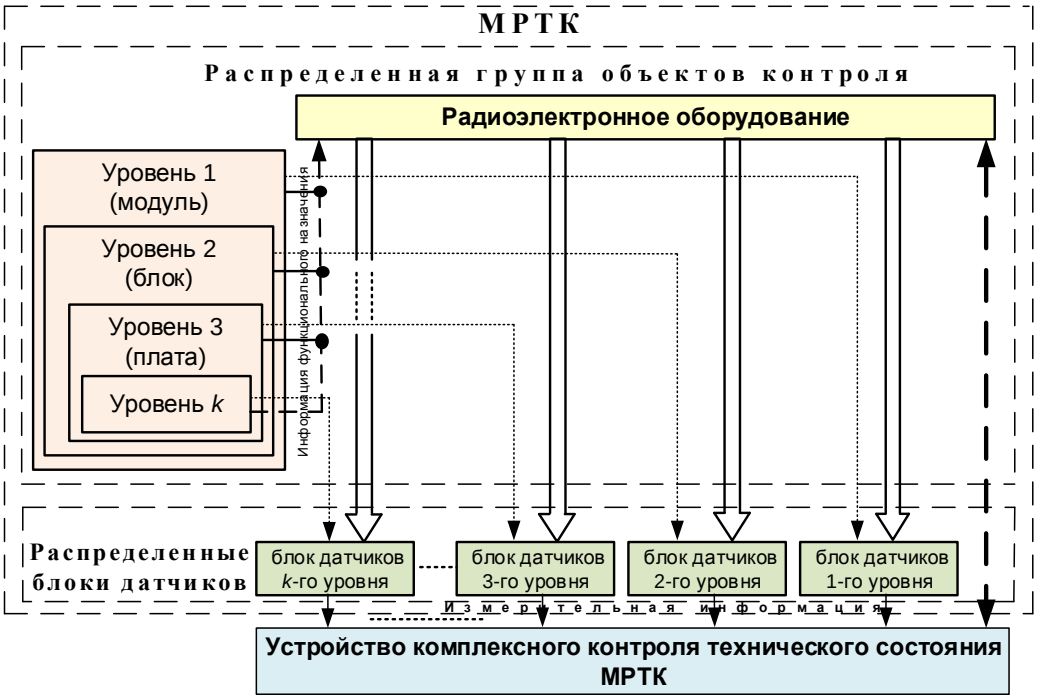

Рис. 4. Структурная схема устройства многоуровневого комплексного контроля технического состояния МРТК

В известном методе распределенного контроля и адаптивного управления K-уровневой системой [3], включающую $N(k)$ элементов РЭО, контролируют каждый $n(k)$-й элемент на каждом k-ом уровне, где $k = 1, 2, \ldots, K$, а $n(k) = 1, 2, \ldots, N(k)$, и характеризуют j контролируемыми параметрами, находящимися в условиях случайных выходов значений за допустимые пределы. Оценку состояния системы проводят поэтапно, причем предварительно, на каждом k-м уровне разукрупнения РЭО, на основе статистического анализа из-

меряемых параметров элементов РЭО формируют группы диапазонов достоверности $M(k, n)$. На заведомо работоспособных элементах РЭО по разносторонним признакам создают их «рабочий профиль», который запоминают в виде эталонных матриц технического состояния (ТС). Измеряют мгновенные значения сигналов с выходов j датчиков, а результаты измеренных мгновенных значений сигналов оцифровывают и запоминают в виде векторов цифровой последовательности длиной N. Из полученных векторов цифровой последовательности длиной N, формируют матрицу ТС размерностью $N \times N$, которую сравнивают с эталонными матрицами ТС «рабочего профиля». С учетом скорости выхода контролируемого параметра за пределы диапазона достоверности определяют уровень предаварийного состояния контролируемого элемента РЭС [16, 17]. По наибольшему числу совпадений элементов сравниваемых матриц и уровню предаварийного состояния оценивают ТС элементов РЭО МРТК и идентифицируют место отказа.

При этом комплексный характер контроля заключается в получении измерительной информации об элементе РЭО, основанной на j разносторонних признаках: электромагнитном отклике, теплограмме, влажности воздуха, напряжении и др., соответственно, от датчика напряженности магнитного поля, тепловизора, датчика влажности воздуха, датчика напряжения и др.

Мониторинг изменения среднего уровня многопараметрического процесса осуществляют путем построения карты Хотеллинга. С учетом контролируемых j показателей многопараметрического процесса $X_1, X_2, ..., X_p$ результаты наблюдений контролируемого показателя анализируются [39]: для каждой t-ой мгновенной выборки ($t = 1, ..., m$) рассчитывается статистика

$$T_t^2 = u(\overline{X}_t - \mu_0)^{\mathrm{T}} S^{-1} (\overline{X}_t - \mu_0). \quad (1)$$

где S – оценка ковариационной матрицы Σ; u – объем выборки; μ_0 – вектор целевых средних; $\overline{X}_t$ – вектор средних в t-ой выборке (оценка вектора μ). Положение контрольной границы карты Хотеллинга определяется формулой

$$T_{кр}^2 = \frac{j(m-1)(u-1)}{mu - m - j + 1} F_{1-\alpha}\left(j, mu - m - j + 1\right), \quad (2)$$

где $F_{1-\alpha}\left(k_1, k_2\right)$ – квантиль F-распределения Фишера с числами степеней свободы k_1 – в числителе, k_2 – в знаменателе; α – вероятность ложной тревоги.

Для принятия решения о полученной измерительной информации, осуществляют позначное весовое мажоритарное сложение r_n сигналов измерительной информации, поступивших с весовыми коэффициентами от j типов датчиков на k уровнях РЭО, заключающееся в вычислении значения сумм:

$$\sum_{j=1}^{q(r_1)} K_j\left(r_1\right), \ \sum_{j=1}^{q(r_n)} K_j\left(r_n\right), \quad (3)$$

осуществляемое с использованием формулы

$$K_j = \ln \frac{\left(\Theta - 1\right)\left(1 - p_{\text{ош}\, j}\right)}{p_{\text{тр}\, j}}, \quad (4)$$

где: K_j – значение результирующего сигнала о аварийном состоянии элемента МРТК, принадлежащий алфавиту из Θ разрешенных знаков (в пределах допусков); $p_{\text{ош}\,j}$ – вероятность поступления «ошибочного» сигнала аварии; $p_{\text{тр}\,j}$ – вероятность поступления сигнала о техническом состоянии объекта контроля, находящегося в пределах диапазона достоверности; $q(r_1)$, $q(r_n)$ – численные значения принятых сигналов аварии $r_1, r_2, \ldots, r_n$, содержащихся в зарегистрированных n коалиционных группах, поступивших от j датчиков.

Распознавание классов ТС РЭО МРТК осуществляют по алгоритму распознавания классов элементов РЭО, включающего три этапа работы:

1) обнаружения отказа радиоэлектронного оборудования МРТК;
2) идентификация ошибок контроля;
3) распознавание класса технического состояния МРТК.

Повышение достоверности результатов идентификации ТС объектов контроля и расширение области применения технических средств контроля и диагностики РЭО обеспечивается благодаря введенной последовательности действий, основанной на анализе статистики выходов контролируемых параметров за пределы диапазона достоверности, получении измерительной информации по разносторонним признакам, применении многоэтапной процедуры комплексного контроля параметров РЭО, определении класса ТС и места отказа в оборудовании, а также учете позначного весового мажоритарного сложения измерительной информации.

В устройстве многоуровневого комплексного контроля технического состояния РЭО МРТК, которое реализует метод многоуровневого комплексного контроля повышение достоверности полученной измерительной информации о ТС РЭО достигается за счет комплексной регистрации отклонений номиналов напряженности магнитного поля, температуры, напряжения и влажности воздуха, характеризующих техническое состояние объектов контроля, а также прогнозирование аварийных состояний контролируемого РЭО МРТК за счет регистрации его предаварийных состояний, идентифицируемых скоростью отклонений контролируемых параметров от границ диапазона достоверности.

Благодаря наличию блока принятия решения обеспечивается распознавание классов технического состояния РЭО МРТК, осуществляемого по алгоритму распознавания классов технического состояния. Поскольку реализация метода многоуровневого комплексного контроля технического состояния РЭО МРТК осуществляется с применением статистической теории распознавания образов и статистической теории принятия решений, то критерием качества является суммарный сигнал о выбросах (выходах контролируемых параметров за границы диапазона достоверности), которые возникают на первом и последующих этапах контроля. Это обстоятельство использовано для построения блока идентификации технического состояния, в котором при формировании порогов используются априорные сведения о состоянии системы при нормальном функционировании и при возникновении аварийных состояний.

Реализация метода многоуровневого комплексного контроля технического состояния радиоэлектронного оборудования МРТК

Предложенный метод многоуровневого комплексного контроля технического состояния РЭО МРТК, поясняется способами автоматизированного контроля технического состояния РЭО [3, 5, 8-10, 12-15], исходными данными, которых являются напряженность магнитного поля [12], тепловизионная «картина» контролируемого объекта [39], напряжение в контрольных точках [8, 10], а также, оценка сторонних признаков (влажность воздуха), влияющие на техническое состояние РЭО. На рис. 5. представлен алгоритм, реализующий способ многоуровневого комплексного контроля технического состояния РЭО МРТК.

Первым этапом представленного алгоритма является этап анализа, включающего девять подэтапов (шагов).

На шаге 1 определяют исходные данные, ограничения и допущения.

На шаге 2 на формируют пороговые значения на контролируемые параметры и устанавливают на k уровнях РЭО (платы, блока, стойки, отсеки и др.) в виде $M(k, n)$ групп диапазонов достоверности.

На шагах 3-4 для каждого контролируемого элемента РЭО, на заведомо работоспособных экземплярах, по разносторонним признакам создают их «рабочий профиль» и запоминают его в виде эталонных матриц $g_1^*...g_n^*$ технического состояния.

На шаге 5 измеряют мгновенные значения сигналов, поступающих с датчиков напряженности магнитного поля, влажности воздуха, напряжения, тепловизора, пропорционально изменяемым во времени напряженности внешнего магнитного поля, влажности воздуха, напряжению и температуре, создаваемых контролируемым элементом РЭО в рабочем режиме [7].

На шаге 6 по изменению среднего уровня результатов измерения технического состояния РЭО осуществляют построение карты Хотеллинга [39] в виде поверхности точек в трехмерном пространстве, при этом каждая точка r поверхности представлена следующими величинами:

1) математическим ожиданием m_x положения в трехмерном пространстве r_x, r_y, r_z;
2) матрицей ковариации r_δ, задающей дисперсию трехмерного нормального распределения положения точки;
3) вероятностью параметрического отказа $r_{\text{отк}}$;
4) вероятностями получения измерительного сигнала о предаварийных состояниях N элементов РЭС r_{d_i}, где $i \in 1,...,N$.

На шагах 7-9 оцифровывают измеренные мгновенные значения сигналов, поступающих с датчиков и запоминают в виде векторов цифровой последовательности длиной N, из которых формируют матрицу ТС $g_1...g_n$ размерностью $N \times N$.

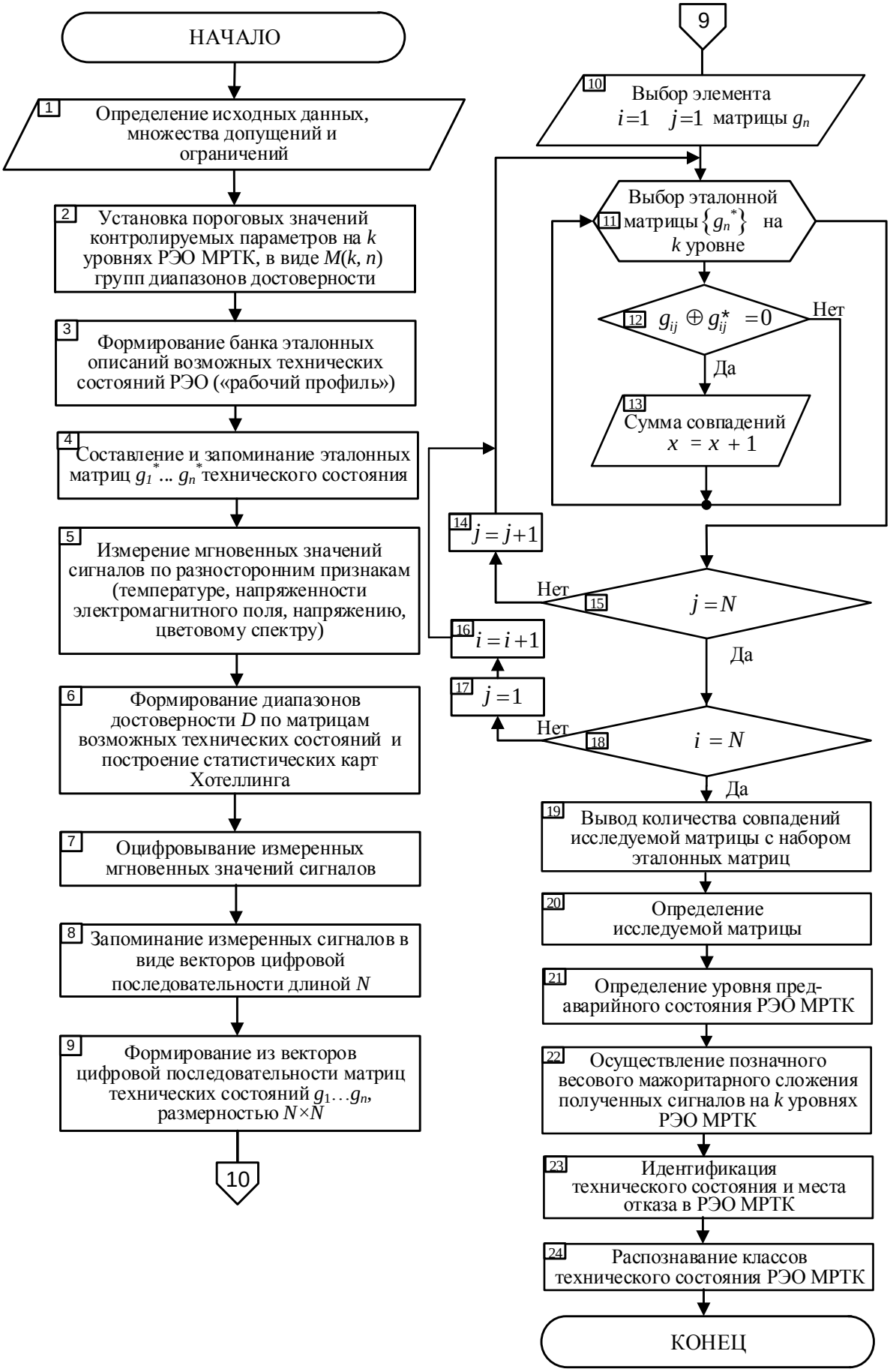

Рис. 5. Алгоритм, реализующий способ многоуровневого комплексного контроля технического состояния РЭО МРТК

Вторым этапом способа является идентификация, включающего пятнадцать подэтапов (шагов).

На шаге 10 осуществляют выбор элемента матрицы g_n текущего технического состояния радиоэлектронного оборудования.

На шаге 11 осуществляют выбор элемента эталонной матрицы g_n^*.

На шаге 12 принимают решение на поэлементное сравнение элемента исследуемой матрицы ТС с одним из элементов эталонных матриц ТС, соответствующего исследуемой. При этом под сравнением понимается операция сложения по модулю два информационных содержаний сравниваемых элементов матриц.

На шаге 13 при совпадении значений в элементах сравниваемых матриц происходит суммирование числа совпадений.

На шаге 14-18 осуществляется сравнение элементов матриц снизу вверх и слева направо.

На шаге 19 осуществляют отображение количества совпадений элементов исследуемой матрицы с набором элементов эталонных матриц, $i = N$, $j = N$ (шаги 15, 18), после того, как будет оценен последний элемент сравниваемых матриц.

На шаге 20 определяется матрица по наибольшему числу совпадений исследуемой матрицы g_n с одной из эталонных матриц технического состояния g_n^*; при условии, что совпало 97 ± 2 % от общего количества элементов матриц ТС.

На шаге 21 определяют уровень предаварийного состояния контролируемого элемента РЭО, идентифицируемый скоростью выхода контролируемого параметра за пределы диапазона достоверности (см. рис. 6).

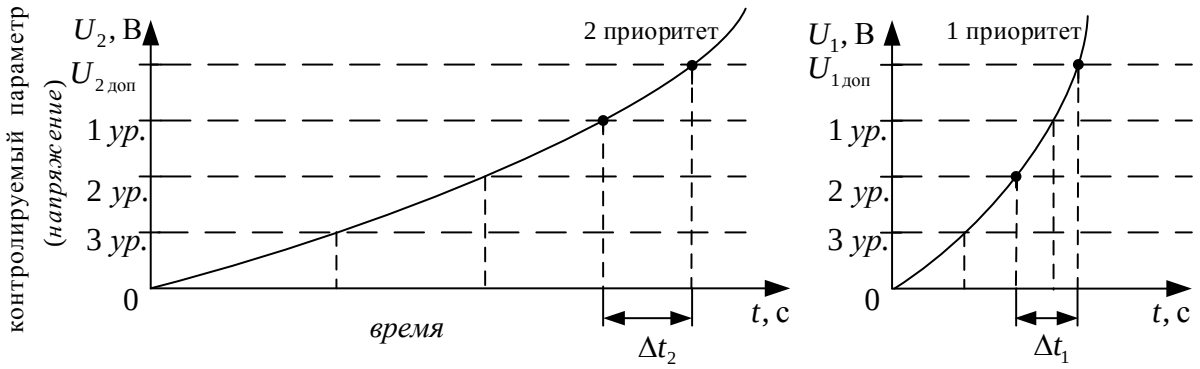

Рис. 6. Графики, поясняющие зависимость установки значений допусков от динамики выхода контролируемого параметра за допустимые пределы

На шаге 22 принимают решение о полученной измерительной информации, путем позначного весового мажоритарного сложения r_n сигналов измерительной информации, поступивших с весовыми коэффициентами от j типов датчиков, находящихся на k уровнях РЭО в МРТК [3].

На шаге 23 оценивают состояние системы в несколько этапов, причем на первом этапе, используют локальную информацию о состояниях каждого элемента k-го уровня РЭО, по которой обнаруживают путем сравнения с диапазоном достоверности нарушение заданного режима функционирования (нормаль-

ное или аварийное состояние. На последующих этапах оценки, определяют уровень предаварийного состояния контролируемого объекта, путем измерения всей доступной измерению информации на уровне блока (модуля).

Этапы осуществления оценки РЭО, представленные на рис. 7 в вероятностном графе состояния системы, отображают: $P_1 = 1 - P_2$ – априорная вероятность отсутствия аварийной ситуации; P_2 – априорная вероятность появления аварийной ситуации; α – ложный отказ (ошибка первого рода); β – необнаруженный отказ (ошибка второго рода); N – нормальная работа; A – авария (отказ); O – этап обнаружения отказа; P – этап распознавания отказа; k = 1, 2, ..., K – уровни РЭО МРТК. При этом классы технического состояния РЭО обозначены 1, 2, ..., 5_1, 6_1, где $1 = P_2\bar{\beta}_0\bar{\beta}_P...\bar{\beta}_k$; $2 = P_1\alpha_0\alpha_P...\alpha_k$; $3 = P_2\bar{\beta}_0\bar{\beta}_P...\beta_k$; $4 = P_1\alpha_0\alpha_P...\bar{\alpha}_k$; $5 = P_2\beta_0$; $6 = P_1\bar{\alpha}_0$; $5_1 = P_2\bar{\beta}_0\beta_P$; $6_1 = P_1\alpha_0\bar{\alpha}_P$. Далее идентифицируют место отказа элемента РЭО.

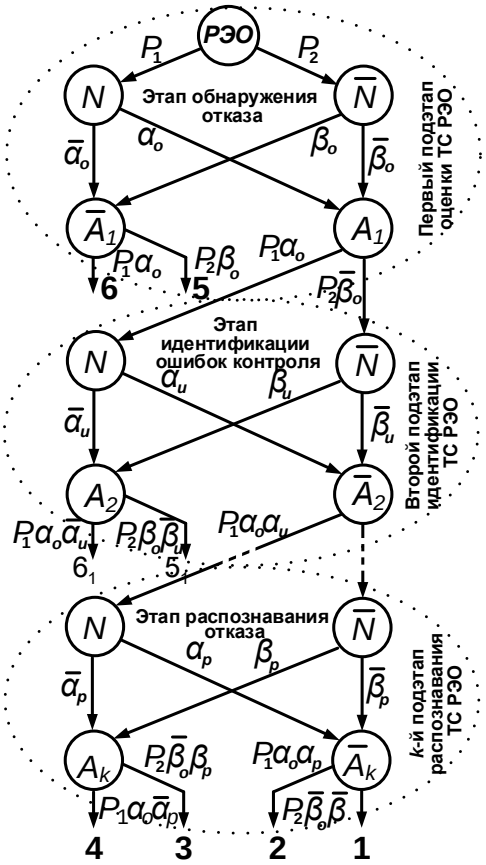

Рис. 7. Вероятностный граф распознавания технических состояний РЭО, реализующий поэтапный принцип принятия решения

На шаге 24 осуществляют распознавание классов ТС РЭО, согласно алгоритма распознавания классов ТС РЭО МРТК (см. рис. 8). Алгоритм имеет три этапа работы: обнаружения отказа РЭО, идентификации ошибок контроля (на каждом из k уровней РЭО) и распознавания класса ТС РЭО.

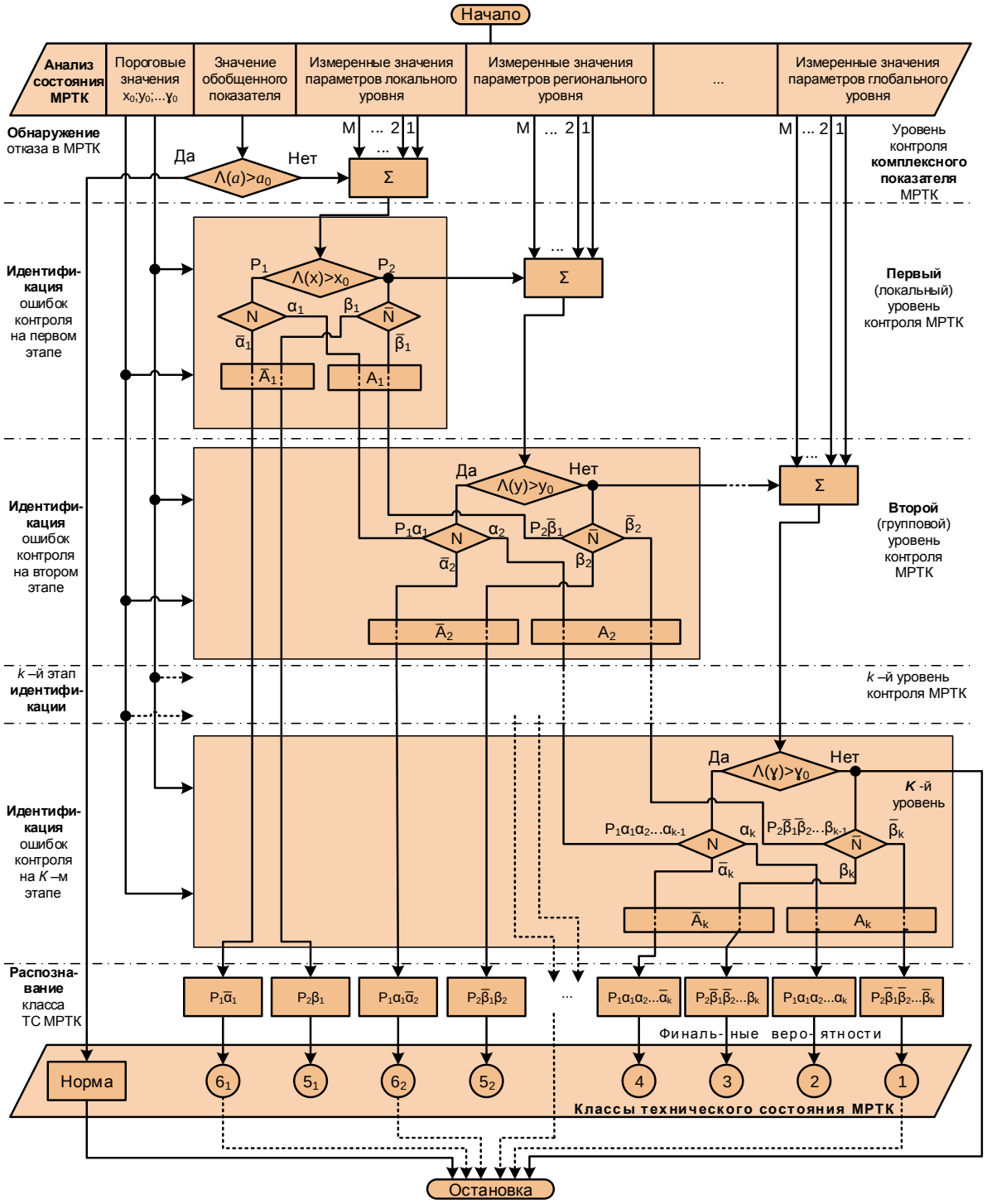

Рис. 8. Алгоритм распознавания классов технических состояний РЭО МРТК

В алгоритме распознавания классов ТС РЭО МРТК в качестве исходных данных используются:

1) пороговое значение обобщенного показателя ТС РЭО a_0;
2) пороговые значения (допуски) на параметры x_0^1, y_0^2, ..., γ_0^K элементов РЭО, используемых на различных (локальный, региональный, глобальный k-х, k = 1, 2, ..., K) уровнях её функционирования;
3) измеренные значения обобщенного показателя состояния РЭО;

4) измеренные значения параметров технических устройств на каждом k-м уровне разукрупнения РЭО (локальном (схема, элемент), региональном (блок), глобальном (модуль)).

На этапе обнаружения отказа осуществляется контроль комплексного показателя РЭО $\Lambda(a)$ по заданному в исходных данных пороговому значению параметра a_0. При выполнении заданного условия (например, $\Lambda(a)>a_0$) формируется сигнал о нормальном функционировании РЭО МРТК.

При невыполнении заданного условия (выходе значения обобщенного (комплексного) показателя за пределы допуска) осуществляется измерение j значений показателей технического состояния (параметров), где $j = 1, 2, ..., J$, на локальном уровне РЭО, которые на следующем этапе сравнивают с пороговыми значениями $\Lambda(a) > a_0$ для идентификации места отказа.

По результатам сравнения определяется нормальное состояние РЭО (N) с вероятностью $P_1 = P(N)$ либо его аномальное состояние ($\overline{N}$) с вероятностью $P_2 = 1 - P_1 = P(\overline{N})$. Причем идентификацию места отказа на первом (локальном) уровне РЭО осуществляют с учетом ошибок первого (α_1) и второго (β_1) рода, которые соответствуют вероятности «ложной тревоги» и «пропуску нарушения». В литературе данные вероятности называют соответственно риском заказчика и риском потребителя [14].

Физический смысл ошибок первого и второго рода заключается в том, что вероятность «ложной тревоги» равна величине наступления события, когда система контроля правильно зафиксировала нормальное (N) ТС РЭО (с вероятностью P_1), однако ошибочно классифицировано состояние аварии (A), и, в свою очередь, вероятность «пропуску нарушения» равна величине наступления события, когда система контроля правильно зафиксировала аномальное ТС ($\overline{N}$) РЭО (с вероятностью P_2), но при этом в результате идентификации отказа классифицировано отсутствие аварии – ($\overline{A}$).

Аналогично происходит выявление нарушения работоспособности системы (ее аварийного состояния – A) и на последующих $k = 1, 2, ..., K$ контурах контроля и управления системой (на втором (региональном) уровне – A_2, вплоть до глобального – A_K). Переход на следующий уровень идентификации отказа осуществляется при выполнении условия что на предыдущем уровне было обнаружено аварийное состояние (A) и измеренные значения параметров данного уровня вышли за пределы установленных (заданных) допусков.

Так при обнаружении аномального состояния РЭО $\overline{N}$ на локальном уровне осуществляется измерение значения параметров регионального уровня и сравнение их с заданными пороговыми значениями $\Lambda(a) > a_0$. При этом ошибки первого и второго рода имеют место быть на каждом уровне многоуровневой РЭО: α_2 и β_2; α_3 и β_3; ... ; α_K и β_K.

На последнем, завершающем, этапе алгоритма выведены финальные вероятности состояния РЭО МРТК, по которым определяются классы его ТС, означающие:

«1» – система заблокирована, отказ обнаружен и распознан;

«2» – система работоспособна, ложное обнаружение и распознание;
«3» – система заблокирована, отказ обнаружен, но не распознан;
«4» – система работоспособна, ложное обнаружение не распознано;
«5» – система заблокирована, отказ не обнаружен;
«6» – система работоспособна, признана работоспособной.

Причем, на рис. 7 и 8 классы ТС «1», «2», «3», «4» многоуровневого оборудования МРТК относятся к завершающему этапу контроля, а классы «5_1», «6_1», «5_2», «6_2», … – присутствуют на каждом из *K* уровней.

Наиболее предпочтительным является класс «6», когда система работоспособна и признана работоспособной. Следующим по предпочтению идет класс технического состояния «1» – система заблокирована, отказ обнаружен и распознан. Математически вариационный ряд предпочтений классов технического состояния радиоэлектронного оборудования МРТК можно записать в виде:

«6» > «1» > «4» > «2» > «3» > «5».

Реализация устройства многоуровневого комплексного контроля технического состояния РЭО МРТК

Для практической реализации метода многоуровневого комплексного контроля технического состояния РЭО МРТК предлагается использовать устройство многоуровневого комплексного контроля технического состояния РЭО МРТК, показанное на рис. 9, которое состоит из источника тока 1, блока датчиков 2, РЭО 3, блока обработки сигналов 4, блока принятия решения 5, блока управления 6 и блока вывода информации 7.

Источник тока 1 предназначен для обеспечения электропитания РЭО постоянным током.

Блок датчиков 2 предназначен для измерения различными способами (индуктивным и тепловизионным способами, электрически и др.) уровня сигнала, пропорционального изменяющимся во времени соответствующим параметрам, характеризующим РЭО 3 в рабочем режиме. Вариант построения датчика напряженности магнитного поля известен и описан в патенте RU № 2378656. Варианты построения датчиков напряжения, влажности воздуха и тепловизора известны и описаны в [40].

РЭО 3 предназначено для передачи и приема информации на расстоянии по радиоканалу при помощи электромагнитных сигналов. Оно является объектом контроля технического состояния.

Блок обработки сигналов 4 предназначен для обработки и преобразования поступающего с блока датчиков 2 сигналов в вектора цифровых последовательностей, из которых формируют матрицу технического состояния g.

Блок принятия решения 5 (приведен ниже в статье) предназначен для двухэтапной оценки технического состояния РЭО 3 и определению места отказа по информационным сигналам, поступающим с блока обработки сигналов 4.

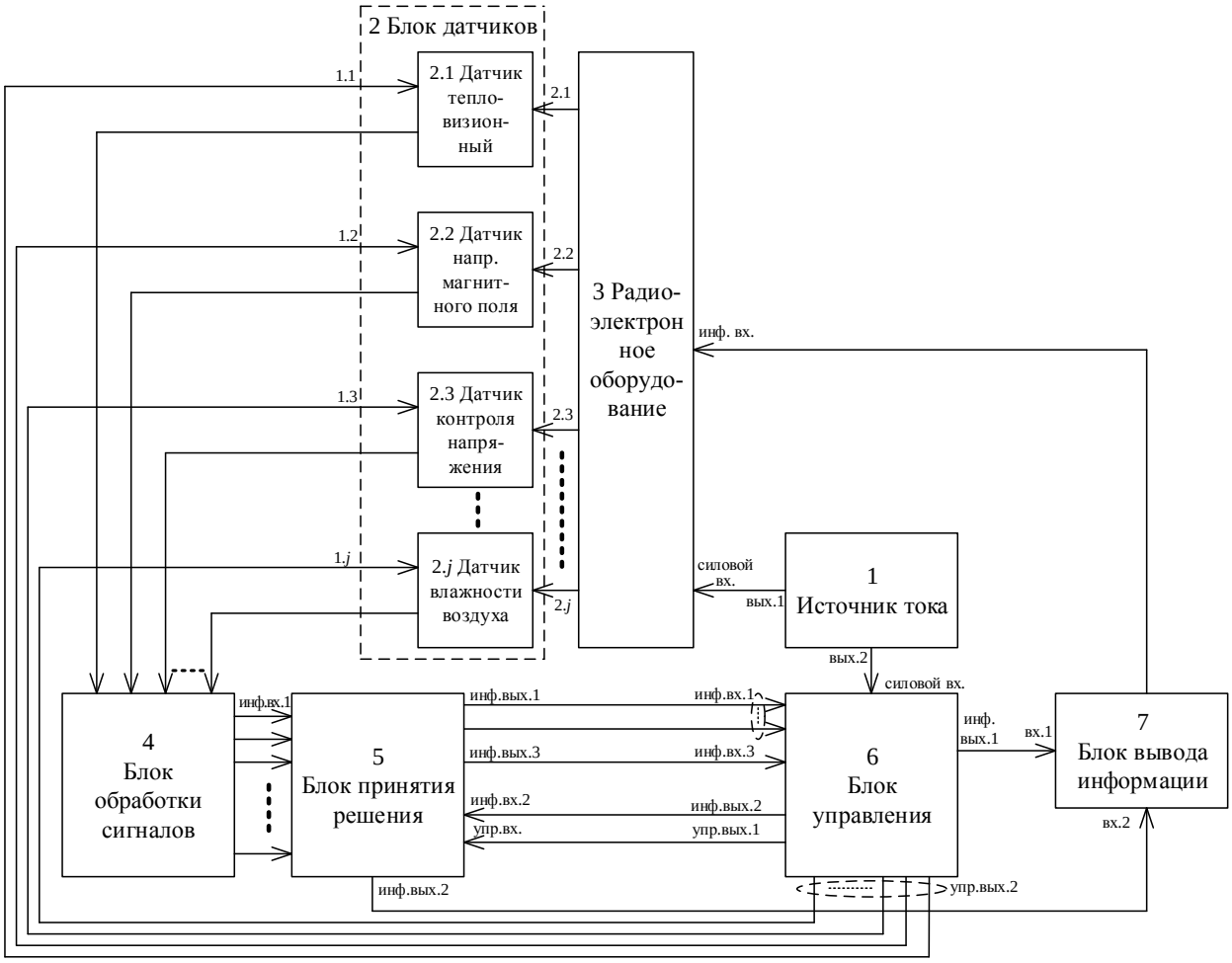

Рис. 9. Функциональная схема устройства комплексного контроля ТС РЭО

Блок управления 6 предназначен для управления работой и подачи управляющих импульсов в основные блоки устройства многоуровневого комплексного контроля ТС РЭО. Он может быть реализован различным способом, например, показанным на рис. 10.

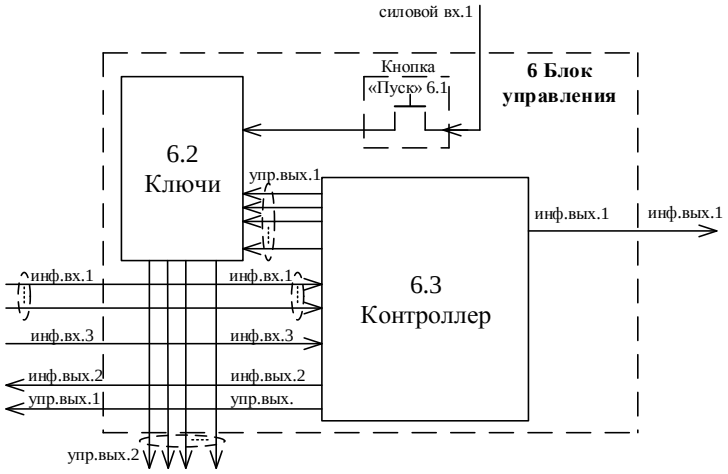

Рис. 10. Принципиальная схема блока управления

Блок управления 6 состоит из кнопки «Пуск» 6.1, ключей 6.2 и контроллера 6.3.

Кнопка «Пуск» 6.1 предназначена для подачи напряжения на ключи 6.2 для запуска блока датчиков 2.

Ключи 6.2 предназначены для включения (отключения) датчиков, блока датчиков 2, по управляющему сигналу контроллера 6.3.

Контроллер 6.3 предназначен для формирования управляющего сигнала, подаваемого на ключи 6.2 для включения (отключения) «избыточных» датчиков, а также формирования итоговых данных, выводимых на блок вывода информации 7, по аварийному или предаварийному состоянию контролируемого РЭО 3. Вариант построения контроллера 6.3 известен и описан в [41-43].

Блок вывода информации 7 предназначен для отображения информации идентифицированного технического состояния и места отказа в РЭО 3.

Реализация блока принятия решения

Блок принятия решения 5 состоит: из модуля регистров записи 5.1, в который входят *j* регистров записи знаков (5.1.1, 5.1.2, …, 5.1.*j*); модуля установки весовых коэффициентов 5.2, в который входят *j* схем установки весовых коэффициентов (5.2.1, 5.2.2, …, 5.2.*j*); модуля весовых множителей, в который входят *j* схем весовых множителей (5.3.1, 5.3.2, …, 5.3.*j*); модуля идентификации технического состояния 5.4 и модуля весового мажоритарного сложения знаков 5.5. Функциональная схема предложенного блока принятия решения показана на рис. 11.

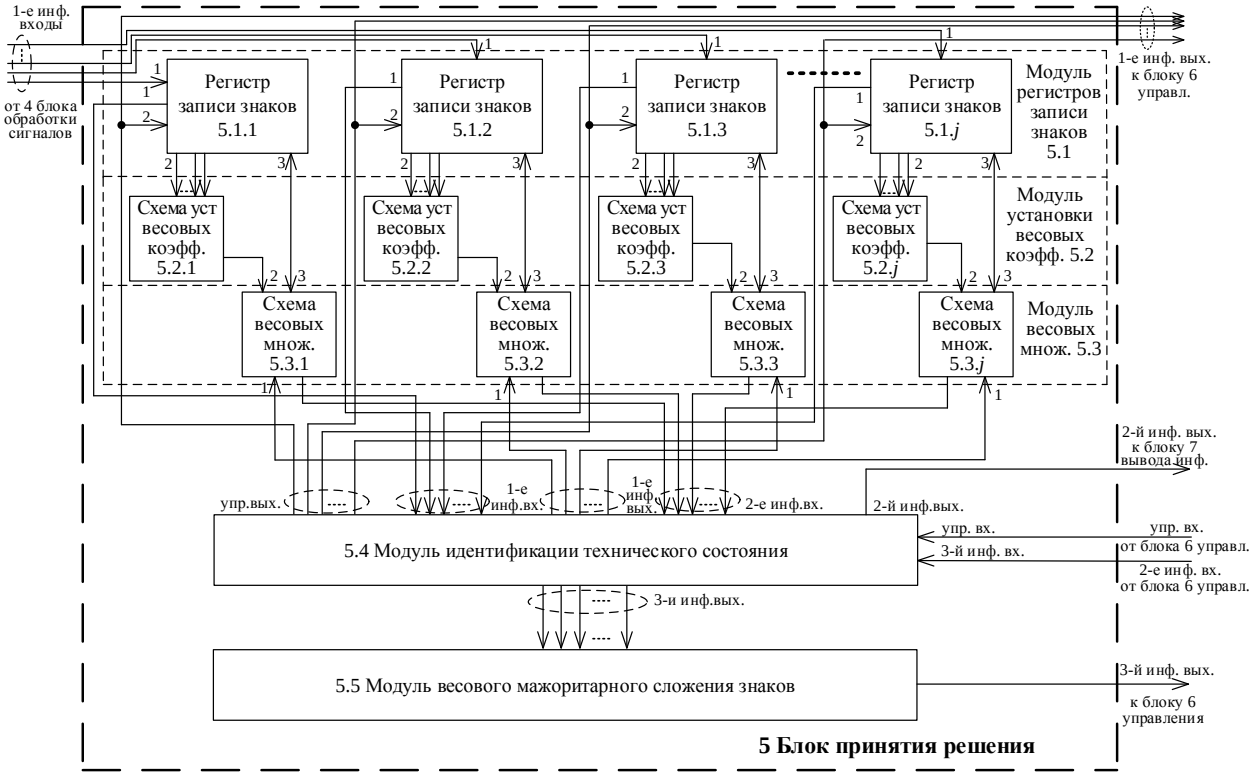

Рис. 11. Функциональная схема блока принятия решения

Регистры записи знаков 5.1.1 – 5.1.*j* предназначены для записи векторов цифровых последовательностей, формируемых из сигналов, поступающих с блока обработки сигналов 4.

Схемы установки весовых коэффициентов 5.2.1 – 5.2.*j* предназначены для хранения критических значений параметров, контролируемого РЭО 3.

Схемы весовых множителей 5.3.1 – 5.3.*j* предназначены для сравнения векторов цифровых последовательностей, поступающих с регистров записи знаков 5.1.1 – 5.1.*j*, и критических значений измеряемых параметров РЭО.

Модуль идентификации технического состояния 5.4 предназначен для поэлементного сравнения исследуемой матрицы ТС g, с эталонными матрицами ТС g_m, где $m = 1, 2, ..., M$, а M – число возможных ТС РЭО 3, хранящихся в элементе памяти эталонных параметров 5.4.4 блока, анализа числа совпадений сравниваемых матриц g_m, идентификации технического состояния РЭО 3 по наибольшему числу совпадений элементов сравниваемых матриц. Модуль идентификации технического состояния 5.4 может быть реализован различным способом, например, показанным на рис. 12.

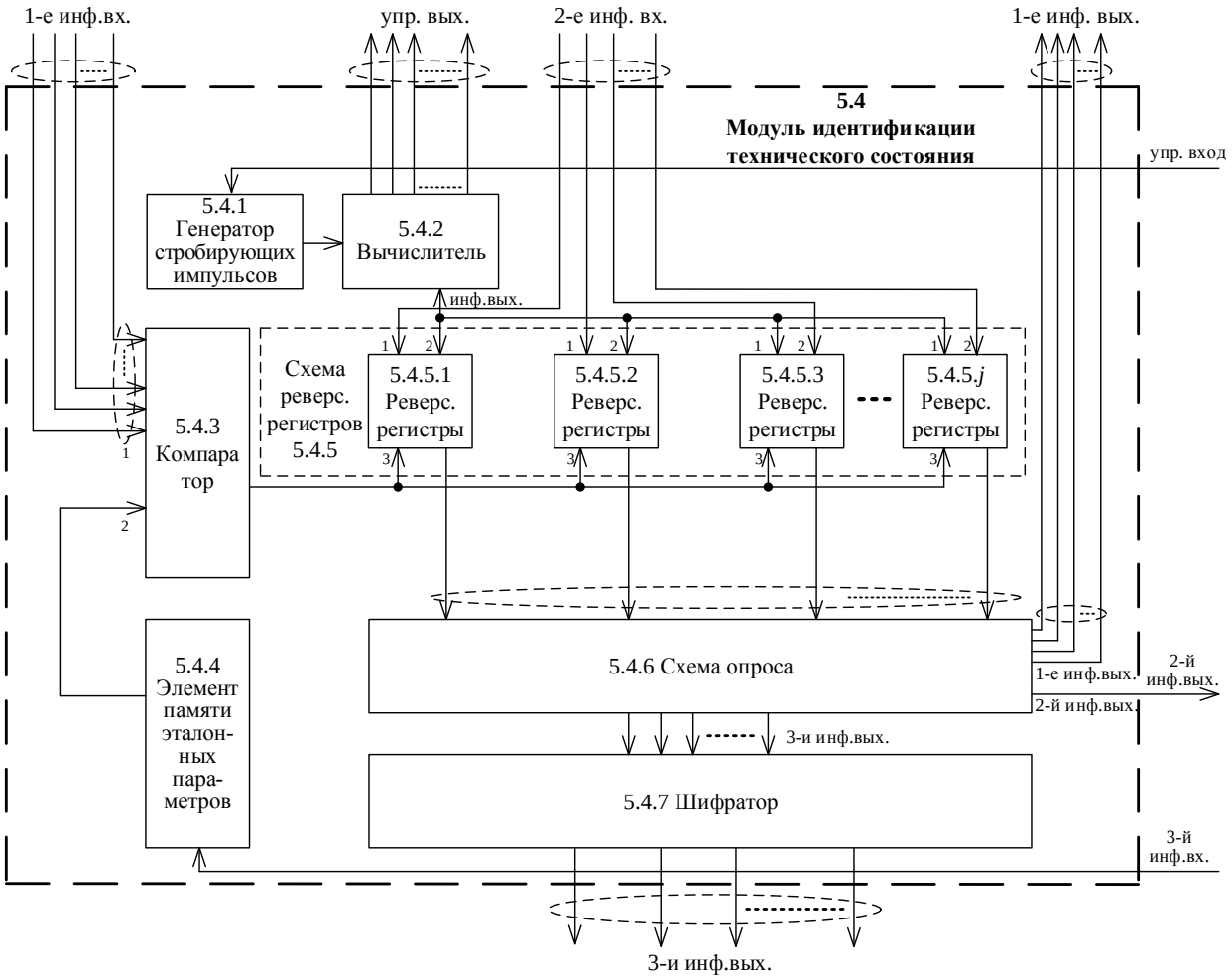

Рис. 12. Функциональная схема модуля идентификации технического состояния

Модуль идентификации технического состояния 5.4 состоит из генератора стробирующих импульсов 5.4.1, вычислителя 5.4.2, схемы 1, 2, …, *j* ре-

версивных регистров 5.4.5.1, 5.4.5.2, …,5.4.5.*j*, компаратора 5.4.3, элемента памяти эталонных параметров 5.4.4, схемы опроса 5.4.6 и шифратора 5.4.7.

Генератор стробирующих импульсов 5.4.1 предназначен для формирования управляющих импульсов в процессе выполнения идентификации технического состояния контролируемого радиоэлектронного оборудования.

Вычислитель 5.4.2 предназначен для формирования управляющих воздействий на контроллер 6.3, на втором этапе поиска, для формирования решения по отключению (подключению) «избыточных» датчиков.

Компаратор 5.4.3 предназначен для сравнения пороговых значений с измеряемыми параметрами. Вариант построения компаратора известен и описан в [42].

Схема памяти эталонных параметров 5.4.4 предназначена для записи «рабочего профиля» контролируемого РЭО 3.

Реверсивные регистры 5.4.5.1 – 5.4.5.*j* предназначены для записи информации о динамике выхода контролируемых параметров за пределы диапазона допусков.

Схема опроса 5.4.6 предназначена для регистрации сигналов, поступающих с выходов реверсивных регистров 5.4.5.1 – 5.4.5.*j*.

Шифратор 5.4.7 предназначен для преобразования сигналов, поступивших с блока опроса 5.4.7 в двоичную кодовую комбинацию, содержащую информацию о номере (типе) оптимального датчика, блока датчиков 2, из числа пересмотренных.

Модуль весового мажоритарного сложения знаков 5.5 предназначен для сложения x сигналов измерительной информации, поступивших с весовыми коэффициентами от j типов датчиков на k уровнях РЭО, заключающееся в вычислении значения сумм по формуле (3), результирующих сигналов о неисправности объекта контроля. Вариант построения модуля весового мажоритарного сложения знаков известен и описан в [44].

Осуществление метода многоуровневого комплексного контроля технического состояния РЭО МРТК

Специфика построения устройства комплексного контроля ТС РЭО МРТК такова, что блок, обозначенный в схеме рис. 4, как распределенная группа объектов контроля, может представлять собой отдельную подсистему в виде k-уровней (отсек МРТК, модуль, блок, консоль, ..., плата), соответствующих глобальному (МРТК управляется от берега), региональному (групповое использование МРТК) и локальному уровням (уровень МРТК), при этом в данном случае организуется система контроля ТС на каждом уровне. Объединяющим элементом являются обозначенные в схеме (рис. 9) распределенные блоки датчиков, позволяющие осуществлять съем измерительной информации с объектов контроля, установленных на k уровнях РЭО. Это необходимо для формирования результирующего решения о работоспособности объектов контроля, формируемого в блоках обработки сигналов 4 и принятия решения 5. Управление процессом распределенного контроля осуществляется в блоке управле-

ния 6. С учетом этого, название метода и устройства, реализующего его, подчеркивает распределенность контроля РЭО МРТК.

Метод многоуровневого комплексного контроля технического состояния РЭО МРТК включает этапы анализа и идентификации.

На этапе анализа в схему памяти эталонных параметров 5.4.6 записан «рабочий профиль» технического состояния РЭО 3 в виде матриц ТС, представляющих собой вектора цифровых последовательностей.

При подаче сигнала на силовой вход, нажатием кнопки «Пуск» 6.1 блока управления 6 (рис. 10) питающее напряжение источника тока 1, через ключи 6.2, подается на первые входы датчиков блока датчиков 2 (рис. 9), включая их.

Исследуемые сигналы с блока датчиков, регистрирующих изменения температуры, напряженности магнитного поля, напряжения и цветового диапазона на элементах РЭО 3, подается на блок обработки сигналов 4, где преобразуются в цифровую форму, а от него – на первые информационные входы регистров записи знаков 5.1.*j* блока принятия решения 5 (рис. 11).

Сигналы с первого выхода регистра записи 5.3.*j* поступают на первые входы компаратора 5.4.3 модуля идентификации технического состояния 5.4 (рис. 12), в котором происходит их сравнение с эталонными значениями параметров «рабочего профиля» элемента РЭО, поступающими из схемы памяти эталонных параметров 5.4.4. «Рабочий профиль» представляет собой эталонные матрицы рабочего состояния контролируемых элементов РЭО.

Матрица рабочего состояния контролируемых элементов РЭО состоит из *ab* ячеек памяти, соответствующих *a*-м и *b*-м уровням измеряемого сигнала, где *a* – критический уровень контролируемого параметра, *b* – критическая скорость изменения контролируемого параметра (соответственно, *a*-я строка и *b*-й столбец условной матрицы).

В случае, если сигналы с первого входа компаратора, характеризующие текущее ТС элемента РЭО, превышают *a*-й или *a*-й и *b*-й уровни сигнала рабочего профиля – то данный сигнал распознается как аварийный, если только *b*-й – то предаварийный.

Результат сравнения через реверсивные регистры 5.4.5.*j* поступает на схему опроса 5.4.6, в которой осуществляется поочередный опрос сигналов результата анализа.

Сигналы со статусом «авария» через второй информационный выход модуля идентификации технического состояния 5.4 поступают для немедленного отображения на блоке вывода информации 7.

Сигналы со статусом «предаварии» отправляют через первый информационный выход модуля идентификации технического состояния 5.4 на первые входы схемы весовых множителей 5.3.*j*. По информации сигналов «предаварии» со второго выхода схемы опроса осуществляют построение карты Хотеллинга – статистического диапазона выходов контролируемых параметров за пределы доверительных интервалов, как результат мониторинга изменения среднего уровня многопараметрического процесса.

После поступления информационных сообщений (сигналов) от каждого из датчиков блока датчиков 2 в цифровой форме на соответствующие регистры за-

писи знаков 5.1.*j*, данные сигналы синхронизируются через синхронизирующие выходы с весовыми коэффициентами эталонных сигналов схем установки весовых коэффициентов 5.2.*j*, формируя в схемах весовых множителей 5.3.*j* совместно с сигналами «предаварии», поступающими на первые входы регистров, матрицы $g_1 ... g_m$ технического состояния размерностью $H \times H$ диапазона достоверности и, своевременно корректируя его границы.

После каждого отсчета измеряемого сигнала результат в виде логической «единицы» записывается в (*ab*)-ю ячейку памяти регистра записи знаков 5.1.*j*, которая соответствует *a*-му и *b*-му уровням сигнала на выходе блока обработки сигнала 4 (*a*-я строка и *b*-й столбец условной матрицы).

На этапе идентификации сигналы с выходов схемы весовых множителей 5.3.*j* поступают на вторые информационные входы реверсивных регистров 5.4.5.*j* и информационный вход вычислителя 5.4.2 модуля идентификации технического состояния 5.4.

Если со всех схем весовых множителей 5.3.*j* поступают сигналы, характеризующие нормальную работу элементов радиоэлектронной системы, то с целью уменьшения избыточности измерительной информации модуля идентификации технического состояния 5.4 с выхода вычислителя 5.4.2, через первые информационные выходы блока принятия решения 5, сигнал поступает на первые информационные входы контроллера 6.3 блока управления 6, который через первые управляющие выходы отключает датчики блока датчиков 2, осуществляющие подачу «избыточной» информации.

Для обратного подключения необходимых датчиков блока датчиков 2 с управляющего выхода контроллера 6.3 блока управления 6, поступает сигнал на управляющий вход генератора стробирующих импульсов 5.4.1 блока принятия решения 5, который подает сигнал на вычислитель 5.4.2, о принятии необходимого решения по подключению датчиков.

Для поэлементного сравнения полученной на этапе анализа матрицы технического состояния с «рабочим профилем» и последующей идентификации ТС элементов РЭО по наибольшему числу совпадений элементов сравниваемых матриц сигналы с выходов схем весовых множителей 5.3.*j* поступают на вторые информационные входы реверсивных регистров 5.4.5.*j*.

Сигналы проходят через реверсивные регистры 5.4.5.*j* на схему опроса 5.4.6 в тот момент, когда на третьи входы реверсивных регистров будет подан сигнал с компаратора 5.4.3 «авария» или «норма».

С третьего информационного выхода модуля идентификации технического состояния 5.4 сигнал поступает на модуль весового мажоритарного сложения знаков 5.5.

В модуле весового мажоритарного сложения знаков 5.5, с целью сокращения вычислительных операций для принятия решения о полученной измерительной информации, используют позначное весовое мажоритарное сложение r_n сигналов измерительной информации, поступивших с весовыми коэффициентами от *j* типов датчиков, заключающееся в вычислении значения сумм по формуле (3). При этом результирующие сигналы аварии (о неисправности объекта контроля) по численным значениям принятых сигналов аварии $r_1, r_2, \ldots, r_n$

принадлежат алфавиту из Θ разрешенных знаков (в пределах допусков). Тогда, значение r_x, соответствующее первой сумме вариационного ряда, т. е.

$$\sum_{j=1}^{q(r_x)} K_j(r_x) = \max\left\{ \sum_{j=1}^{q(r_1)} K_j(r_1), \sum_{j=1}^{q(r_n)} K_j(r_n) \right\} \quad (5)$$

является оптимальным решением о поступившем сигнале неисправности при использовании критерия максимального правдоподобия.

Выводы

Представленный в статье метод позволяет осуществлять многоуровневый комплексный контроль технического состояния РЭО МРТК с учетом предаварийных состояний РЭО и определением классов технических состояний объектов контроля.

Достоверность результатов контроля (оценки и идентификации) технического состояния элементов РЭО МРТК D_1 в предложенных технических решениях значительно выше, чем при осуществлении аналогичного контроля объекта в прототипах [12, 14, 21].

С учетом получения измерительной информации от нескольких датчиков, где число источников не меньше 2-х, можно сделать вывод, что достоверность получения информации о техническом состоянии объекта контроля предложенных технических решений D_1 выше, чем у прототипа D_2, причем $D_1 >> D_2$.

Таким образом, предложенные метод многоуровневого комплексного контроля технического состояния радиоэлектронного оборудования морского робототехнического комплекса, устройство многоуровневого комплексного контроля технического состояния радиоэлектронного оборудования и блок принятия решения обладают существенным положительным эффектом, заключающимся в повышении достоверности результатов идентификации технического состояния РЭО и расширении области применения технических средств контроля и диагностики.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №16-29-04326 офи_м

Литература

1. Николашин Ю. Л., Мирошников В. И., Будко П. А., Жуков Г. А. Обеспечение устойчивого обмена данными с автономными необитаемыми подводными аппаратами // Морская радиоэлектроника. 2016. № 1 (55). С. 44-49.

2. Будко П. А., Жуков Г. А., Виноградeнко А. М, Гойденко В. К. Определение аварийного состояния морского робототехнического комплекса по многоэтапной процедуре контроля на основе использования вейвлет-преобразований // Морская радиоэлектроника. 2016. № 4 (58). С. 20-23.

3. Будко Н. П., Будко П. А., Виноградeнко А. М., Дорошенко Г. П., Рожнов А. В., Минеев В. В., Мухин А. В. Способ распределенного контроля и адаптивного управления многоуровневой системой и устройство для его

осуществления // Патент на изобретение RU 2450447 C1, опубл. 10.05.2012, бюл. № 13.

4. Будко П. А., Рисман О. В. Многоуровневый синтез информационно-телекоммуникационных систем: математические модели и методы оптимизации. – СПб.: ВАС, 2011. – 476 с.

5. Виноградeнко А. М., Ладонкин О. В., Юров А. С. Система мониторинга технического состояния подвижных объектов военного назначения с использованием беспроводных технологий // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2015. № 1. С. 51-55.

6. Будко П. А., Литвинов А. И. Кинетический метод контроля и диагностики технических средств // Мехатроника, автоматизация, управления. 2014. № 7. С. 42-47.

7. Будко П. А., Литвинов А. И. Бесконтактный контроль и идентификация технического состояния электрооборудования систем электроснабжения промышленных комплексов // Датчики и системы. 2014. № 8 (183). С. 5-10.

8. Виноградeнко А. М., Веселовский А. П., Бурьянов О. Н. Оперативный контроль технического состояния подвижных электротехнических объектов // Современные проблемы создания и эксплуатации вооружения, военной и специальной техники: тезисы докладов III Всероссийской научно-практической конференции (Санкт-Петербург, 2016 г.). – Санкт-Петербург, 2016. – С. 178-184.

9. Будко П. А., Бурьянов О. Н., Виноградeнко А. М., Веселовский А. П. Модель автоматизированной системы контроля технического состояния наземных робототехнических комплексов // Проблемы технического обеспечения войск в современных условиях: тезисы докладов II Межвузовской научно-практической конференции (Санкт-Петербург, 2017 г.). – Санкт-Петербург, 2017. – С. 145-149.

10. Виноградeнко А. М., Веселовский А. П., Бурьянов О. Н. Способ оперативного контроля технического состояния подвижных спецсредств // Надежность и долговечность машин и механизмов: тезисы докладов VIII Всероссийской научно-практической конференции (Иваново, 2017 г.). – Иваново, 2017. – С. 34-36.

11 Fedorenko V., Fedorenko I., Sukmanov A., Samoylenko V., Shlaev D., Atanov I. Modeling of data acquisition systems using the queueing theory // AEU – International Journal of Electronics and Communications. 2017. Vol. 74. P. 83-87. DOI: 10.1016/j.aeue.2017.01.024.

12. Будко Н. П., Будко П. А., Виноградeнко А. М., Литвинов А. И. Способ и устройство автоматизированного контроля технического состояния электрооборудования // Патент на изобретение RU 2548602 C1, опубл. 20.04.2015, бюл. № 11.

13. Будко Н. П., Будко П. А., Литвинов А. И., Виноградeнко А. М. Реализация кинетического метода контроля и диагностики технических средств // Мехатроника, автоматизация, управления. 2014. № 8. С. 37-44.

14. Будко П. А., Фомин Л. А., Линец Г. И., Рачков В. Е., Гайчук Д. В., Шлаев Д. В. Способ автоматического контроля и адаптивного управления

распределенной системой и устройство для его осуществления // Патент на изобретение RU 2312389 C1, опубл. 10.12.2007, бюл. № 34.

15. Будко П. А., Виноградeнко А. М., Литвинов А. И., Юров А. С. Способ мониторинга предаварийного состояния контролируемых объектов // Датчики и системы. 2014. № 9 (184). С. 8-14.

16. Виноградeнко А. М., Федоренко И. В., Семененко А. В. Система для контроля технического состояния радиоэлектронных объектов // Патент на полезную модель RU 90916 U1, опубл. 20.01.2010, бюл. № 2.

17. Виноградeнко А. М., Федоренко И. В. Система для контроля параметров технологических объектов // Патент на полезную модель RU 96676 U1, опубл. 10.08.2010, бюл. № 22.

18. Будко П. А., Виноградeнко А. М., Литвинов А. И. Экспериментальные исследования кинетического метода контроля и диагностики технических средств // Мехатроника, автоматизация, управление. 2014. № 9. С. 53-58.

19. Фомин Л. А., Будко П. А. Эффективность и качество инфокоммуникационных систем. Методы оптимизации. – М.: Физматлит, 2008. – 400 с.

20. Николашин Ю. Л., Будко П. А., Жуков Г. А. Нейрокомпьютерный подход к решению задачи оптимизации приема информации в канале с переменными параметрами // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2016. № 1. С. 49-58.

21. Будко П. А., Виноградeнко А. М., Жуков Г. А., Литвинов А. И. Комплексное использование разнородных каналов связи для управления робототехническими комплексами на базе единой системы радиомониторинга // Наукоемкие технологии в космических исследованиях Земли. 2017. Т. 1. № 1. С. 18-41.

22. Жердев Н. К., Креденцер Б. П., Белоконь Р. Н. Контроль устройств на интегральных схемах. – Киев.: Техника, 1986. – 96 с.

23. Марков А. А., Бершадская Т. Н., Белоусов Н. А. Способ неразрушающего контроля изделий // Патент на изобретение RU 2184373 C1, опубл. 27.06.2002, бюл. № 18.

24. Сукиязов А. Г., Просянников Б. Н., Вербов М. В., Просянников Г. Б. Устройство бесконтактного определения технического состояния тиристоров источника питания // Патент на изобретение RU 2185632 C1, опубл. 20.07.2002, бюл. № 20.

25. Сукиязов А. Г., Просянников Б. Н., Вербов М. В., Просянников Г. Б., Вербов В. Ф. Устройство бесконтактного мониторинга полупроводниковых элементов однофазных и трёхфазных мостовых выпрямителей // Патент на полезную модель RU 66820 U1, опубл. 27.09.2007, бюл. № 27.

26. Будко П. А. Метод контроля состояния сети связи на основе двухэтапной процедуры принятия решения // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2003. Т. 6. № 1. С. 64-68.

27. Будко Н. П., Виноградeнко А. М., Мельников Н. М., Мухин А. В., Федоренко И. В. Устройство автоматического поиска каналов радиосвязи // Патент на изобретение RU 2450447 C1, опубл. 10.05.2012, бюл. № 13.

28. Федоренко В. В., Виноградeнко А. М. Устройство для измерения сигналов // Патент на изобретение RU 2354055 C1, опубл. 27.04.2009, бюл. № 12.

29. Федоренко В. В., Виноградeнко А. М., Федоренко И. В. Устройство для контроля радиоэлектронных объектов // Патент на изобретение RU 2413977 C1, опубл. 10.03.2011, бюл. № 7.

30. Будко П. А., Федоренко В. В., Дорошев А. В., Краснокутский А. В. Устройство измерения качества каналов передачи цифровой информации // Патент на изобретение RU 2230437 C1, опубл. 10.06.2004, бюл. № 16.

31. Будко П. А., Федоренко В. В., Федоренко И. В., Шлаев Д. В. Модель сигнализации отклонений параметра при допусковом контроле // Патент на полезную модель RU 68736 U1, опубл. 27.11.2007, бюл. № 33.

32. Будко П. А., Виноградeнко А. М., Федоренко В. В. Кварцевый генератор // Патент на полезную модель RU 119187 U1, опубл. 10.08.2012, бюл. № 22.

33. Будко П. А., Веселовский А. П., Виноградeнко А. М., Жуков Г. А., Педан А. В., Фатюхин И. Н., Федоренко В. В. Устройство для сигнализации отклонений параметров при допусковом контроле // Патент на изобретение RU 2617982 C1, опубл. 28.04.2017, бюл. № 13.

34. Федоренко В. В., Будко П. А. Расчет эксплуатационных допусков на параметры каналообразующей аппаратуры // Известия высших учебных заведений. Радиоэлектроника. 2000. Т. 43. № 4 (454). С. 55-60.

35. Katzel J. Managing Alarms // Control Engineering. 2007. Vol. 54 (2). P. 50-54.

36. Takayama K., Kariya S. Autonomous Measuring by Sensing Node in Telemetry System // Measurement Science Review. 2003. Vol. 3. № 3. P. 29-32.

37. IRIG Standard 106-13. Telemetry Standards. New Mexico, Secretariat, Range Commanders Council, White Sands Missile Range Publ., 2013. 8 p.

38. Fedorenko V., Slyusarev V., Fedorenko I. Optimization of the alarm signaling system structure with limited time for information processing // Proc. 2nd Int. Conf. «International Conference on Engineering and Telecommunication (EnT)». Moscow. 2015. P. 7-9. DOI: 10.1109/EnT.2015.17.

39. Клячкин В. Н., Карпунина И. Н., Федорова М. К. Оценка стабильности температурного режима компьютера // Автоматизация процессов управления. 2016. № 3 (45). С. 58-64.

40. Джексон Р. Г. Новейшие датчики. – М.: Техносфера, 2007. – 384 с.

41. Однокристальные микроЭВМ. Справочник. – М.: МИКАП, 1994. – 400 с.

42. Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника. 12-е изд. Т. I, Т. II. – М.: ДМК Пресс, 2008. – 832 с.

43. Шило В. Л. Популярные микросхемы КМОП: Справочник. – М.: Горячая линия – Телеком, 2001. – 112 с.

44. Жуков Г. А. Методы весовой мажоритарной обработки дискретной информации при приеме по параллельным каналам // Техника средств связи. 1983. № 8. С. 74-84.

References

1. Nikolashin U. L., Mirishnikov V. I., Budko P. A., Zhukov G. A. Ensuring steady data exchange with autonomous underwater vehicles. *Sea radio electronics*, 2016, vol. 55, no. 55, pp. 44-49 (in Russian).

2. Budko P. A., Zhukov G. A., Vinogradenko A. M, Goydenko V. K. Determination of critical condition of a sea robotic complex according to the multi-stage procedure of control on the basis of use of veyvlet-transformations. *Sea radio electronics*, 2016, vol. 58, no. 4, pp. 20-23 (in Russian).

3. Budko N. P., Budko P. A., Vinogradenko A. M., Doroshenko G. P., Rozhnov A. V., Mineev V. V., Muhin A. V. *Sposob raspredelennogo kontrolya i adaptivnogo upravleniya mnogourovnevoy sistemoy dlya ego osushestvleniya* [Way of the distributed control and adaptive management of multilevel system and the device for his implementation]. Patent Russia, no. 2450447, 2012 (in Russian).

4. Budko P. A., Risman O. V. *Mnogourovneviy sintez informatsionno-telecommunicatsionnih system: matematicheskie modeli I metody optimizatsii* [Multilevel synthesis of information and telecommunication systems: mathematical models and methods of optimization]. St. Petersburg, Military academy of communication of a name of the marshal of the Soviet Union S.M. Budenny, 2011. 476 p. (in Russian).

5. Vinogradenko A. M., Ladonkin O. V., Yurov A. S. The system of monitoring of technical condition of military mobile objects with use of wireless technologies. *T-Comm*: *Telecommunications and transport*, 2015, no. 1, pp. 51-55 (in Russian).

6. Budko P. A., Litvinov A. I. Kinetic control method and diagnostics of technical means. *Mechatronics, automation, control*, 2014, no. 7, pp. 42-47 (in Russian).

7. Budko P. A., Litvinov A. I. Non-contact control and identification of technical condition of electric equipment of systems of power supply of industrial complexes. *Sensors & systems*, 2014, vol. 183, no. 8, pp. 5-10 (in Russian).

8. Vinogradenko A. M., Veselovsky A. P., Buryanov O. N. Operating control of technical condition of mobile electrotechnical objects. *Sovremennie problemy sozdaniya i ekspluatatsii vooruzeniya, voennoy i spetsialnoy tehniki. Tesisy dokladov III Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Modern problems of creation and operation of arms, military and special equipment. Theses of reports of the III All-Russian scientific and practical conference]. St. Petersburg, 2016, pp. 178-184 (in Russian).

9. Budko P. A., Vinogradenko A. M., Buryanov O. N., Veselovsky A. P. Model of the automated control system of technical condition of land robotic complexes. *Problemy tehnicheskogo obespecheniya voysk v sovremennyh usloviyah. Tesisy dokladov II Mezhvuzovskoy nauchno-pakticheskoy konferentsii* [Problems of technical providing troops in modern conditions. Theses of reports of the II Interuniversity scientific and practical conference]. St. Petersburg, 2017, pp. 145-149 (in Russian).

10. Vinogradenko A. M., Buryanov O. N., Veselovsky A. P. Way of operating control of technical condition of mobile specifics. *Nadezhnost i dolgovechnost*

mashin i mehanizmov. Tesisy dokladov VIII Vserossiyskoy nauchno-pakticheskoy konferentsii [Machines and mechanisms reliability and durability. Theses of reports of the VIII All-Russian scientific and practical conference]. Ivanovo, 2017, pp. 34-36 (in Russian).

11. Fedorenko V., Fedorenko I., Sukmanov A., Samoylenko V., Shlaev D., Atanov I. Modeling of data acquisition systems using the queueing theory. *AEU - International Journal of Electronics and Communications*, 2017, vol. 74, pp. 83-87. DOI: 10.1016/j.aeue.2017.01.024.

12. Budko N. P., Budko P. A., Vinogradenko A. M., Litvinov A. I. *Sposob i ustroystvo avtomatizirovannogo kontrolya tehnicheskogo sostoyaniya elektrooborudovaniya* [Way and the device of the automated control of technical condition of electric equipment]. Patent Russia, no. 2548602, 2015 (in Russian).

13. Budko N. P., Budko P. A., Litvinov A. I., Vinogradenko A. M. Realization of a kinetic control method and diagnostics of technical means. *Mechatronics, automation, control*, 2014, no. 8, pp. 37-44 (in Russian).

14. Budko P. A., Fomin L. A., Linets G. I., Rachkov V. E., Gaychuk D. V., Shlaev D. V. *Sposob avtomaticheskogo kontrolya I adaptivnogo upravleniya raspredelennoy sistemoy i ustroystvo dlya ego osushestvleniya* [Way of automatic control and adaptive management of the distributed system and the device for his implementation]. Patent Russia, no. 2312389, 2007 (in Russian).

15. Budko P. A., Vinogradenko A. M., Litvinov A. I., Yurov A. S. Way of monitoring of precritical condition of controlled objects. *Sensors & systems*, 2014, vol. 184, no. 9, pp. 8-14 (in Russian).

16. Vinogradenko A. M., Fedorenko I. V., Semenenko A. V. *Sistema dlya kontrolya tehnicheskogo sostoyaniya radioelektronnih ob'ektov* [System for control of technical condition of radio-electronic objects]. Patent Russia, no. 90916, 2010 (in Russian).

17. Vinogradenko A. M., Fidorenko I. V. *Sistema dlya kontrolya parametrov tehnologicheskih ob'ektov* [System for control of parameters of technological objects]. Patent Russia, no. 96676, 2010 (in Russian).

18. Budko P. A., Vinogradenko A. M., Litvinov A. I. Pilot studies of a kinetic control method and diagnostics of technical means. *Mechatronics, automation, control*, 2014, no. 9, pp. 53-58 (in Russian).

19. Fomin L. A., Budko P. A. Effectivnost' i kachestvo infokommunikatsionnih system. Metodi optimizatsii [Efficiency and quality of infocommunication systems. Optimization methods]. Moscow, Fizmathlit Publ, 2008. 400 p. (in Russian).

20. Nikolashin U. L., Budko P. A., Zhukov G. A. Brain-computer approach to the solution of the optimization problem of receiving information in the channel with variable parameters. *Neurocomputers*: *development*, *application*, 2016, no. 1, pp. 49-58 (in Russian).

21. Budko P. A., Vinogradenko A. M., Zhukov G. A., Litvinov A. I. Integrated use of heterogeneous communication channels to control robotic systems on the basis of a unified system of radio monitoring. *H&ES Research*, 2017, vol. 1, no. 1, pp. 18-41 (in Russian).

22. Zherdev N. K., Kredentser B. P., Belokon' R. N. Kontrol' ustroystv na integral'nih shemah [Control of devices on integrated circuits]. Kiev, Technique, 1986. 96 p (in Russian).

23. Markov A. A., Bershadskaya T. N., Belousov N. A. Sposob nerazrushayushego kontrolya [Method of nondestructive control of products]. Patent Russia, no. 2184373, 2002 (in Russian).

24. Sukiyazov A. G., Prosyannikov B. N., Verbov M. V., Prosyannikov G. B. Ustroystvo beskontaktnogo opredeleniya tehnicheskogo sostoyaniya tiristorov istochnika pitaniya [The device for the contactless determination of the technical state of the thyristors of the power source]. Patent Russia, no. 2185632, 2002 (in Russian).

25. Sukiyazov A. G., Prosyannikov B. N., Verbov M. V., Prosyannikov G. B., Verbov V. F. Ustroystvo beskontaktnogo monitoring poluprovodnikovih elementov odofaznih I trehfaznih mostovih vipryamiteley [The device for the contactless monitoring of semiconductor elements single-phase and three-phase bridge rectifiers]. Patent Russia, no. 66820, 2007 (in Russian).

26. Budko P. A. Control method of a condition of a communication network on the basis of the two-stage procedure of decision-making. *Physics of wave processes and radio engineering systems*, 2003, vol. 6, no. 1, pp. 64-68 (in Russian).

27. Budko P. A., Vinogradenko A. M., Melnikov N. M., Muhin A. V., Fedorenko I. V. *Ustroystvo avtomaticheskogo poiska kanalov radiosvyazi* [Device of automatic search of channels of a radio communication]. Patent Russia, no. 2450447, 2012 (in Russian).

28. Vinogradenko A. M., Fedorenko V. V. *Ustroystvo dlya izmereniya signalov* [The device for measurement of signals]. Patent Russia, no. 2354055, 2009 (in Russian).

29. Fedorenko V. V., Vinogradenko A. M., Fedorenko I. V. *Ustroystvo dlya kontrolya radioelektronnih ob'ektov* [The device for control of radio-electronic objects]. Patent Russia, no. 2413977, 2011 (in Russian).

30. Budko P. A., Fedorenko V. V., Doroshev A. V., Krasnokutskiy A. V. *Ustroystvo izmereniya kachestva kanalov peredachy tsifrovoy informatsii* [Device of measurement of quality of channels of digital data transmission]. Patent Russia, no. 2230437, 2004 (in Russian).

31. Budko P. A., Fedorenko V. V., Fedorenko I. V., Shlaev D. V. *Model' signalizatsii otkloneniy parametra pri dopuskovom kontrole* [Model of the alarm system of deviations of parameter at dopuskovy control]. Patent Russia, no. 68736, 2007 (in Russian).

32. Budko P. A., Vinogradenko A. M., Fedorenko V. V. *Kvartsevy generator* [Quartz resonator]. Patent Russia, no. 119187. 2012 (in Russian).

33. Budko P. A., Veselovskiy A. P., Vinogradenko A. M., Zhukov G. A., Pedan A. V., Fatyuhin I. N., Fedorenko V. V. *Ustroystvo dlya signalizatsii otkloneniy parametrov pri dopuskovom kontrole* [The device for the alarm system of deviations of parameters at dopuskovy control]. Patent Russia, no. 2617982, 2017 (in Russian).

34. Fedorenko V. V., Budko P. A. Calculation of operational admissions on parameters of the channel-forming equipment. *News of higher educational institutions. Radiotronics*, 2000, vol. 454, no. 4, pp. 55-60 (in Russian).

35. Katzel J. Managing Alarms. *Control Engineering*, 2007, vol. 54, no. 2, pp. 50-54.

36. Takayama K., Kariya S. Autonomous Measuring by Sensing Node in Telemetry System. *Measurement Science Review*, 2003, vol. 3, no. 3, pp. 29-32.

37. IRIG Standard 106-13. Telemetry Standards. New Mexico, Secretariat, Range Commanders Council, White Sands Missile Range Publ., 2013. 8 p.

38. Fedorenko V., Slyusarev V., Fedorenko I. Optimization of the alarm signaling system structure with limited time for information processing. *Proc. 2nd Int. Conf. «International Conference on Engineering and Telecommunication (EnT)»*. Moscow. 2015. P. 7-9. DOI: 10.1109/EnT.2015.17 (in Russian).

39. Klyachkin V. N., Karpunina I. N., Fyodorova M. K. To assess the stability of a temperature mode of the computer. *Automation of control processes*, 2016, vol. 45, no. 3, pp. 58-64 (in Russian).

40. Dzhekson R. G. *Noveyshie datchiki* [The latest sensors]. Moscow, Tehnosfera Publ., 2007. 384 p. (in Russian).

41. *Odnikristal'nie mikroEVM. Spravochnik* [Single chip microcomputers. Reference]. Moscow, MIKAP, 1994. 400 p. (in Russian).

42. Tietze U., Schenk Ch. *Poluprovodnikovaya shemotehnika* [Halbleiter-Schaltungstechnik]. Moscow, DMK Press, 2008. 832 p. (in Russian).

43. Shilo V. L. *Populyarnie mikroshemi KMOP. Spravochnik* [Popular chip CMOS. Reference]. Moscow, Hotline – Telecom, 2001. 112 p. (in Russian).

44. Zhukov G. A. Methods of weight the majority of processing of discrete information when receiving parallel channels. *Technique of communication*, 1983, no. 8, pp. 74-84 (in Russian).

Информация об авторах

Будко Павел Александрович – доктор технических наук, профессор. Ученый секретарь ПАО «Интелтех». Область научных интересов: управление ресурсами информационно-телекоммуникационных систем. E-mail: budko62@mail.ru

Виноградeнко Алексей Михайлович – кандидат технических наук, доцент. Докторант кафедры технического обеспечения связи и автоматизации. Военная академия связи. Область научных интересов: информационно-измерительные системы, сбор и обработка информации. E-mail: vinogradenko.a@inbox.ru

Кузнецов Сергей Владимирович. Главный конструктор «Информтехпроект». Область научных интересов: автоматизированные измерительные комплексы, сбор и обработка информации. E-mail: ksv@info-tp.ru

Гойденко Владимир Константинович – соискатель ученой степени кандидата технических наук. Адъюнкт кафедры технического обеспечения связи и автоматизации. Военная академия связи. Область научных интересов: информационно-измерительные системы, сбор и обработка информации. E-mail: lglvl@ya.ru

Адрес: 194064, Россия, г. Санкт-Петербург, Тихорецкий пр., д. 3.

Realization of a Method of Multilevel Complex Control of Technical Condition of a Sea Robot

P. A. Budko, A. M. Vinogradenko, S. V. Kuznetsov, V. K. Goydenko

Problem definition: *during the operation of difficult multilevel systems, such as sea robotic complexes, their working capacity is always characterized by a large number of parameters which control is expedient to exercise in several stages. At the first stage on any generalized indicator carry out an inspection of system on working capacity and, in case of detection emergency, or a c at the subsequent stages as a result of more careful control with use of information of a local, regional or global contour of the organization of management judge her real state. Such procedure of control leads to considerable reduction of time of checks and volumes of the office information circulating in system.* ***The purpose of work*** *is elaboration of technical solutions on realization of a method of multilevel complex control of technical condition of the sea robotic complex allowing to perform diagnostics of pre-emergency and critical condition of the radio-electronic equipment of his subsystems in the on-line mode.* ***The used scientific and methodological framework.*** *The solution of a problem of control and diagnostics is based on carrying out monitoring of change of the average level of multiple parameter process by map development of Hotellinga. For combination of indications of various types sensors the method based on a grid of emissions and the Bayesian conclusion, modified for the creation of three-dimensional model of technical condition of the radio-electronic equipment of a robotic system on the basis of the surface of points is used.* ***Novelty.*** *Novelty aspects of the presented method of multilevel complex control are the fact that for making decision on the obtained measuring information carry out character-by-character weight majority addition of the signals which have arrived with weight coefficients from several types of sensors at the levels of a payment, the block and also module of the radio-electronic equipment. At the same time process of an integration of the measuring information arriving from the sensor of tension, the sensor of tension of magnetic field, the sensor of humidity of air and the thermal imager is carried out.* ***The method*** *of multilevel complex control of technical condition of a sea robotic complex working on the algorithm of the same name, the probabilistic count of recognition of technical conditions of the radio-electronic equipment and the circuit realization of the device which is carrying out the offered method and the block of decision-making in the form of structural, functional and basic schemes became result of the proposed technical solutions.* ***Practical importance:*** *offered method of multilevel complex control of technical condition of a sea robotic complex, the device of multilevel complex control of technical condition of the radio-electronic equipment and the block of decision-making allow to increase reliability of results of identification of technical condition of the radio-electronic equipment of subsystems of a robotic complex and to expand a scope of technical means of control and diagnostics.*

Key words: *robotic complex, radio-electronic equipment, multilevel control, diagnostics, identification, class of technical condition, integration of measuring information.*

Information about Authors

Pavel Aleksandrovich Budko – Dr. of Engineering, Full Professor. Scientific secretary PJC «Inteltech». Area of scientific interests: resource management of information and telecommunication systems. E-mail: budko62@mail.ru

Aleksey Mihaylovich Vinogradenko – Ph.D. of Engineering Sciences, Associate Professor. Associate Professor at the department of technical ensuring communication and automation. Military academy of communication. Area of scientific interests: information and measuring systems, data collection and processing. Tel. E-mail: vinogradenko.a@inbox.ru

Sergey Vladimirovich Kuznetsov – Chief designer «Informtekhproyekt». Area of scientific interests: the automated measuring complexes, data collection and processing. E-mail: ksv@info-tp.ru

Vladimir Konstantinovich Goydenko – Doctoral Student. The postgraduate student of the department of technical ensuring communication and automation. Military academy of communication. Area of scientific interests: information and measuring systems, data collection and processing. E-mail: lglvl@ya.ru

Address: Russia, 194064, Saint-Petersburg, Tihoreckiy prospekt, 3.

УДК 004.056

Определение термина «компьютерная безопасность»

Забегалин Е. В.

Актуальность задачи: *использование термина «компьютерная безопасность» началось в России 20 лет назад в учебниках, в образовательных стандартах, в научных публикациях, в средствах массовой информации. При этом термин «компьютерная безопасность» до сих пор не получил общепринятого словарного или нормативного определения. По мнению автора, эта ситуация нуждается в развитии – термин «компьютерная безопасность» должен обрести своё логическое нормативное определение в интересах дальнейшего развития теории и практики предметной области, связанной с обеспечением безопасной обработки информации в компьютерных системах.* ***Целью работы*** *является разработка определения термина «компьютерная безопасность», которое может быть предложено на роль нормативного и которое должно задавать общую базовую парадигму решения множества теоретических и практических задач обеспечения и оценивания компьютерной безопасности.* ***Метод решения задачи:*** *сначала анализируется, систематизируется и обобщается содержание компьютерной безопасности по её представлениям в публикациях специалистов и в нормативных документах; затем принимается ряд принципов, ограничивающих предметную область компьютерной безопасности; в завершение составляется определение термина «компьютерная безопасность» по общим логическим правилами определения понятий. Эта схема включает также императивное отнесение компьютерной безопасности к множеству компьютеризированных изделий, в конструкцию и в процессы функционирования которых включены информационные технологии.* ***Новизна решения*** *заключается в новом определении термина «компьютерная безопасность», отличающимся от известных подходов к пониманию и определению компьютерной безопасности тем, что в нём утверждается системное единство трёх существенных её аспектов: безопасности компьютерных данных (информации), безопасности компьютерных программ, безопасности предписанных функций компьютеризированных изделий.* ***Теоретическая значимость работы*** *состоит в том, что предложенное в ней новое определение термина «компьютерная безопасность» влечёт необходимость разработки в дальнейшем новых стандартов и комплексов методик для решения множества задач обеспечения и оценивания компьютерной безопасности.*

Ключевые слова. *Компьютерная безопасность, информационная безопасность, безопасность программного обеспечения, безопасность информационной технологи, компьютеризированное изделие.*

Актуальность

В настоящее время термин «компьютерная безопасность» широко и часто используется в профессиональных публикациях, в СМИ, в Интернете, и при этом в большинстве случаев по умолчанию подразумевается то, что читатели без дополнительных пояснений интуитивно понимают смысл этого термина. Однако общепринятого словарного или нормативного определения этого термина в настоящее время не существует (автор настоящей статьи не нашёл его).

Библиографическая ссылка на статью:
Забегалин Е. В. Определение термина «компьютерная безопасность» // Системы управления, связи и безопасности. 2017. № 4. С. 102-111. URL: http://sccs.intelgr.com/archive/2017-04/05-Zabegalin.pdf
Reference for citation:
Zabegalin E. V. Definition of the Term “Computer Security”. *Systems of Control, Communication and Security*, 2017, no. 4, pp. 102-111. Available at: http://sccs.intelgr.com/archive/2017-04/05-Zabegalin.pdf (in Russian).

Анализ источников, представленных в наиболее фундаментальной работе в этой области [1], позволяет считать, что компьютерная безопасность впервые стала в России предметом специального рассмотрения в учебной литературе 20 лет назад. Так, автор учебного пособия [1] предложил понимать компьютерную безопасность как состояние защищенности (безопасность) информации (данных) в компьютерных системах и одновременно как безотказность (надежность) функционирования компьютерных систем. Автор работы [2] не дал чёткого определения термина «компьютерная безопасность», но обозначил лишь своё ви́дение границ этой безопасности, которые, по его мнению, образуются средствами хранения, обработки и передачи информации в компьютерных (автоматизированных) системах. Авторы пособия [3] использовали термин «компьютерная безопасность» только в названии пособия, но далее никак не определили его. Автор книги [4] сообщил о своём ви́дении компьютерной безопасности как «одной из наиболее динамично развивающихся современных наук», но при этом не дал содержательного определения этой безопасности ни как термина, ни как науки.

Официальное использование термина «компьютерная безопасность» началось в 2011 году, когда был утверждён федеральный государственный образовательный стандарт (ФГОС) по специальности 090301 «Компьютерная безопасность» [7]. В 2016 году этот стандарт был заменен новым ФГОС [8], в котором название специальности осталось прежним, но изменились её номер (теперь это 10.05.01) и требования к ней. Оба указанных стандарта никак не определили сам термин «компьютерная безопасность».

Итак, можно видеть то, что на сегодняшний день сложилась ситуация, при которой термин «компьютерная безопасность» официально и широко используется, но не имеет нормативного определения. По мнению автора настоящей статьи, данная ситуация нуждается в разрешении – термин «компьютерная безопасность» должен получить своё нормативное определение, которое способствовало бы решению множества теоретических и практических задач обеспечения и оценивания компьютерной безопасности в единых логических рамках.

Представляется целесообразной следующая методическая схема решения данной задачи:

- сначала провести анализ, систематизацию и обобщение содержания компьютерной безопасности по тем её представлениям, которые представлены в известных публикациях специалистов и в нормативных документах;
- затем принять ряд принципов, которые нужны для ограничения предметной области компьютерной безопасности;
- в итоге составить определение термина «компьютерная безопасность» по общим логическим правилам определения понятий.

Предметное содержание компьютерной безопасности

Содержание компьютерной безопасности выявляется по её предметным частям, которые можно извлечь из известных источников, в первую очередь из тех, которые были упомянуты выше – из [1, 2, 3, 7, 8].

В учебном пособии [1] компьютерная безопасность логически выводится из более широкого родового понятия информационной безопасности и предлагается её комплексное понимание в аспектах безопасности компьютерной информации, технической надёжности и аутентичности функционирования компьютерных систем (главным образом, с точки зрения их целостности). С этой позиции далее в учебном пособии подробно рассматривается только информационная безопасность компьютерных данных, анализ же безопасности программного обеспечения и безопасности функций компьютерных систем оставлен за рамками пособия.

В учебном пособии [2] не предложено чёткого определения термина «компьютерная безопасность» и указывается лишь на то, что её рамки составляют средства компьютерных (автоматизированных) систем хранения, обработки и передачи информации, и, исходя из этого, подробно описываются только математические модели обеспечения информационной безопасности компьютерных данных, отдельный же вопрос о безопасности программного обеспечения не ставится.

В учебном пособии [3], которое написано в парадигме информационной безопасности, термин «компьютерная безопасность» никак не определяется, но в круг рассматриваемых вопросов включается безопасность программного обеспечения при угрозах вредоносных программных воздействий на компьютеры и вычислительные сети.

ФГОС [8], определяя шесть объектов профессиональной деятельности по специальности 10.05.01, первым в этом перечне называет «защищаемые компьютерные системы и входящие в них средства обработки, хранения и передачи информации». Кроме того, в описании частных специализаций в стандарте применяются термины «информационная безопасность», «защита информации», «защищённое программное обеспечение», «безопасность программного обеспечения».

С учётом этого близким по смыслу к термину «компьютерная безопасность» видится термин «безопасность информационной технологии», который имеет нормативные определения и используется в документах [9, 10]. Определения, которые даны в этих документах, несмотря на различия в формулировках, по сути, акцентируют состояние защищённости одновременно трёх типов объектов:

а) компьютерных данных (информации);
б) ресурсов информационной технологии – программных и аппаратно-программных средств;
в) предписанных функций информационной технологии.

К рассматриваемому вопросу имеет отношение и расширенное толкование термина «информационная безопасность», данное в стандарте [11], которое логически соединяет безопасность информации и безопасность средств её об-

работки. Такое расширенное понимание информационной безопасности является близким к определению безопасности информационной технологии.

Анализ ресурсов глобальной сети Интернет по теме компьютерной безопасности даёт представление о том, что в рамках этой темы рассматривается не только безопасность компьютерных данных (компьютерной информации), но и безопасность программного обеспечения (по меньшей мере, в аспекте его антивирусной защиты).

Для полноты картины следует упомянуть популярный термин «кибербезопасность». Подробный критический анализ этого термина дан в книге [5], в которой делается заключение (с которым можно согласиться) об отсутствии достаточных научных и практических оснований для использования этого термина в вопросах обеспечения безопасности в информационной сфере.

Итак, можно подвести следующий итог проведенного анализа.

1) Безопасность компьютерных данных (информации) является бесспорным компонентом компьютерной безопасности.

2) Безопасность программного обеспечения во всех рассмотренных случаях непосредственно или опосредованно прослеживается в составе компьютерной безопасности. Одним из примерных аргументов в пользу выделения самостоятельного характера безопасности программного обеспечения является угроза УБИ.188 – «Подмена программного обеспечения», которая внесена в «Банк данных угроз информационной безопасности» ФСТЭК России [12]. Критериями безопасности программного обеспечения могут быть, по меньшей мере, те же критерии, что и для безопасности компьютерных данных (информации) – конфиденциальность, целостность, доступность.

3) Представляется теоретически приемлемым и практически предпочтительным узкое понимание компьютерной безопасности, при котором она связывается только с угрозами целенаправленных вредоносных воздействий на компьютерные программы и данные, но не связывается с технической безотказностью (надёжностью) оборудования и программного обеспечения, которые, как отмечается в учебном пособии [1], в русле исторического развития вычислительной техники стали предметом рассмотрения иных дисциплин.

4) Безопасность предписанных функций информационных технологий (и более широко – компьютеризированных изделий) является эмерджентным качеством компьютерной безопасности. Оно не сводится целиком ни к безопасности одних только компьютерных данных, ни к безопасности одних только компьютерных программ, но возникает при их системной технологической интеграции. То есть функции информационной технологии прямо реализуются компьютерными программами при выполнении заложенных в них алгоритмов обработки определённых данных. Можно представить себе, например, гипотетическую ситуацию, когда некая компьютерная программа фальсифицирована вредоносным воздействием (подменена) таким образом, что она имеет такую же контрольную сумму, что и её исходная версия, но выполняет изменённый алгоритм обработки данных, блокирующий выполнение части предписанных функций или снижающий качество их выполнения.

Критерием безопасности предписанных функций информационных технологий и компьютеризированных изделий может быть, по мнению автора настоящей статьи, во-первых, полнота выполнения всего множества этих функций и, во-вторых, необходимое качество их выполнения, которые в виде наборов функциональных и технических требований должны задаваться при проектировании информационных технологий и компьютеризированных изделий и затем должны оцениваться при их испытаниях.

Определение термина «компьютерная безопасность»

С учётом проведенного выше предметного анализа предлагаются следующие принципы определения термина «компьютерная безопасность»:

- в круг объектов обеспечения и оценивания компьютерной безопасности должны включаться компьютеризированные изделия, в конструкцию и в процессы функционирования которых встроены информационные технологии (это, например, отдельные автоматизированные рабочие места, многопользовательские автоматизированные системы, машины с элементами компьютерного управления и т. п.);
- терминологическое определение компьютерной безопасности должно охватывать одновременно три сущностных аспекта: безопасность компьютерных данных (информации), безопасность компьютерных программ, безопасность предписанных функций компьютеризированных изделий, в которых реализуются информационные технологии;
- учитывая то, что нормативные определения терминов «безопасность информации» и «безопасность информационной технологии» ранее прошли профессиональную экспертизу, формулировка определения термина «компьютерная безопасность» должна быть преемственной к формулировкам нормативных определений этих двух терминов;
- определение термина «компьютерная безопасность» должно соответствовать общим логическим правилам определения понятий, в числе которых: отнесение к ближайшему роду и выявление видового отличия, соблюдение соразмерности определяемого и определяющего понятий, выделение существенных видовых признаков, отсутствие терминологического круга, применение позитивной формы суждений, недопущение логических противоречий и двусмысленности, достижение чёткости и ясности [6].

В соответствии с этими принципами автором предлагается следующее общее определение термина «компьютерная безопасность».

Компьютерная безопасность – состояние защищённости компьютерных программ и данных в средствах вычислительной техники, в каналах связи, в автоматизированных системах и в других компьютеризированных изделиях, при котором обеспечиваются конфиденциальность, целостность и доступность компьютерных программ и данных, а также обеспечивается выполнение компьютеризированными изделиями предписанных функций.

Данное общее определение термина «компьютерная безопасность» может быть, по мнению автора настоящей статьи, предложено на роль будущего опре-

деления, которое может использоваться в ФГОС, нормативных актах и регламентирующих документах.

На основе этого общего определения могут формулироваться частные определения для различных классов и типов компьютеризированных изделий, например, следующие.

Компьютерная безопасность беспилотных транспортных средств – состояние защищённости компьютерных программ и данных в компьютерных устройствах, которые являются элементами конструкции беспилотных транспортных средств, а также в каналах связи этих средств, при котором обеспечиваются конфиденциальность, целостность, доступность компьютерных программ и данных, а также обеспечивается выполнение беспилотными транспортными средствами предписанных транспортных функций.

Компьютерная безопасность робототехнических комплексов – состояние защищённости компьютерных программ и данных в компьютерных устройствах, которые являются элементами конструкции робототехнических комплексов, в их каналах связи, при котором обеспечиваются конфиденциальность, целостность, доступность компьютерных программ и данных, а также обеспечивается выполнение робототехническими комплексами предписанных функций по назначению.

Компьютерная безопасность военной техники – состояние защищённости компьютерных программ и данных в компьютеризированных образцах, комплексах и системах военной техники, в их каналах связи, при котором обеспечиваются конфиденциальность, целостность и доступность компьютерных программ и данных, а также обеспечивается выполнение компьютеризированными образцами, комплексами и системами военной техники предписанных функций по назначению.

Что может следовать дальше?

Предложенное выше терминологическое определение компьютерной безопасности является логической основой и открывает возможности для разработки новых стандартов и комплексов методик, необходимых для определения требований к компьютерной безопасности компьютеризированных изделий различных классов и типов, а также методик, необходимых для её оценивания. Эти стандарты и комплексы методик должны отличаться от существующих нормативных требований информационной безопасности тем, что в них должна быть заложена системная увязка трёх ключевых аспектов:

- безопасности компьютерных данных;
- безопасности компьютерных программ;
- безопасности предписанных функций компьютеризированных изделий.

Разнообразие указанных методических комплексов должно соответствовать качественному разнообразию классов и типов компьютеризированных изделий.

Заключение

Исходя из анализа известных источников, показана актуальность задачи нормативного определения термина «компьютерная безопасность».

Проведенный предметный анализ компьютерной безопасности дал основания для выделения трёх её существенных компонентов (аспектов): безопасности компьютерных данных, безопасности компьютерных программ, безопасности функций, предписанных компьютеризированным изделиям.

В соответствии с выделенной предметной структурой компьютерной безопасности и в рамках принятых логических принципов предложено общее определение термина «компьютерная безопасность», которое может быть принято за основу в нормативных и регламентирующих документах нормативным.

В соответствии с данным общим определением термина «компьютерная безопасность» предложены примерные частные определения компьютерной безопасности для трёх классов компьютеризированных изделий: для беспилотных транспортных средств, для робототехнических комплексов, для компьютеризированных образцов, комплексов и систем военной техники.

В развитие рассмотренной темы обозначен круг исследовательских задач по разработке новых стандартов и комплексов методик для определения требований к компьютерной безопасности различных классов и типов компьютеризированных изделий и комплексов методик для её оценивания.

Литература

1. Гайдамакин Н. А. Теоретические основы компьютерной безопасности: учебное пособие. – Екатеринбург: Уральский государственный университет им. А. М. Горького, 2008. – 212 с. – URL: http://elar.urfu.ru/bitstream/10995/1778/5/1335332_schoolbook.pdf (дата обращения: 08.02.2018).

2. Щербаков А. Ю. Современная компьютерная безопасность. Теоретические основы. Практические аспекты. Учебное пособие. – М.: Книжный мир, 2009. – 352 с.

3. Грушко А. А., Применко Э. А., Тимонина Е. Е. Теоретические основы компьютерной безопасности: учебное пособие для студентов высших учебных заведений. – М.: Издательский центр «Академия», 2009. – 272 с.

4. Девянин П. Н. Модели безопасности компьютерных систем. Управление доступом и информационными потоками. Учебное пособие для вузов. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Горячая линия – Телеком, 2016. – 338 с.

5. Михайлов Ю. Б. Научно-методические основы обеспечения безопасности защищаемых объектов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2015. – 322 с.

6. Кондаков Н. И. Логический словарь-справочник. – М.: Наука, 1975. – 720 с.

7. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего профессионального образования по направлению подготовки (специальности) 090301 «Компьютерная безопасность» (квалификация (степень) «специалист»). Утвержден приказом Министерства образования и науки РФ от 17 января 2011 г. N 69 // Интернет-портал «КонсультантПлюс». – URL:

http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_113513/e56c7ff29f09c387b560f343c082a2ab8edfa57b (дата обращения: 08.02.2018).

8. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования по специальности 10.05.01 «Компьютерная безопасность» (уровень специалитета). Утвержден приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 1 декабря 2016 г. N 1512 // Интернет-портал «КонсультантПлюс». – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_209322/380a78c549db44b1c53202079b18085d22df2dba (дата обращения: 08.02.2018).

9. Руководящий документ. Безопасность информационных технологий. Критерии оценки безопасности информационных технологий. Введен в действие Приказом Гостехкомиссии России от 19.06.2002 г. N 187 // Интернет-портал ФСТЭК России. – URL: http://fstec.ru/component/attachments/download/293 (дата обращения: 08.02.2018).

10. РС Р 50.1.056–2005. Техническая защита информации. Основные термины и определения. Введ. 2006-12-29. – М.: Стандартинформ, 2006. –16 с.

11. ГОСТ Р ИСО/МЭК 13335-1-2006. Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Часть 1. Концепция и модели менеджмента безопасности информационных и телекоммуникационных технологий. Введ. 2007-06-01. – М.: Стандартинформ, 2007. – 23 с.

12. УБИ.188: Угроза подмены программного обеспечения // Интернет-портал ФСТЭК России. Банк данных угроз информационной безопасности. – URL: http://bdu.fstec.ru/threat/ubi.188 (дата обращения: 08.02.2018).

References

1. Gaidamakin N. A. *Teoreticheskie osnovy komp'iuternoi bezopasnosti* [Theoretical Foundations of Computer Security]. Ekaterinburg, Ural Federal University (UrFU), Electronic Scientific Archive of UrFU, 2008. 212 p. Available at: http://elar.urfu.ru/bitstream/10995/1778/5/1335332_schoolbook.pdf (accessed 08 February 2018) (in Russian).

2. Shcherbakov A. Iu. *Sovremennaia komp'iuternaia bezopasnost'. Teoreticheskie osnovy. Prakticheskie aspekty* [Modern computer security. Theoretical basis. Practical aspects]. Moscow, Knizhnyi mir Publ., 2009. 352 p. (in Russian).

3. Grushko A. A., Primenko E. A., Timonina E. E. *Teoreticheskie osnovy komp'iuternoi bezopasnosti* [Theoretical Foundations of Computer Security]. Moscow, Izdatel'skii tsentr «Akademiia», 2009. 272 p. (in Russian).

4. Devianin P. N. *Modeli bezopasnosti komp'iuternykh sistem. Upravlenie dostupom i informatsionnymi potokami* [Models of security of computer systems. Control of access and information flows]. Moscow, Goriachaia liniia – Telekom Publ., 2016. 338 p. (in Russian).

5. Mikhailov Iu. B. *Nauchno-metodicheskie osnovy obespecheniia bezopasnosti zashchishchaemykh ob"ektov* [Scientific and methodological basis for ensuring the safety of the protected objects]. Moscow, Goriachaia liniia – Telekom Publ., 2015. – 322 p. (in Russian)

6. Kondakov N. I. *Logicheskii slovar'-spravochnik* [The logical dictionary-directory]. Moscow, Nauka Publ., 1975. 720 p. (in Russian).

7. Federal state educational standard of higher professional education in the field of training (specialty) 090301 “Computer security” (qualification (degree) “specialist”). Approved by the order of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation of January 17, 2011 No. 69. *Internet portal “ConsultantPlus”.* Available at: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_113513/e56c7ff29f09c387b560f343c082a2ab8edfa57b (accessed 08 February 2018) (in Russian).

8. Federal state educational standard of higher education on specialty 10.05.01 “Computer security” (level of specialty). Approved by the order of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation of 1 December 2016 No. 1512. *Internet portal “ConsultantPlus”.* Available at: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_209322/380a78c549db44b1c53202079b18085d22df2dba (accessed 08 February 2018) (in Russian).

9. Guidance document. Security of information technology. Criteria for assessing the security of information technology. It was put into effect by the Order of the State Technical Commission of Russia of 19.06.2002 No. 187. *Internet portal of “Federal Service for Technical and Export Control of Russia” (FSTEC).* Available at: http://fstec.ru/component/attachments/download/293 (accessed 08 February 2018) (in Russian).

10. Guidance on standardization. P 50.1.056-2005. Technical protection of information. Basic terms and definitions. Enter. 2006-12-29. Moscow, Standartinform Publ., 2006. 16 p. (in Russian).

11. ISO/IEC 13335-1: 2004 Information technology – Security techniques – Management of information and communications technology security – Part 1: Concepts and models for information and communications technology security management. Moscow, Standartinform Publ., 2007. 23 p. (in Russian).

12. Threat to information security No. 188 “Threat of spoofing software”. *Internet portal of “Federal Service for Technical and Export Control of Russia” (FSTEC). Data Security Threats Database.* Available at: http://bdu.fstec.ru/threat/ubi.188 (accessed 08 February 2018) (in Russian).

Статья поступила 8 февраля 2018 г.

Информация об авторе

Забегалин Евгений Викторович – кандидат технических наук. Старший научный сотрудник. 4 Центральный научно-исследовательский институт. Область научных интересов: информационная безопасность. E-mail: ezabex@yandex.ru

Адрес: 141092, Россия, Московская обл., г. Королёв, мкр. Юбилейный, ул. М.К. Тихонравова, д. 29.

Definition of the Term "Computer Security"

E. V. Zabegalin

The relevance of the task: *the use of the term "computer security" began in Russia 20 years ago in textbooks, in educational standards, in scientific publications, in the media. However, term "computer security" has not yet received a generally accepted dictionary or normative definition. In the author's opinion, this situation needs development – the term "computer security" should acquire its logical normative definition in the interests of further development of the theory and practice of the subject area related to ensuring the safe processing of information in computer systems.* ***The purpose of the work*** *is to develop a definition of the term "computer security", which can be proposed for the role of regulatory and which should set a common basic paradigm for solving a variety of theoretical and practical tasks of providing and evaluating computer security.* ***Method for solving the problem:*** *first, the content of computer security is analyzed, systematized and generalized according to its representations in publications of specialists and in regulatory documents; then a number of principles are adopted that limit the subject area of computer security; in the end, the definition of the term "computer security" is drawn up according to the general logical rules of definition of concepts. This scheme also includes the imperative attribution of computer security to a variety of computerized products, the design and operation of which includes information technologies.* ***The novelty of the solution*** *lies in the new definition of the term "computer security", which differs from the known approaches to understanding and determining computer security in that it affirms the systemic unity of its three essential aspects: the security of computer data (information), the software security, the security of prescribed functions of computerized products.* ***The theoretical significance of the work*** *is that the new definition of the term "computer security" proposed in it entails the need to develop new standards and methodologies in the future to solve a variety of tasks to ensure and evaluate computer security.*

Keywords: *computer security, information security, software security, information technology security, computerized product, information technology.*

Information about Author

Evgeniy Viktorovich Zabegalin – Ph.D. of Engineering Sciences. Senior Research Officer. The 4th Central Research Institute of the Ministry of Defence of the Russian Federation. Field of research: information security. E-mail: ezabex@yandex.ru

Address: Russia, 141092, Moskovskaya oblast, Korolev, mkr. Yubileyny, ulica M.K. Tikhonravova, 29.

УДК 621.39

Методический аппарат измерения внешней социально-экономической эффективности развития инфокоммуникаций

Кузовкова Т. А., Кузовков Д. В., Кузовков А. Д., Шаравова О. И.

Постановка задачи: *эффективность отрасли инфокоммуникаций – важнейшего элемента производственной и социальной инфраструктуры информационного общества, проявляется в большей мере вне отрасли, имеет синергетический и мультипликативный характер, выражается в росте эффективности деятельности других секторов экономики и качества социальной жизни людей.* ***Целью работы*** *является разработка прикладного методического аппарата оценки внешней социально-экономической эффективности развития инфокоммуникаций на основе качественных методов измерения ее параметров.* ***Используемые методы:*** *экстерналий, внеотраслевой эффективности, квалиметрии, экспертных оценок, построения комплексных показателей, статистические методы анализа вариации, согласованности мнений и качества экспертов.* ***Результат*** *состоит в формировании методического аппарата оценки внешней социально-экономической эффективности развития инфокоммуникаций посредством измерения экстерналий в приросте валового внутреннего продукта и внеотраслевой эффективности – в экономии рабочего времени работников и свободного времени населения с последующим переводом в макроэкономические показатели.* ***Практическая значимость:*** *методический инструментарий оценки внешней социально-экономической эффективности развития инфокоммуникаций дает возможность комплексно учесть внешние экономические и социальные эффекты реализации инфраструктурных проектов, объективно определить отдачу в экономических категориях на единицу инвестиций, обеспечить доказательную базу принятия стратегических решений по инновационному развитию общественно значимых инфраструктурных отраслей информационного общества.*

Ключевые слова*: инфокоммуникации, внешние социально-экономические эффекты, экстерналии, внеотраслевая эффективность, экспертные технологии, макроэкономические оценки, вклад развития инфокоммуникаций.*

Введение

Создание и функционирование необходимой для нормальной жизнедеятельности российских граждан инфокоммуникационной инфраструктуры на основе внедрения новейших технологий, инновационных продуктов и услуг, преодоления цифрового неравенства регионов Российской Федерации, включая Арктический регион, сопровождается значительными вложениями инвестиционных средств участников рынка и государства. Измерение эффективности инфокоммуникационных инфраструктурных проектов с помощью известных динамических методов не дает объективной оценки эффективности, не позволяет учесть и измерить внешний экономический и социальный эффект, тем самым

Библиографическая ссылка на статью:
Кузовкова Т. А., Кузовков Д. В., Кузовков А. Д., Шаравова О. И. Методический аппарат измерения внешней социально-экономической эффективности развития инфокоммуникаций // Системы управления, связи и безопасности. 2017. № 4. С. 112-165. URL: http://sccs.intelgr.com/archive/2017-04/06-Kuzovkova.pdf

Reference for citation:
Kuzovkova T. A., Kuzovkov D. V., Kuzovkov A. D., Sharavova O. I. Methodology of Infocommunication Development External Socio-Economic Efficiency Measurement. *Systems of Control, Communication and Security*, 2017, no. 4, pp. 112-165. Available at: http://sccs.intelgr.com/archive/2017-03/06-Kuzovkova.pdf (in Russian).

обуславливает необходимость разработки соответствующего методического аппарата.

Открытость системы производства услуг, сетевой принцип построения и мультипликативные результаты деятельности инфокоммуникаций обеспечивают синергетический характер внешней социально-экономической эффективности развития ее инфраструктуры и обусловливают недостаточность измерения только внутренней эффективности.

Синергетический характер социально-экономической эффективности инфокоммуникационных инфраструктурных проектов, зависящей также от множества факторов, диктует необходимость применения разных методических подходов к ее оценке. В условиях воздействия внешних и внутренних факторов организационно-технического и рыночно-экономического характера на развитие инфокоммуникаций, в первую очередь необходимо выявить внешние (внеотраслевые) последствия внедрения новых проектов и экстерналии развития инфокоммуникаций, оказывающие влияние на социально-экономические результаты развития регионов и страны в целом.

Анализ применяемых в международной практике методов оценки эффективности проектов общественного сектора экономики, имеющих социальный эффект, показал, что основными причинами ограниченности их применения являются недостаточная разработанность методов оценки нематериальных выгод и полезности инвестиционных социально значимых проектов в денежном выражении, которые бы позволяли агрегировать множественные результаты проекта в единую оценку.

В то же время во многих теоретических работах доказано, что физическая и институциональная инфраструктура снижает транзакционные издержки (коммуникационные, транспортные, информационные), способствует социально-экономическому развитию, росту производительности и эффективности экономики. Для регулирования процесса инновационного развития инфокоммуникаций и ее инфраструктуры требуется методический инструментарий получения количественных оценок, показывающих ценность инвестирования в развитие инфокоммуникаций по совокупности экстерналий и внеотраслевых социально-экономических эффектов, выражающихся в повышении производительности труда, экономии производственных затрат, приросте доходов, валовой добавленной стоимости (ВДС), валового внутреннего продукта (ВВП) и т. д.

Измерение эффективности инфраструктурных проектов с помощью известных динамических методов обеспечивает только один вектор внутренней оценки эффективности и не дает возможности оценить другой вектор внешней экономической и социальной эффективности развития инфраструктуры инфокоммуникаций. Недостаточная разработанность методов оценки нематериальных выгод и полезности социально-значимых инвестиционных проектов в количественном выражении, множественность их результатов продиктовали необходимость в разработке прикладной методики, учитывающей специфику инфокоммуникаций, развитие инфраструктуры которой является базисом создания информационного общества в Российской Федерации.

Методологическое решение сложной и многоаспектной задачи формирования комплексной оценки социально-экономической эффективности развития инфраструктуры инфокоммуникаций выходит за рамки оценки эффективности инвестиционных или инновационных проектов известными методами стоимостного сопоставления доходов и инвестиций с учетом дисконтирования денежных потоков и основано на разработке и применении качественных методов измерения эффективности. Задачей качественных методов является получение однозначной оценки экономической и социальной эффективности развития инфокоммуникационной инфраструктуры с учетом положительных и отрицательных эффектов на основе разработки специального методического инструментария, включающего две частные методики.

Первая методика базируется на измерении внешней социально-экономической эффективности развития инфраструктуры инфокоммуникаций посредством количественного измерения вклада развития инфокоммуникаций в экономическое и социальное развитие нашей страны по совокупности экстерналий в виде конечного выражения внешнего эффекта, а именно: прироста (снижения) ВВП по совокупности положительных и отрицательных экстерналий.

Вторая методика предусматривает измерение внеотраслевой социально-экономической эффективности развития инфраструктуры инфокоммуникаций по показателям экономии рабочего времени и свободного времени населения с последующим расчетом экономических показателей. Данный подход позволяет установить экономические и социальные выгоды системы государственного управления, бизнеса и населения от применения инфокоммуникационных услуг и технологий.

Предлагаемые методики различаются сущностью, спецификой параметров и способов построения моделей результативных показателей, принципов получения информации на основе экспертно-социологических обследований и востребованностью в конкретных социально-экономических условиях, пространстве и времени функционирования системы инфокоммуникаций. Поэтому материал статьи был декомпозирован на следующие части:

- характеристика роли инфокоммуникаций в построении информационного общества и факторы проявления эффективности развития ее инфрастуктуры;
- сущность экстерналий, обоснование их видов для сферы инфокоммуникаций и методика измерения экстерналий развития инфраструктуры инфокоммуникаций;
- сущность, факторы проявления и методика оценки внеотраслевой социально-экономической эффективности развития инфраструктуры инфокоммуникаций;
- результаты апробации прикладных методик.

Цель применения прикладного методического аппарата по двум частным методикам измерения экстерналий и внеотраслевой эффективности состоит в получении количественного показателя эффективности на основе интегрированного способа учета всевозможных проявлений эффектов и затрат посред-

ством экспертных оценок. Данный подход имеет важные преимущества по оперативности проведения и обеспечению достаточной достоверности экспертно-социологических обследований в условиях отсутствии необходимой информации по множеству показателей и объектов исследования.

Апробация предлагаемой методики проведена на примере крупного инфраструктурного проекта создания системы спутниковой связи с космическими аппаратами на высокоэллиптических орбитах, в том числе для оказания услуг связи в Арктическом регионе Российской Федерации (РФ). Внедряемый инфраструктурный проект системы спутниковой связи является более эффективным по сравнению с действующей системой, в которой преобладают спутники на геостационарной орбите, так как использование этих спутников существенно затруднено в приполярных районах Земли.

Роль инфокоммуникационной инфраструктуры в построении информационного общества

Технологическая революция конца XX века обусловила переход от «материального» к «информационному» обществу, основанному на превращении информации в приоритетный фактор производства, который выражается в таких социально-экономических преобразованиях как изменение структуры валового внутреннего продукта, появление новых профессий, развитие инфокоммуникационной инфраструктуры общества, глобализация и цифровизация экономики, конвергенция услуг и технологий, сетей и систем передачи и обработки информации [1-5].

Информатизация затрагивает все слои общества, сферы деятельности, профессиональную и частную жизнь. Она сопровождается концентрацией информации в местах ее накопления и распределения и возможностью целенаправленного воздействия на человеческое общество. Это обусловливает необходимость формирования комплекса мер по развитию инфокоммуникационной инфраструктуры, соответствующей требованиям экономики и социума информационного общества.

Отрасль инфокоммуникаций как элемент производственной и социальной инфраструктуры не только принимает непосредственное участие в решении всех задач формирования информационного общества, но и имеет особый каталитический эффект воздействия на все сферы экономики и социума [2, 5, 6].

В утвержденной Президентом РФ В. В. Путиным «Стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017 – 2030 годы» определена ведущая роль инфокоммуникационных технологий (ИКТ), цели, задачи и меры по реализации внутренней и внешней политики нашей страны в сфере их применения, направленные на развитие информационного общества, формирование национальной цифровой экономики, обеспечение национальных интересов и реализацию стратегических национальных приоритетов в условиях нового технологического уклада (рис. 1) [7].

В информационном обществе информация, уровень ее применения и доступности кардинальным образом влияют на экономические и социокультурные условия жизни граждан. Важнейшими компонентами информационного

пространства становятся индустриальный интернет, интернет вещей, инфокоммуникационная инфраструктура, безопасные программное обеспечение и сервис, информационно-технологические модели облачных и туманных вычислений.

Ключевым фактором производства в цифровой экономике являются данные в цифровом виде, обработка больших объемов и использование результатов анализа, которые по сравнению с традиционными формами хозяйствования позволяют существенно повысить эффективность различных видов производства, технологий, оборудования, хранения, продажи, доставки товаров и услуг. Экосистема цифровой экономики выражается в постоянном взаимодействии технологических инфокоммуникационных платформ, прикладных интернет-сервисов, аналитических систем, информационных систем органов государственной власти РФ, организаций и граждан.

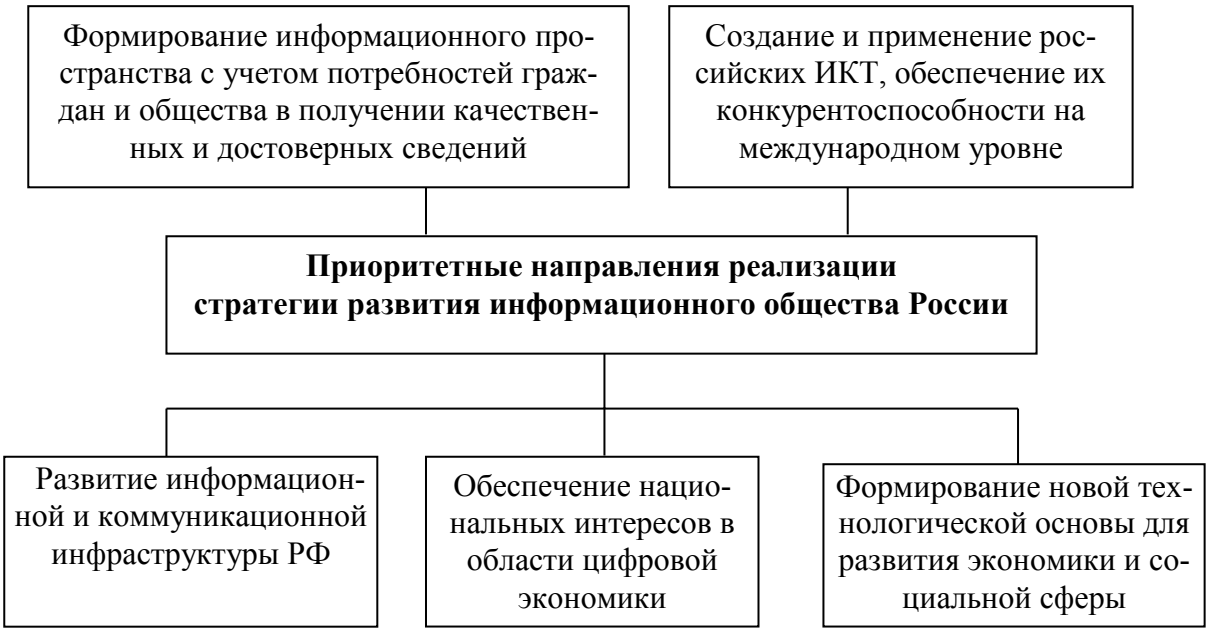

Рис. 1. Задачи Стратегии развития информационного общества в РФ (2017-2030 г.)

Приобретение все более весомой роли инфокоммуникационной инфраструктуры в экономике и социуме информационного общества, вступившего в эпоху формирования нового технологического уклада, предопределяет необходимость развития методов управления эффективностью производственной и социальной инфраструктуры.

За последние 25 лет ИКТ приобрели роль системообразующего фактора в формировании информационного общества в национальном и мировом масштабах и обеспечении устойчивых темпов развития [5, 8]. Значение отрасли инфокоммуникаций определяется, в первую очередь, положительными результатами применения инфокоммуникационных технологий и сетей в производстве товаров и услуг, во-вторых – качественным изменением производительных сил и факторов производства. Эффективное использование информационных ресурсов и технологий возможно только на основе создания информационного

пространства, реализуемого посредством инфокоммуникаций как инфраструктуры информационного общества.

Назначение инфокоммуникаций состоит в формировании нового технологического уклада и инфокоммуникационной платформы социальной и производственной инфраструктуры информационного общества на основе конвергенции связи и информатики, применения в процессе производства товаров и услуг ИКТ, объединения локальных вычислительных систем, баз (банков) данных с помощью глобальных сетей. В процессе создания информационного пространства инфокоммуникации выполняют двоякую роль: транспортно-сетевой среды (инфраструктуры информатизации) и инфокоммуникационного ресурса (фактора) производства товаров и услуг.

Поэтому в ходе информатизации общества функционирование организаций инфокоммуникаций выходит за рамки отрасли, приобретает конвергентный характер с информационно-вычислительным обслуживанием и распространяется на явления и процессы смежной со сферой инфокоммуникаций экономической деятельности. Такой аспект экономической деятельности определяет открытость инфокоммуникаций как хозяйственной системы и преобладание внешнего социально-экономического эффекта по сравнению с внутренней эффективностью.

Синергетический характер и факторы эффективности развития инфраструктуры инфокоммуникаций

Необходимость формирования единого информационного пространства на всей территории страны и обеспечения доступа 100% населения России, в том числе проживающего на отдалённых и труднодоступных территориях Арктической зоны, к современным инфокоммуникационным услугам и технологиям, к передовым методам дистанционной диагностики, лечения и обучения, сохранения и укрепления лидерства России в освоении Арктики в условиях глобализации и растущей международной конкуренции, обуславливает растущую потребность государства, бизнеса и населения в инфокоммуникационных услугах (ИКУ).

Высокие темпы информатизации и формирования общества в стране, интересы обеспечения национальной безопасности, государственного управления и социально-экономического развития диктуют необходимость дальнейшего развития инфокоммуникационной инфраструктуры. На рис. 2 представлены факторы развития инфокоммуникационной инфраструктуры Российской Федерации.

Для оценки эффективности развития инфраструктуры инфокоммуникаций и применения ее возможностей в информационном обществе необходимо иметь прикладной методический аппарат, учитывающий характер проявления синергетического (внутреннего и внешнего) социально-экономического эффекта и влияние множества факторов разнонаправленного действия.

О характере эффективности развития инфокоммуникаций прямо указано в государственной программе по созданию информационного общества, а именно: от создания целостной и эффективной системы использования инфо-

коммуникационных технологий экономика и граждане получают максимум выгод, повышается прозрачность экономической деятельности и управляемость субъектами хозяйствования и населением, устойчивость и конкурентоспособность экономики в целом [6-7].

Рис. 2. Факторы развития инфокоммуникационной инфраструктуры РФ

Для понимания сущности эффективности инфраструктурных проектов в сфере инфокоммуникаций следует исходить из ее инфраструктурной роли: без сетей связи и ИКТ сегодня немыслимо функционирование любой сферы жизнедеятельности. Современное развитие отраслей экономики страны неразрывно связано с состоянием инфокоммуникационной инфраструктуры. При этом система государственного управления, экономическая и социальная деятельность, а также граждане получают максимум выгод не стоимостного, а качественного характера от применения и развития инфокоммуникационной инфраструктуры.

Немаловажное значение при измерении эффективности инфраструктурных проектов в сфере инфокоммуникаций имеет учет участия государства и хозяйствующих субъектов в процессе финансирования и реализации инвестиционных решений в экономически значимых областях, например, организация связи в Арктической зоне, в формировании спутниковой группировки, являющихся весьма дорогостоящими проектами [9-11]. В то же время при создании и внедрении инфраструктурных проектов инфокоммуникаций возникает комплекс рисков, которые могут влиять на их эффективность. Так задержки с созданием космических аппаратов и их неудачные запуски – риски реализации

проекта, приводят к удорожанию проектов создания систем спутниковой связи, а также к задержке с началом предоставления услуг. К финансовым рискам относятся вероятность бюджетного дефицита и, как следствие, недостаточный уровень финансирования проектов создания систем спутниковой связи, а также экономические санкции против России, создающие трудности с привлечением внебюджетного финансирования и снижение объема внебюджетных ресурсов.

Систематизация условий и факторов создания и реализации инфокоммуникационных инфраструктурных проектов позволила систематизировать их особенности, которые сказываются на синергетическом характере и сущности их социально-экономической эффективности (рис. 3).

Рис. 3. Особенности создания, реализации и эффективности инфокоммуникационных инфраструктурных проектов

Акцент на синергетический характер эффективности инфокоммуникационной инфраструктуры подтверждает необходимость комплексного подхода к оцениванию эффективности инфраструктурных проектов – к внутренней эффективности должна быть добавлена внешняя (внеотраслевая) эффективность. Такой подход позволит не только реально оценивать мультипликативный вклад инфраструктурных проектов в сфере инфокоммуникаций с учетом их внешнего социально-экономического эффекта, но и получить возможность реально оценить эффективность государственного инвестирования в развитие инфокоммуникаций в количественной форме и конкретизировать величину эффективности всех участников создания инфокоммуникационных проектов и их коммерческого использования.

Следует учесть, что выделение социальной эффективности в отдельную группу связано с необходимостью применения качественных методов ее оценки, поэтому внешний (внеотраслевой, инфраструктурный, экстерналий) социально-экономический эффект должен обязательно включать в себя социальный

эффект развития инфраструктуры инфокоммуникаций. Тем более, что отделить социальную составляющую от производственной для трудовых ресурсов, занятых в экономической деятельности, практически невозможно, особенно в условиях информатизации [12-16].

Особая синергетическая роль инфокоммуникаций в экономике и социуме, в формировании информационного общества, а также конвергентный характер научно-технического прогресса, сетевая специфика производства и потребления инфокоммуникационных услуг определяют необходимость рассмотрения эффективности инфраструктурных проектов в комплексе с разных сторон проявления социальных и экономических эффектов, положительных и отрицательных последствий и разработки соответствующей методики (рис. 4).

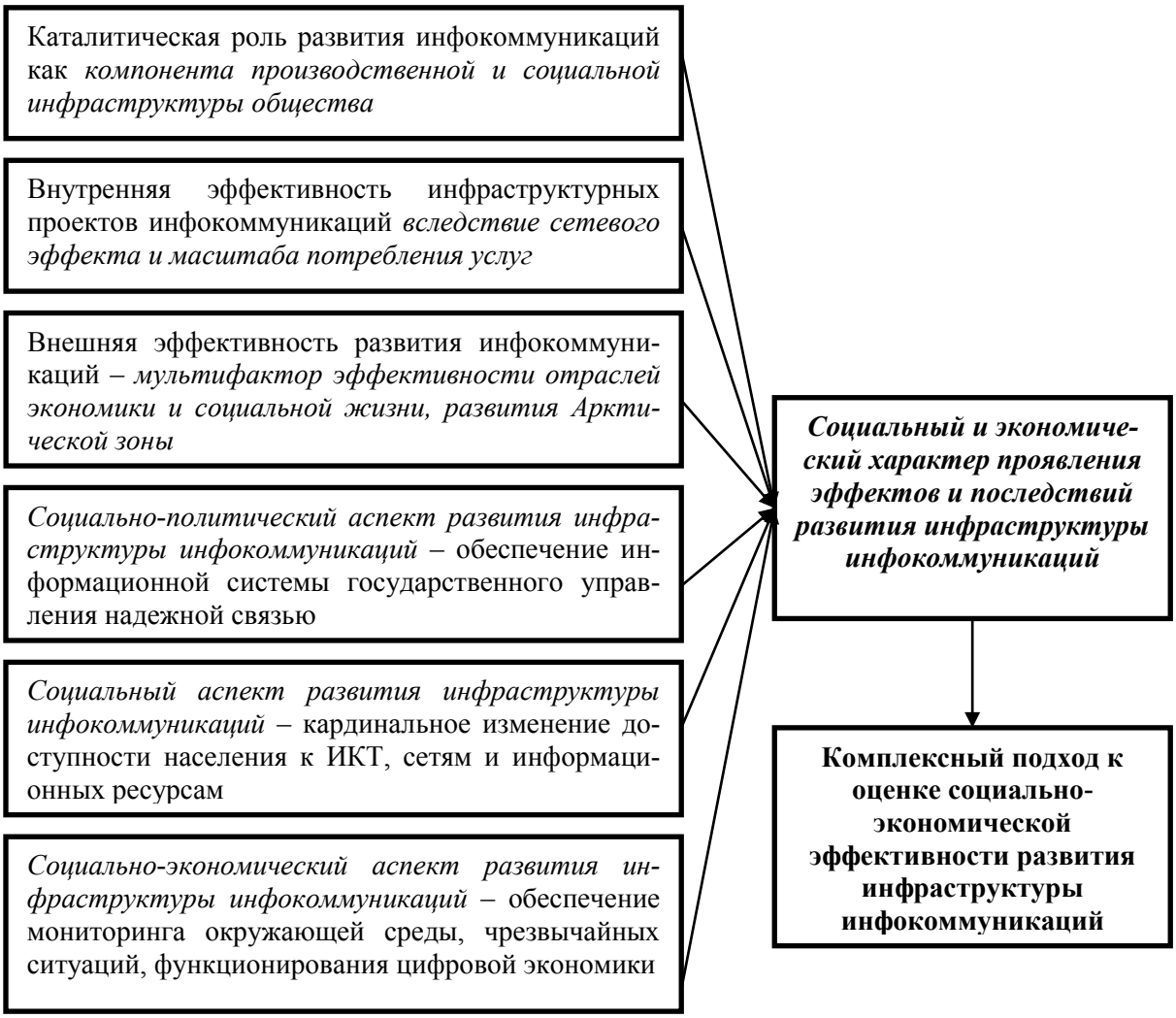

Рис. 4. Специфические факторы и причины необходимости комплексного подхода к оценке социально-экономической эффективности развития инфраструктуры инфокоммуникаций

Важнейшими особенностями развития инфокоммуникационного сектора являются тесная взаимосвязь с макроэкономикой и социумом. Динамика и масштабы развития инфраструктуры инфокоммуникаций, степень доступности сетей и информационных ресурсов демонстрируют экономические эффекты.

Качественная сторона доступности средств связи, ИКТ и информационных ресурсов выражается в росте эффективности государственного и корпоративного управления, повышении производительности и качества труда, увеличении степени заполнения свободного времени ИКУ. Значительный эффект развития инфраструктуры инфокоммуникаций выражается не сколько в экономических результатах, сколько в социальных последствиях экономии времени и интеллектуализации труда.

Анализ достижений экономически развитых стран показывает, что состояние и прогресс экономики страны напрямую зависят от уровня, тенденций и масштабов развития инфокоммуникаций [17]. Дальнейшее технологическое совершенствование производства посредством использования инфокоммуникационных средств и технологий будет обеспечивать длительный положительный вклад в мультифактор роста эффективности производственного сектора (MultiFactor Productivity – MFP), как это происходит в странах с развитым инфокоммуникационным сектором. Наличие такой взаимосвязи предопределяет, во-первых, значительный внешний (внеотраслевой) эффект развития инфокоммуникаций, который превышает фактический вклад отрасли в создание ВВП; во-вторых, необходимость учета при оценке эффективности развития инфокоммуникационной инфраструктуры множественность проявлений экономического и социального эффекта [2, 3, 8, 18, 19].

Действующая система оценки инвестиционных проектов построена на понятии эффективности проекта, который должен соответствовать целям и интересам инвестора. В данном контексте под эффективностью понимают соотношение между результатами, достигаемыми в ходе реализации проекта, и произведенными затратами на его реализацию, а также степень соответствия финансовых результатов уровню требований инвестора [20-23].

Важными задачами оценки эффективности инвестиционного проекта в целом является выявление его общественной эффективности и потенциальной инвестиционной привлекательности для участников проекта с целью их привлечения к реализации проекта и поиска источников его финансирования [22, С. 56-57]. В действующих «Методических рекомендациях по оценке эффективности инвестиционных проектов» нет четких указаний к методике оценки общественной эффективности инвестиционных проектов, а методика сводится к расчету денежных потоков от инвестиционной, операционной и частично-финансовой деятельности с помощью динамических показателей, основанных на дисконтировании денежных средств в течение периода реализации проекта [22, С. 55-56].

Таким образом, методический аппарат оценки эффективности инвестиционных проектов весьма опосредованно отражает процессы развития инфраструктуры инфокоммуникаций в динамике и применения ее возможностей в обществе, основан преимущественно на стоимостных измерителях и не обладает комплексным характером измерения социально-экономической эффективности развития инфокоммуникаций и внедрения инновационных инфраструктурных проектов с учетом влияния множества факторов и характера проявления

синергетического (внутреннего и внешнего) социально-экономического эффекта.

Поскольку инфокоммуникации являются важнейшим компонентом социально-производственной инфраструктуры общества, то задача оценки эффективности инфокоммуникационных инфраструктурных проектов должна отражать различные стороны проявления их эффекта, включающие:

- экономический эффект производства и предоставления инфокоммуникационных услуг (внутренний эффект) государственным структурам, бизнесу и населению, объем которых соответствует платежеспособному спросу;
- социальный эффект воздействия инфокоммуникационных услуг и технологий на качество жизни населения;
- внешний (внеотраслевой, инфраструктурный, экстерналий) эффект производства товаров и услуг и других видов экономической деятельности, проявляющийся в росте их эффективности за счет наличия и развития инфокоммуникаций;
- различный характер проявления эффектов и затрат участников инвестиционного процесса: операторов инфраструктуры (например, базовых станций подвижной связи, приемо-передающих станций телерадиовещания, космического и земного сегмента производства и запуска космических аппаратов) и операторов, предоставляющих услуги конечным потребителям.

У первых имеются прямые затраты (в основном государственные инвестиции), у вторых – прямые доходы от оказания услуг и косвенные затраты на пользование инфраструктурой.

Представленные на рис. 5 аспекты социально-экономической эффективности развития инфраструктуры инфокоммуникаций указывают на ее синергетический мультипликативный (многофакторный) характер и необходимость комплексного измерения ее эффективности [24-25].

Рис. 5. Аспекты социально-экономической эффективности развития инфраструктуры инфокоммуникаций

Комплексная оценка социально-экономической эффективности инфокоммуникационных инфраструктурных проектов включает следующие измерения:

1) внутренняя (отраслевая) экономическая эффективность производства и реализации инфокоммуникационных услуг государственным структурам, бизнесу и населению в соответствии с платежеспособным спросом;
2) внешняя (внеотраслевая) социально-экономическая эффективность обеспечения нормальных процессов экономической и социальной деятельности и каталитического воздействия развития инфокоммуникаций на повышение эффективности экономической деятельности и социума.

Общая величина социально-экономической эффективности инфокоммуникационных инфраструктурных проектов $Э_{Ф.ИП}$ имеет две составляющие: косвенная внешняя (внеотраслевая) социально-экономическая эффективность $Э_{Ф.ВНЕШН.ИП}$ и прямая внутренняя экономическая эффективность производства и реализации инфокоммуникационных услуг $Э_{Ф.ВНУТР.ИП}$:

$$Э_{Ф.ИП} = Э_{Ф.ВНЕШН.ИП} + Э_{Ф.ВНУТР.ИП}. \quad (1)$$

При этом комплексный подход к измерению синергетической социально-экономической эффективности развития инфраструктуры инфокоммуникаций состоит в возможности разделения общей величины эффективности по участникам финансирования инфраструктурных проектов: за операторами оказания услуг можно оставить величину прямой внутренней экономической эффективности производства и реализации услуг в соответствии со спросом – $Э_{Ф.ВНУТР.ИП}$; за государством и государственными предприятиями (в частности, операторами космической связи) – величину косвенной внешней социально-экономической эффективности – $Э_{Ф.ВНЕШН.ИП}$.

Количественная оценка внешнего социально-экономического эффекта развития инфраструктуры инфокоммуникаций дает возможность комплексно решать проблемы социально-экономического и научно-технического развития, скоординировать использование финансовых и материальных ресурсов государственных и частных предприятий, согласовать работу федеральных органов исполнительной власти, операторов и производителей оборудования и спутников связи по консолидации финансовых ресурсов и вовлечению всех участников рынка в процесс достижения поставленной цели.

Сущность экстерналий и возможности их измерения

При реализации инфраструктурных проектов инфокоммуникаций возникают внешние эффекты, называемые экстерналиями. С позиций экономической теории экстерналии – это выгоды и издержки, не учитываемые в действующем рыночном механизме ценообразования и в стандартном механизме рыночного распределения ресурсов. Внешний эффект означает сбой в функционировании рыночной системы хозяйствования, провал рынков, когда рынок оказывается не в состоянии автоматически превратить внешние эффекты в частные издержки и выгоды [26, С. 705].

Под экстерналиями понимают экономические и внеэкономические последствия, возникающие во внешней среде при производстве товаров и услуг, но не отраженные в рыночных ценах последних [26, С. 705-714]. Экстерналии существуют вне рынка, не отражаются в ценах, но затрагивают интересы третьих лиц, не участвующих в рыночной сделке, нанося им ущерб (отрицательный внешний эффект) или принося выгоду (положительный внешний эффект).

По математической модели рыночной экономики одним из условий общего конкурентного рыночного равновесия является выпуклость производственного множества, характеризующего технологический уклад того способа производства, в рамках которого функционирует данное общество. Если существуют внешние эффекты и конкурентный механизм не срабатывает, то формируется график невыпуклого производственного множества, что затрудняет достижение общего экономического равновесия. В соответствии с теоремой Коуза, если транзакционные издержки равны нулю, то вне зависимости от первоначальной спецификации прав собственности их окончательное распределение по закону Парето эффективно. Если условия теоремы Коуза соблюдаются, то можно минимизировать внешние эффекты без вмешательства государства, если условия нарушаются, то необходимо вмешательство государства [12, 27, 27-28].

Предметом широкого исследования являются отрицательные экстерналии, состоящие в оказании негативного воздействия на экономику, окружающую среду, здоровье и жизнедеятельность людей. Отрицательные экстерналии связаны с прямым или опосредованным переносом части затрат с проекта предприятия на бюджет региона или страны, что необоснованно повышает эффективность хозяйствующих объектов с отрицательными экстерналиями. Кроме того, существование отрицательных экстерналий ставит вопрос о реальности цены продукта для общества, неэффективности рыночных принципов в адекватном отражении цены с точки зрения реальных общественных издержек.

Для минимизации отрицательных экстерналий используются два основных способа. Первый состоит в принятии административных мер по отношению к тем, чья деятельность вызывает отрицательные экстерналии, путем государственного контроля с применением административно-командных мер, штрафных санкций, рыночных лицензий на выброс отходов до определенного уровня загрязнения окружающей среды и т. д. Помимо прямого административного вмешательства с целью минимизации отрицательных экстерналии, государство использует и косвенный метод борьбы с отрицательными экстерналиями через налоговую сферу.

В отличие от отрицательных, положительные экстерналии создают выгоду, которую получают не только потребители конкретного блага, но и общество в целом (так называемые «третьи лица»). Поэтому государство поощряет деятельность, порождающую положительные экстерналии. В этих случаях осуществляется субсидирование производителей или потребителей положительных экстерналий. При субсидировании потребителя, последний сможет платить более высокую цену за пользование услугами с положительными экстерналиями, при субсидировании производителя снижаются его издержки. В любом случае положительные экстерналии ведут к увеличению потребления произве-

денных товаров и услуг. Как правило, государство стремится предоставить субсидию тому, у кого большая эластичность спроса по доходам, так как чувствительность спроса на произведенные товары и услуги после субсидии будет выше.

Поскольку основные положения теории экстерналий не выполняются в действующем рыночном механизме ценообразования и распределения ресурсов, то возникает задача теоретического и методического обоснования проявления экстерналий и оценки их воздействия на эффективность деятельности общественно значимых, инфраструктурных и нерыночных объектов, имеющей количественно не измеряемый качественный характер эффективности производства.

В разных отраслях и секторах национальной экономики проявляются разные экстерналии. Так В.В. Лесных в [15] провел исследование сущности положительных и отрицательных экстерналий оборонно-промышленного комплекса (ОПК), их значения для экономического роста РФ и выделил 7 видов внешних эффектов. В работе сделаны основополагающие для экономической теории выводы, что источником ускоренного роста российской экономики могут быть положительные экстерналии от такого нерыночного объекта как отечественный оборонно-промышленный комплекс, а также возможности оценки внешних эффектов с помощью экспертных оценок.

Результаты экспертных оценок внешнего эффекта ОПК показали, что все экстерналии оказывают положительное воздействие на рост национальной экономики в размерах, превышающих 2,5% ВВП. Наибольший внешний эффект или положительные экстерналии наблюдаются в сфере сетевых и информационных услуг – более 4,5% прироста ВВП нашей страны (рис. 6) [15, с. 30].

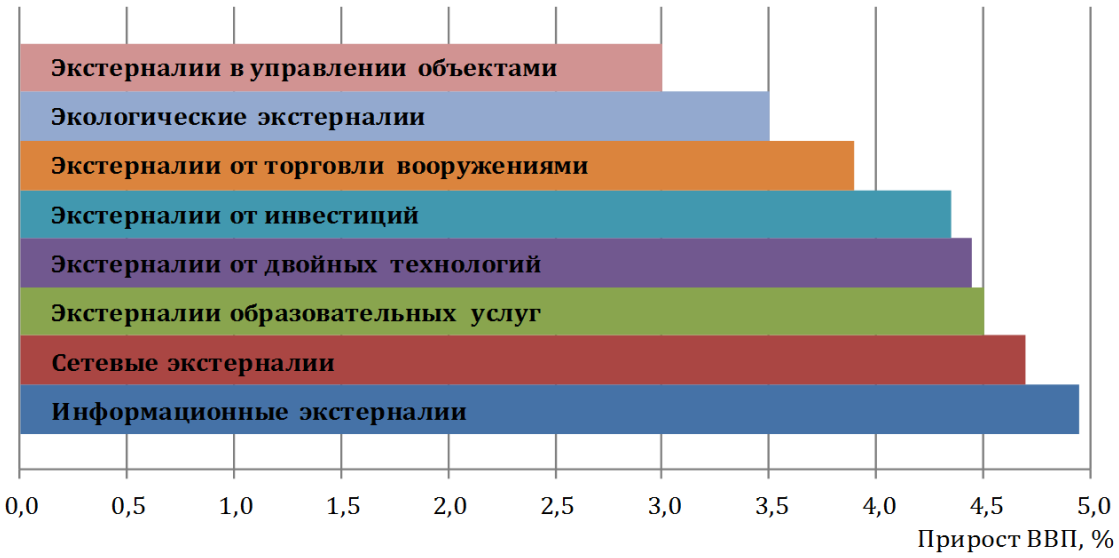

Рис. 6. Экспертная оценка влияния положительных экстерналий ОПК на рост национальной экономики

Известно, что для обеспечения конкурентоспособности национальной экономики необходимо инновационное развитие тех секторов, которые прино-

сят выгоду другим отраслям и населению, т. е. имеют внешний эффект. Связь, ИКТ, сеть Интернет обеспечивают информационную основу коммуникаций и жизнедеятельности и, обладая сетевым эффектом масштабов производства и потребления инфокоммуникационных услуг, создают, в основном, положительные экстерналии. С другой стороны, особенность инфраструктурных проектов в сфере инфокоммуникаций состоит в участии государства в их реализации путем выделения бюджетных средств при общей их ограниченности. Это, по сути, представляет собой отрицательный эффект экстерналий, так как эти средства можно было выделить на другие, может быть более значимые нужды.

Для успешного инвестирования социально значимых инфокоммуникационных инфраструктурных проектов возникает задача применения методов, позволяющих оценить эффективность расходования ограниченных бюджетных средств с точки зрения их выгод, результативности и полезности для общества, т. е. оценить внешний эффект (экстерналии) инфокоммуникационных инфраструктурных проектов, одним из источников инвестирования ее развития которой являются бюджетные средства.

Параметры экстерналий развития инфраструктуры инфокоммуникаций

Как показывают исследования специфики экономики отрасли инфокоммуникаций и ее хозяйствующих субъектов [8, 19, 25, 29] характер влияния развития инфраструктуры инфокоммуникаций на экономику и социум нашей страны различается для национальной, региональной экономики и населения. Такой аспект влияния развития инфраструктуры инфокоммуникаций вызван различным проявлением внешних социальных и экономических эффектов для экономической деятельности (производство товаров и услуг), населения, а также Арктического региона, включая экономическую и социальную жизнедеятельность. Поэтому для этих крупных кластеров исследования необходимо устанавливать разные параметры портфеля внешней социально-экономической эффективности.

Совокупность основных параметров внешней социально-экономической эффективности инфраструктурных проектов инфокоммуникаций для сферы экономической деятельности и населения представлены на рис. 7-8.

Таким образом, синергетический внешний эффект влияния развития инфраструктуры инфокоммуникаций на экономику и социум проявляется не только по видам и характеру экономической деятельности, жизнедеятельности населения, но и в территориальном аспекте, что указывает на значительный перечень экстерналий – внешних эффектов инфраструктурных проектов, приведенных на рис. 9.

Предлагаемая авторами система социально-экономических положительных и отрицательных экстерналий развития инфраструктуры инфокоммуникаций представлена в таблице 1.

Рис. 7. Основные параметры внешней социально-экономической эффективности развития инфраструктуры инфокоммуникаций для сферы экономической деятельности

Рис. 8. Основные параметры внешней социально-экономической эффективности развития инфраструктуры инфокоммуникаций для населения

Развитие ИКТ имеет преимущественно положительные экстерналии вследствие инфраструктурного эффекта за счет обеспечения доступности сетей и информационных ресурсов, увеличения технологических возможностей хозяйствующих и социально-значимых объектов за счет предоставления мультисервисных услуг, высокой скорости передачи больших объемов разнообразной информации и облачных технологий их обработки [1, 5, 8, 18, 19, 29, 30].

Рис. 9. Виды экстерналий развития инфраструктуры инфокоммуникаций

Отрицательные экстерналии формируются вследствие недостатка финансовых средств для более активного и глубокого применения ИКТ, устранения неравенства социально-экономического развития и материального благосостояния по отдельным регионам и категориям людей, а также вследствие несовершенства распределения доходов и расходов между участниками конвергентного рынка.

Для измерения экстерналий развития инфраструктуры инфокоммуникаций был использован метод экспертных оценок, в частности метод Дельфи, в достаточной степени математически формализованный и позволяющий на основе нескольких туров получить достаточно достоверное мнение экспертов об изучаемых экономических и социальных процессах и явлениях.

Таблица 1 – Характеристика положительных и отрицательных экстерналий развития инфраструктуры инфокоммуникаций

Виды экстерналий	Положительные экстерналии	Отрицательные экстерналии	Объекты воздействия
Общественно-значимые экстерналии	Прирост ВВП за счет повышения оперативности взаимодействия разных уровней управления и достоверности системы принятия решений по государственному управлению национальной безопасности, обороноспособности, природоохранной и экологической деятельности		Общественно значимые объекты государственного управления (спецпотребители услуг спутниковой связи)
Экономические экстерналии	Прирост ВВП, общей производительности труда, экономии рабочего времени и материальных затрат, интеллектуализации труда и электронизации производства и реализации товаров и услуг		Объекты экономической деятельности: производство товаров и услуг

Продолжение таблицы 1

Социальные экстерналии	Прирост ВВП за счет повышения интеллектуальности труда, уровня образования, включая инфокоммуникационное, и культуры, сохранение здоровья нынешнего и последующих поколений, рост качества и удовлетворенности жизни населения	Сохранение неравенства социально-экономического развития и материального благосостояния по регионам и категориям людей	Социальные объекты жизнедеятельности: образование, наука, здравоохранение, культура
Пространственные экстерналии	Прирост ВВП, ВРП, общей и региональной производительности труда, международного товарооборота вследствие кооперации и создания новых производств и объектов жизнедеятельности, включая транспортную инфраструктуру, трубопроводные коммуникации, рост международных отношений, благосостояния и качества жизни человека	Влияние развития международной и межрегиональной конкуренции на социально-экономические результаты производства в конкретном регионе	Региональное производство товаров и услуг, включая Арктическую зоны и, отдаленные и труднодоступные регионы, население регионов РФ
Мониторинговые экстерналии	Прирост ВВП за счет экономии государственных денежных средств по сохранению экологии и природы стран, объектов жизнедеятельности и жилого фонда населения вследствие мониторинга окружающей среды и чрезвычайных ситуаций		Национальное достояние, природные ресурсы и жизнедеятельность населения РФ
Сетевые экстерналии	Прирост ВВП за счет повышения внутренней эффективности операторов сетей связи за счет роста масштабов производства услуг и увеличения объемов передаваемой информации		Предприятия и операторы связи, сеть Интернет, сети партнеров и участников рынка инфокоммуникаций
Конвергентные экстерналии	Прирост ВВП и производительности общественного труда, экономии рабочего и свободного времени в результате конвергенции инфокоммуникаций и различных видов деятельности, перехода на инфокоммуникационное (Интернет) и мобильное обслуживание	Несовершенство распределения доходов и издержек между участниками конвергентного производства	Хозяйствующие субъекты сферы транспортного и культурного обслуживания, финансового и фондового рынков, банки
Информационные экстерналии	Прирост объемов и потенциала производства товаров и услуг, эффективности системы управления государством и объектами хозяйствования вследствие каталитического эффекта НТП инфокоммуникаций. Инфраструктурный фактор формирования информационного общества и жизнедеятельности, развития человеческого капитала	Недостаток финансовых средств для более активного и глубокого применения ИКТ	Национальная экономика

Одним из наименее трудоемких методов оценки внешних эффектов (экстерналий) деятельности общественно значимых, инфраструктурных и нерыночных объектов являются экспертные технологии, позволяющие на основе количественной оценки параметров изучаемого явления в баллах получить количественное выражение качественных результатов (качества, эффективности, результативности, полезности и т. д.) [31-34].

Методика оценки внешней эффективности развития инфраструктуры инфокоммуникаций на основе экстерналий

Методика оценки внешней социально-экономической эффективности развития инфраструктуры инфокоммуникаций на основе экстерналий состоит в получении экспертами количественного выражения в баллах изменения (прироста, снижения) ВВП вследствие развития инфраструктуры инфокоммуникаций по совокупности экстерналий.

Развитие инфраструктуры инфокоммуникаций имеет преимущественно положительный внешний эффект, называемый положительными экстерналиями. Положительные экстерналии создаются вследствие инфраструктурного характера развития инфокоммуникаций и прямого проявления эффекта экстерналий в приросте ВВП за счет обеспечения полной доступности сетей связи и информационных ресурсов, увеличения технологических возможностей объектов экономической и социальной деятельности на основе мультисервисных услуг, высокой скорости передачи больших объемов информации, применения ИКТ на всех этапах цепочки создания добавленной стоимости.

Все положительные экстерналии развития инфраструктуры инфокоммуникаций имеют конечное выражение внешнего социально-экономического эффекта в показателе прироста ВВП страны. Отрицательные экстерналии проявляются через эффект, отражающий снижение вклада положительных экстерналий в прирост ВВП страны из-за недостатка финансовых средств для более эффективного развития инфокоммуникаций, регионального неравенства социально-экономического развития и материального благосостояния людей, несовершенства распределения доходов и расходов между участниками конвергентного рынка инфокоммуникационных услуг и технологий, усиления международной конкуренции.

Прирост ВВП вследствие развития инфраструктуры инфокоммуникаций происходит за счет: прямого увеличения доходов объектов экономической деятельности по производству товаров и услуг; регионального производства товаров и услуг домохозяйств, а также косвенного влияния на повышение эффективности общественно-значимых объектов государственного управления и социальных объектов жизнедеятельности, объектов природопользования на рост ВВП.

Экономическая сущность метода экстерналий состоит в получении количественной оценки синергетического вклада развития инфраструктуры инфокоммуникаций или реализации инфраструктурного проекта в общий прирост ВВП страны посредством экспертной оценки влияния совокупности экстерналий на прирост (снижение) ВВП. Размер общей внешней социально-экономической эффективности развития инфраструктуры инфокоммуникаций определяется разницей прироста ВВП страны за счет воздействия положительных и его снижения за счет влияния отрицательных экстерналий по формуле:

$$\Delta I_{ВВП} = \Delta I_{ВВП.ПОЛ} - \Delta I_{ВВП.ОТР}, \quad (2)$$

где $\Delta I_{ВВП.ПОЛ}$ – прирост ВВП за счет развития инфраструктуры инфокоммуникаций, характеризующий влияние положительных экстерналий; $\Delta I_{ВВП.ОТР}$ –

снижение ВВП за счет развития инфраструктуры инфокоммуникаций, характеризующее влияние отрицательных экстерналий.

Оценки значимости параметров внешнего эффекта развития инфраструктуры инфокоммуникаций по видам положительных и отрицательных экстерналий дают основание для проведения расчетов конечного выражения внешнего социально-экономического эффекта в показателе изменения ВВП страны.

Если отнести стоимостное выражение прироста ВВП за период к объему инвестиций в инфокоммуникационный инфраструктурный проект, то можно определить размер вклада развития инфокоммуникаций в форме прироста ВВП на 1 руб. инвестиций и, таким образом, учесть внешний эффект при измерении эффективности инновационных проектов в сфере инфокоммуникаций.

Размер вклада развития инфраструктуры инфокоммуникаций в ВВП на 1 руб. инвестиций $\Delta ВВП_{ИНВ.ИК}$ определяется как

$$\Delta ВВП_{ИНВ.ИК} = \Delta ВВП \cdot \Delta I_{ВВП} / И_{ИК} , \quad (3)$$

где $\Delta ВВП_{ИНВ.ИК}$ – прирост валового внутреннего продукта за период реализации инфокоммуникационного инфраструктурного проекта, млрд руб.; $\Delta I_{ВВП}$ – темп прироста ВВП страны за счет воздействия положительных и отрицательных экстерналий; $И_{ИК}$ – инвестиции в инфокоммуникационный инфраструктурный проект, млрд руб.

Последовательность этапов экспертного оценивания социально-экономической эффективности развития инфраструктуры инфокоммуникаций на основе экстерналий представлен на рис. 10.

Экспертная оценка внешнего эффекта посредством экстерналий имеет комплексный характер измерения синергетического эффекта по совокупности положительных и отрицательных экстерналий с учетом их значимости в получаемом эффекте национальной экономики вследствие применения более эффективных инфраструктурных проектов. Поэтому экспертам необходимо количественно выразить не только параметры внешнего эффекта инфраструктурных проектов посредством оценивания в баллах интервалов изменения (прироста, снижения) ВВП, но и установить значимость каждого вида экстерналий в совокупности положительных и отрицательных экстерналий.

Последовательность этапов экспертной оценки экстерналий эффективности развития инфокоммуникаций включает анализ информации о характере экстерналий (положительных, отрицательных), оценку значимости параметров положительных и отрицательных экстерналий и внешней социально-экономической эффективности развития инфраструктуры инфокоммуникаций по величине прироста (положительные экстерналии) и снижения ВВП (отрицательные экстерналии), обработку и анализ результатов экспертного оценивания. Анкета опроса заполняется экспертом с учетом положительных и отрицательных эффектов социально-экономической эффекта развития инфраструктуры инфокоммуникаций.

Рис. 10. Последовательность этапов экспертного оценивания внешней социально-экономической эффективности развития инфраструктуры инфокоммуникаций на основе метода экстерналий

Сущность и факторы проявления внеотраслевой эффективности развития инфокоммуникаций

Основным предназначением инфокоммуникаций, как и связи, является преодоление пространства и сокращение времени, поэтому для развития инфокоммуникационной инфраструктуры и ее компонентов присущи проявления внешней социально-экономической эффективности. В этом и проявляется основная концепция социально-экономической эффективности и доминирующая форма эффекта применения и развития инфраструктуры инфокоммуникаций – экономия времени и затрат на преодоление пространственной разнесенности объектов как в производстве, так и жизнедеятельности людей [2, 5, 18, 19, 35].

Внеотраслевой или инфраструктурный эффект развития отрасли инфокоммуникаций в целом и ее компонентов показывает, какую выгоду получают потребители в производственной и социальной деятельности, а также общество в целом от применения ИКТ, доступа к информационным ресурсам и улучшения обслуживания пользователей ИКУ.

Поскольку инфокоммуникации являются фактором сокращения времени, то основной эффект, получаемый потребителями от применения и развития инфокоммуникаций и поддающийся количественной оценке, проявляется в экономии рабочего времени специалистов, занятых в производстве товаров и услуг и увеличении фонда свободного времени населения. В современных условиях роль факторов времени и пространства еще более возрастает в связи с возможностью дистанционного использования информационных ресурсов, расположенных в международной сети Интернет, виртуального осуществления бизнеса и деятельности в сфере услуг, мобильного осуществления финансово-банковских, торговых операций и других сервисных услуг.

В условиях практического отсутствия у некоторой части населения отдаленных и труднодоступных регионов, включая Арктическую зону нашей страны, доступа к сетям связи эффект развития инфокоммуникационной инфраструктуры может иметь еще большую эффективность [9-11, 36]. Развитие инфраструктуры инфокоммуникаций, повышение степени широкополосного доступа к средствам связи и информационным ресурсам за счет цифровых систем, более прогрессивных видов и технологий связи, задействования новых технологий спутниковой связи создают у потребителей «внеотраслевой инфраструктурный социально-экономический эффект». Этот эффект проявляется вне отрасли связи в виде воздействия на условия труда, жизнедеятельности, систему государственного управления и эффективность производства товаров и услуг.

Внеотраслевой социально-экономический эффект развития инфраструктуры инфокоммуникаций проявляется в том, что пользование услугами связи и применение ИКТ обеспечивает совершенствование системы управления организацией, повышение ее оперативности, маневренности и гибкости, ускорение проведения торговых, финансовых и других операций, и через систему управления воздействует на сферу производства товаров и услуг, ускоряя экономический оборот, обеспечивая уменьшение производственных потерь, рост объема выпускаемой продукции, производительности труда занятых в производстве и экономию издержек производства.

Кроме того, конвергенция связи и информатики дают возможность перехода к цифровой экономике на основе электронного формата функционирования системы управления как производства товаров и услуг, так и государственного, муниципального и местного управления, что ведет к использованию виртуальных способов организации производства и, соответственно, существенному снижению издержек, и увеличению числа производителей электронных услуг, включая подключение к электронному бизнесу домохозяйств, что сопровождается ростом доходов, ВДС и ВВП РФ.

Это дает основание использовать основные положения методических рекомендаций по определению народнохозяйственной эффективности развития

электрической связи, обслуживающей общественное производство и население, разработанных Минсвязи СССР в 1987–1988 гг., для оценки внеотраслевого эффекта развития отрасли инфокоммуникаций с учетом произошедших изменений в понятийном аппарате отраслевой и национальной экономики, характера предпочтений пользователей [5, 8, 18, 19, 31, 37-39].

Для оценки внеотраслевой эффективности общественно значимых инфраструктурных проектов важно определить в количественном или качественном выражении содержание эффекта для национальной экономики. При этом следует учитывать, что проявления внеотраслевого (инфраструктурного) эффекта развития инфокоммуникаций различаются по видам деятельности, социальным группам и месту проживания населения.

Основные факторы внеотраслевой социально-экономической эффективности развития инфраструктуры инфокоммуникаций представлены на рис. 11. Данные аспекты эффективности создают у потребителей преимущественно социальный эффект, проявляющийся в улучшении условий жизни людей, повышении ее комфортности, росте информированности и коммуникабельности общества, увеличении интенсивности общения, уменьшении нерациональных поездок и транспортной усталости, увеличении свободного времени и здоровья населения вследствие дистанционных услуг в сфере образования, медицины, навигации. Кроме того, пользование инфокоммуникационными услугами создает чувство психологического соседства, а возможность своевременной связи с экстренными, заказными и справочными службами повышает чувство стабильности и безопасности жизни.

Рис. 11. Факторы внеотраслевой эффективности развития инфраструктуры инфокоммуникаций

Развитие инфраструктуры инфокоммуникаций за счет новых технологий и обеспечения более полного доступа пользователей к информационным ресурсам и международной сети Интернет способствуют повышению культурного,

образовательного и профессионального уровня населения, всестороннему развитию личности, что косвенно влияет на результаты производства, обеспечивая, в конечном итоге, рост производительности общественного труда и ВВП страны, т. е. создает экономический эффект.

С одной стороны, экономия времени служит индикатором преимущественно социального эффекта, так как положительно влияет в производстве на улучшение условий труда, степень его автоматизации и интеллектуальности, снижение утомляемости, сохранение здоровья и работоспособности, повышение творческого характера труда; в социальной жизни – на экономию времени на транспортные поездки до работы и хозяйственные поездки за счет доставки и получения заказанных товаров и услуг на дому, использование освободившегося времени на образование, культурное развитие и отдых, воспитание детей, то есть получение пространственной и временной выгоды. С другой стороны, экономия времени выражается также в экономическом эффекте, создавая возможности для экономии штата и затрат, роста производительности труда, создании дополнительных объемов товаров и новых услуг.

Поскольку деятельность сферы услуг, в которую входят инфокоммуникации, оказывает непосредственное влияние на результаты деятельности производства товаров, обеспечивая оперативное управление производственными процессами, совершенствование трудовых ресурсов, внедрение достижений научно-технического прогресса и др., то эффект развития инфокоммуникационной инфраструктуры проявляется как в рамках своей деятельности, так и за ее пределами, обеспечивая общее повышение эффективности функционирования производства товаров. Так дистанционное диагностирование снижает число летальных исходов, улучшает диагностику заболеваний и качество лечения больных, что способствует увеличению здоровья работников, рабочего времени и росту производительности труда.

Методика оценки внеотраслевой эффективности развития инфраструктуры инфокоммуникаций

Предлагаемая система показателей внеотраслевой социально-экономической эффективности развития инфраструктуры инфокоммуникаций и методика их расчета разработана на основе методического подхода к оценке народно-хозяйственной эффективности развития электросвязи с учетом тенденций развития инфокоммуникаций.

Для установления норматива экономии рабочего времени работников (экономии свободного времени населения), полученной в результате развития инфраструктуры инфокоммуникаций, относительно годовой нормы рабочего времени средние размеры экономии рабочего времени работников (экономии свободного времени населения) в минутах переводятся в часы в годовом исчислении:

$$Э_{РВ.ГОД} = (Э_{РВ}/60)\cdot N_{ДН};\ H\Delta t = Э_{РВ.ГОД}/Ф_{РВ.ГОД}, \quad (4)$$

где $Э_{РВ.ГОД}$ – экономия рабочего времени работников (экономии свободного времени населения) в результате развития инфраструктуры инфокоммуникаций в течение года, час.; $Э_{РВ}$ – экономия рабочего времени работников (экономия

свободного времени населения) в результате развития инфраструктуры инфокоммуникаций в течение рабочего дня, мин. (определяется в результате экспертно-социологического обследования); $H\Delta t$ – норматив экономии рабочего времени работников (экономии свободного времени населения) в результате развития инфраструктуры инфокоммуникаций в год на 1 чел., отн. ед.; $N_{ДН}$ – количество рабочих дней в году (247 дней); $Ф_{РВ.ГОД}$ – годовая норма рабочего времени (1973 ч).

Годовая экономия численности работников, полученная вследствие экономии времени в результате развития инфраструктуры инфокоммуникаций в натуральном выражении (чел.) по видам экономической деятельности определяется исходя из установленного норматива экономии рабочего времени в год на 1 человека и прогнозируемой численности работников по формуле:

$$\Delta T = H\Delta t \cdot N_{РАБ}, \quad (5)$$

где ΔT – годовая экономия численности работников, полученная вследствие экономии времени в результате развития инфраструктуры инфокоммуникаций в натуральном выражении, чел.; $H\Delta t$ – норматив экономии рабочего времени работников, полученной в результате развития инфраструктуры инфокоммуникаций, отн. ед.; $N_{РАБ}$ – численность работников в прогнозируемом году, тыс. чел.

Прирост производительности труда в сфере экономической деятельности за счет экономии рабочего времени вследствие развития инфраструктуры инфокоммуникаций $\Delta I_{ТР}$ определяется исходя из полученной годовой экономии численности работников, полученной в результате развития инфраструктуры инфокоммуникаций, и численности работников в прогнозируемом году:

$$\Delta I_{ТР} = \Delta T / N_{НГ,}. \quad (6)$$

Годовая экономия затрат на оплату трудовых ресурсов определяется исходя из годовой экономии численности работников в натуральном выражении и прогнозируемой среднемесячной заработной платы работников по формуле:

$$\Delta ЗТ = \Delta T \cdot З_{СР.МЕС} \cdot 12/1000, \quad (7)$$

где $\Delta ЗТ$ – годовая экономия затрат на оплату трудовых ресурсов, млн руб., $З_{СР.МЕС}$ – среднемесячная заработная плата работников в прогнозируемом году, тыс. руб.

Используя размер годовой экономии затрат на оплату трудовых ресурсов, можно определить прирост ВДС и прирост ВВП по основным видам экономической деятельности, полученные вследствие экономии рабочего времени (экономии свободного времени населения) в результате развития инфраструктуры инфокоммуникаций:

$$\Delta ВДС = \Delta ЗТ / ВДС; \ \Delta ВВП = \Delta ЗТ / ВВП, \quad (8)$$

где $\Delta ВДС$ – прирост валовой добавленной стоимости, %; $\Delta ВВП$ – прирост валового внутреннего продукта, %; $ВДС$ – величина валовой добавленной стоимости, млрд. руб.; $ВВП$ – величина валового внутреннего продукта, млрд. руб.

Нормативы экономии трудовых затрат за счет развития инфраструктуры инфокоммуникаций на 1 руб. затрат пользователей на ИКУ (услуги связи) устанавливаются отношением годовых размеров экономии затрат на оплату

трудовых ресурсов к затратам организаций на инфокоммуникационные услуги (доходам от инфокоммуникационных услуг):

$$Н_{\Delta ЗТ.ИКУ} = \Delta ЗТ / Д_{ИКУ}, \quad (9)$$

где $Н_{\Delta ЗТ.ИКУ}$ – норматив экономии трудовых затрат за счет развития инфраструктуры инфокоммуникаций на 1 руб. затрат пользователей на ИКУ, руб./1 руб.; $Д_{ИКУ}$ – доходы от инфокоммуникационных услуг (годовые затраты организаций на инфокоммуникационные услуги), млн руб.

Нормативы экономии трудовых затрат за счет развития инфраструктуры инфокоммуникаций на 1 руб. инвестиций устанавливаются отношением экономии затрат на оплату трудовых ресурсов к инвестициям на реализацию инфраструктурного проекта:

$$Н_{\Delta ЗТ.ИК} = \Delta ЗТ / И_{ИК}, \quad (10)$$

где $Н_{\Delta ЗТ.ИК}$ – норматив экономии трудовых затрат за счет развития инфраструктуры инфокоммуникаций на 1 руб. инвестиций, руб./ 1 руб.; $И_{ИК}$ – объем инвестиций в развитие инфраструктуры инфокоммуникаций за инвестиционный период.

В целом по стране можно определить норматив прироста ВВП за счет экономии рабочего времени вследствие развития инфраструктуры инфокоммуникаций на 1 руб. инвестиций в ее развитие определяется отношением экономии затрат на оплату трудовых ресурсов за период инвестирования к объему инвестиций в развитие инфраструктуры инфокоммуникаций:

$$Н_{ВВП.ИНВ.ИК} = \Delta ВВП / И_{ИК}, \quad (11)$$

где $Н_{ВВП.ИНВ.ИК}$ – норматив прироста ВВП за счет экономии трудовых затрат (экономии рабочего и свободного времени) вследствие развития инфраструктуры инфокоммуникаций.

Полученные по результатам социально-экспертного обследования внеотраслевой эффективности развития инфокоммуникаций величины экономии времени работников (экономии свободного времени населения), условной экономии штата, экономии трудовых затрат на производство, прироста объема производства, ВДС и ВВП на 1 руб. затрат на ИКУ могут использоваться в качестве нормативов на перспективный период реализации инфокоммуникационных инфраструктурных проектов.

Установленные нормативы экономии рабочего времени работников (экономии свободного времени населения), условной экономии штата, экономии трудовых затрат на производство, прироста объема производства, ВДС и ВВП на рубль затрат на ИКУ отражают в условиях достоверности экспертизы прогрессивные критерии эффективности развития инфокоммуникационной инфраструктуры и могут использоваться в качестве научно обоснованных нормативов в различных сферах экономической и социальной деятельности для измерения внеотраслевого социально-экономического эффекта развития инфраструктуры инфокоммуникаций.

Поскольку в условиях функционирования рыночной экономики при дефиците государственных средств проведение масштабных исследований социально-экономической эффективности развития инфокоммуникационной инфра-

структуры представляет определенные трудности, то для определения ее внеотраслевой социально-экономической эффективности следует применять наименее затратные, но дающие достаточно достоверные результаты, к которым относятся методы квалиметрии и экспертных оценок, в частности метод Дельфи [29-34, 40-43].

Оценка качества экспертно-социологического обследования внешней эффективности развития инфраструктуры инфокоммуникаций

Среди методов экспертных оценок большое значение имеет метод Дельфи, математически формализованный и позволяющий на основе нескольких туров получить достаточно достоверное мнение экспертов об изучаемых экономических и социальных процессах и явлениях. Этот метод показал практическую ценность при обосновании выбора наиболее эффективных инноваций сфере инфокоммуникаций и его целесообразно использовать при оценке внешнего эффекта развития инфраструктуры инфокоммуникаций [29-34, 40-43].

Метод Дельфи может применяться для обоснования размера экстерналий и величины показателей внеотраслевой социально-экономической эффективности развития инфраструктуры инфокоммуникаций с помощью формирования компетентной группы экспертов, специально разработанных анкет и балльного метода оценок экспертами анализируемых параметров.

С целью проведения экспертных исследований был разработан портфель анкет экспертного опроса специалистов по измерению экстерналий и внеотраслевой социально-экономической эффективности развития инфраструктуры инфокоммуникаций по совокупности параметров с разными шкалами и единицами измерения. Поскольку каждый из подходов имеет свою специфику по составу параметров и аппарату измерения эффективности, то анкеты различаются по шкалам балльной оценки и интервалам шкал. При этом состав экспертов целесообразно иметь одинаковым для частных методик оценивания эффективности развития инфраструктуры инфокоммуникаций.

Формирование экспертной группы, в состав которой должны входить высококвалифицированные специалисты, способные системно оценивать результаты научно-технического прогресса и прогнозировать будущее развитие инфокоммуникационных технологий, систем, оборудования и услуг, является наиболее ответственным этапом экспертно-социологического обследования эффективности развития инфраструктуры инфокоммуникаций, от результатов которого зависят результаты оценки эффективности конкретной области исследования и полученные выводы.

Для формирования группы экспертов по социально-экономической эффективности развития инфраструктуры инфокоммуникаций, имеющей внешний мультипликативный характер, использовались принципы компетентности (высокого профессионализма), перспективности и системности мышления, знаний перспектив и последствий внедрения инфраструктурных проектов. При этом эксперт должен не только обладать профессиональными знаниями и опытом в пределах своей компетенции, аналитическими способностями по оценке теку-

щего и перспективного состояния объекта исследования, но и нести ответственность за сделанные им заключения и рекомендации [33, с. 31].

Измерение внешней социально-экономической эффективности развития инфраструктуры инфокоммуникаций с помощью экспертных оценок производится по двум частным методикам, что предполагает формирование портфеля анкет.

Первая часть анкет экспертного опроса позволяет получить количественное выражение конечного результата внешней социально-экономической эффективности развития инфраструктуры инфокоммуникаций по совокупности положительных и отрицательных экстерналий путем выставления уровней прироста (снижения) ВВП) по интервальной шкале.

Вторая часть анкет предусматривает оценку экономии рабочего времени работников в пяти кластерах экономической деятельности и экономии свободного времени населения в результате пользовании перспективными инфокоммуникационными услугами по сравнению с достигнутым уровнем потребления услуг или с действующим портфелем и качеством услуг. При этом оценка экономии рабочего и свободного времени производилась по состоянию инфраструктуры инфокоммуникаций в текущем периоде и на перспективу.

Предложенный разработчиками портфель анкет обладает важными достоинствами по возможности замены первоначально определенных показателей и включению новых. Данная процедура производится с помощью механизма оценки целесообразности экстерналий или частных показателей.

При проведении экспертного опроса внешней социально-экономической эффективности развития инфраструктуры инфокоммуникаций на основе экспертами стояли три задачи:

1) оценить свою компетентность по степени информированности и аргументации своего мнения;
2) изложить свое мнение о целесообразности включения определенных видов экстерналий в общую совокупность положительных (отрицательных) экстерналий или частных показателей внеотраслевого эффекта по кластерам исследования в общую модель оценки внешней социально-экономической эффективности развития инфраструктуры инфокоммуникаций и их значимости (весе) (в %);
3) произвести непосредственно оценку внешней социально-экономической эффективности развития инфраструктуры инфокоммуникаций во взаимосвязи с формированием информационного общества.

Оценка качества экспертов осуществляется на основе коэффициента компетентности. Для формирования экспертной группы проводится самооценка экспертов по пятибалльной шкале на основе единой для частных методик анкеты. Совокупная самооценка компетентности эксперта $K_{комп}$ определяется с учетом оцениваемых областей знания по формуле:

$$K_{комп} = \frac{1}{2 \cdot n} \sum_{i=1}^{n} (K_{инф} + K_{арг}), \quad (12)$$

где $K_{инф}$ – коэффициент информированности по проблеме, отражающий источники информированности и знаний; $K_{арг}$ – коэффициент аргументации, отражающий теоретические знания и производственный опыт; n – число оцениваемых областей знания.

Экспертам предлагалось оценить себя по двум параметрам:

1) информированности по проблеме
2) степени аргументации на основе знаний в следующих профессиональных областях:
   - цифровая экономика и информационное общество, стратегия их формирования;
   - инфокоммуникации и направления их развития;
   - услуги и технологии связи;
   - взаимосвязь развития инфраструктуры инфокоммуникаций и формирования информационного общества;
   - стратегия мирового развития инфокоммуникаций, информационного общества;
   - экономические и социальные последствия электронизации производственных процессов и социальной жизнедеятельности;
   - прогнозирование форм, принципов и способов осуществления социально-экономических отношений в цифровом пространстве, бизнес-процессов цифровой экономики, функционирования электронного правительства, телемедицины, дистанционного обучения, мониторинга окружающей среды, роботизации производства и домохозяйств.

В перечисленных областях профессиональной деятельности эксперты должны были оценить свою информированность и степень аргументации по пятибалльной шкале. Информированность по проблеме оценивалась на основе знакомства с источниками информации следующим образом: 1 балл – источников информации не имею, 2 балла – источники информации – это статьи в научно-технических журналах, Интернет, 3 балла – к статьям добавляются книги, 4 балла – к статьям и книгам добавляются стандарты и спецификации, 5 баллов – дополнительно учитываются отчеты и материалы об инновационных проектах.

Оценка степени аргументации производилась в баллах в направлении увеличения знаний и опыта. Если 1 балл дается при отсутствии опыта и знаний, 2 балла – при несистематизированных теоретических знаниях и производственном опыте, то 3 балла – при систематизированных теоретических знаниях и производственном опыте, 4 балла – при глубоких теоретических знаниях отечественных и иностранных научно-технических достижений без опыта работы; 5 баллов – при глубоких теоретических и практических знаниях эксперта.

По результатам самооценки компетентности экспертов по оцениваемым областям знаний из экспертизы исключаются специалисты с уровнем компетентности ниже 3 баллов (причина – недостаточность источников информации и несистематизированные теоретические знания и производственный опыт).

Сводные результаты самооценки компетентности экспертов приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Сводная группировка экспертов по оценочным баллам

Интервалы оценок в баллах	от 3,0 до 3,99	от 4,0 до 4,29	от 4,30 до 4,69	от 4,70 до 5,0	Всего
Количество экспертов, чел.	1	6	8	3	18
Средняя оценка по совокупности, балл	3,95	4,075	4,49	4,8	4,37

В списке экспертов отсутствуют специалисты с низким уровнем компетентности, что свидетельствует о достаточно высокой компетентности экспертов и высоком качестве экспертизы. В целом по совокупности экспертов средний балл качества составляет 4,37 балла, 11 экспертов показали очень высокую компетентность, превысив средний балл. Только 1 эксперт оценил свое качество ниже 4 баллов по причине затруднений в информированности по услугам и технологиям спутниковой связи, а также в вопросах предвидения форм, принципов и способов осуществления социально-экономических отношений в цифровом пространстве, бизнес-процессов цифровой экономики, функционирования электронного правительства, телемедицины, дистанционного обучения, мониторинга окружающей среды, роботизации производства и домохозяйств.

Характер распределения компетентности экспертов по величине оценочных баллов, представленный на рис. 12, демонстрирует близость к нормальному распределения с преобладанием большинства оценок со средней шкалой: от 4 до 4,5 баллов (14 экспертов).

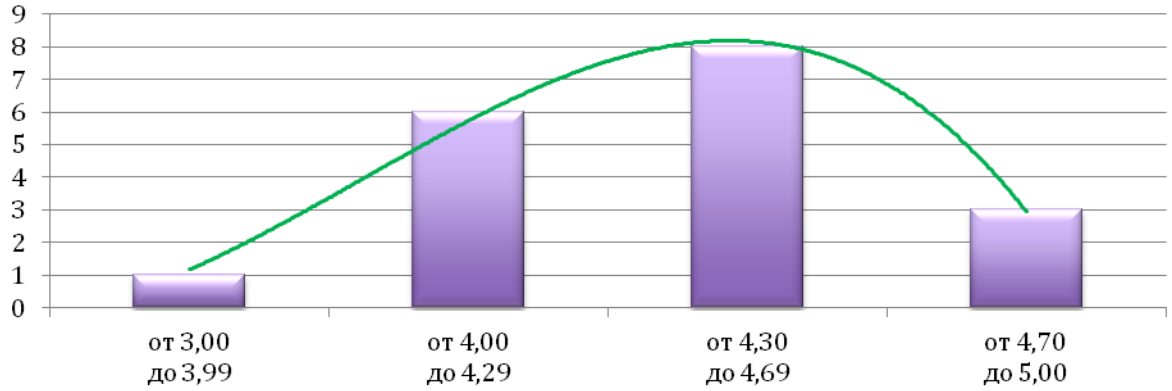

Рис. 12. Характер распределения компетентности экспертов

Среднее квадратическое отклонение параметров качества от средней величины 4,37 балла по всем экспертам равно 0,306, составляющее 7% от средней. Отсюда коэффициент согласованности мнений экспертов равен 7%, что подтверждает высокий уровень компетентности экспертизы и возможность использования полученных количественных оценок для оценки эффективности развития инфраструктуры инфокоммуникаций.

При проведении экспертного опроса устанавливается значимость каждого вида экстерналий или параметра комплексной оценки эффективности инфраструктурных проектов. Величина значимости индикаторов экстерналий или частных показателей внешнего эффекта развития инфраструктуры инфокоммуникаций может устанавливаться по удельному весу экспертов, отдающих предпочтение тому или иному индикатору социально-экономической эффективности инфраструктурных проектов:

$$a_i = \frac{k_i}{\sum_{i=1}^{3} k_i} \cdot 100\%, \qquad (13)$$

где k_i – количество экспертов, отдающих предпочтение по значимости i-му индикатору экстерналий или частному показателю внешней эффективности развития инфокоммуникаций, $\sum_{i=1}^{n} a_i = 100\%$.

После ознакомления с частными показателями социально-экономической эффективности развития инфраструктуры инфокоммуникаций (видами экстерналий) эксперт дает оценку в баллах о целесообразности включения отдельных видов экстерналий в их общую совокупность или частных показателей в интегральную модель оценки эффективности в соответствии с трехбалльной шкалой оценки, их значимости – по 100% шкале. Непосредственная оценка эффективности по каждому виду экстерналий или частному показателю в разрезе обобщающих выставляется экспертами по пятибалльной шкале.

Результаты оценки экстерналий развития инфраструктуры инфокоммуникаций

Результаты экспертной оценки значимости видов экстерналий развития инфраструктуры инфокоммуникаций и их величин по приросту (снижению) ВВП (положительных и отрицательных экстерналий), представленные в табл. 3 и 4, получены на примере крупного инфраструктурного проекта создания системы спутниковой связи для обеспечения ИКУ абонентов Арктического региона, который взят для примера. Результаты установления экспертами значимости параметров внешнего эффекта инфокоммуникационного инфраструктурного проекта в разрезе положительных и отрицательных экстерналий показали приемлемый уровень значимости (веса) каждого вида экстерналий в общей совокупности. Так значимость каждого из восьми видов положительных экстерналий находится в пределах 11-15% (за исключением мониторинговых экстерналий с весом 7%), что соответствует равномерному распределению 100% по 8 видам положительных экстерналий со средней долей в 12,5%. По отрицательным экстерналиям значимость их видов находится в пределах средних величин, а именно: в интервалах от 23 до 27%.

Таблица 3 – Результаты экспертной оценки внешнего эффекта развития инфраструктуры инфокоммуникаций по положительным экстерналиям

Виды экстерналий	Содержание положительных экстерналий	Вес вида экстерналий, отн ед	Средний прирост ВВП, %
Общественно значимые экстерналии	Прирост ВВП за счет повышения оперативности взаимодействия разных уровней управления и достоверности системы принятия решений по государственному управлению национальной безопасности, обороноспособности, природоохранной и экологической деятельности	0,11	1,16
Экономические экстерналии	Прирост ВВП, общей производительности труда, экономии рабочего времени и материальных затрат, интеллектуализации труда и электронизации производства и реализации товаров и услуг	0,15	1,27
Социальные экстерналии	Прирост ВВП за счет повышения интеллектуальности труда, уровня образования, включая инфокоммуникационное, и культуры, сохранение здоровья нынешнего и последующих поколений, рост качества и удовлетворенности жизни населения	0,12	1,19
Пространственные экстерналии	Прирост ВВП, ВРП, общей и региональной производительности труда, международного товарооборота вследствие кооперации и создания новых производств и объектов жизнедеятельности, включая транспортную инфраструктуру, трубопроводные коммуникации, рост международных отношений, благосостояния и качества жизни человека	0,12	1,14
Мониторинговые экстерналии	Прирост ВВП за счет экономии государственных денежных средств по сохранению экологии и природы стран, объектов жизнедеятельности и жилого фонда населения вследствие мониторинга окружающей среды и чрезвычайных ситуаций	0,07	1,18
Сетевые экстерналии	Прирост ВВП за счет повышения внутренней эффективности операторов сетей связи за счет роста масштабов производства услуг и увеличения объемов передаваемой информации	0,13	1,36
Конвергентные экстерналии	Прирост ВВП и производительности общественного труда, экономии рабочего и свободного времени в результате конвергенции инфокоммуникаций и различных видов деятельности, перехода на инфокоммуникационное (Интернет) и мобильное обслуживание	0,15	1,35
Информационные экстерналии	Прирост объемов и потенциала производства товаров и услуг, эффективности системы управления государством и объектами хозяйствования вследствие каталитического эффекта НТП инфокоммуникаций. Инфраструктурный фактор формирования информационного общества и жизнедеятельности, развития человеческого капитала	0,15	1,27
Суммарный прирост ВВП, %		-	9,92

Таблица 4 – Результаты экспертной оценки внешнего эффекта развития инфраструктуры инфокоммуникаций по отрицательным экстерналиям

Виды экстерналий	Содержание отрицательных экстерналий	Вес вида экстерналий, отн ед	Среднее снижение ВВП, %
Социальные экстерналии	Сохранение неравенства социально-экономического развития и материального благосостояния по отдельным регионам и категориям людей	0,25	0,33
Пространственные экстерналии	Развитие международной и межрегиональной конкуренции (снижение доли рынка традиционных услуг и наземных сетей связи)	0,23	0,34
Конвергентные экстерналии	Несовершенство распределения доходов и издержек между участниками конвергентного производства	0,25	0,38
Информационные экстерналии	Недостаток финансовых средств для более активного и глубокого применения ИКТ	0,27	0,38
Суммарное снижение ВВП, %		-	1,43

Характер распределения экспертных оценок по величине положительных экстерналий развития инфраструктуры инфокоммуникаций свидетельствует о достаточной близости к нормальному распределению большинства экстерналий, положительно влияющих на экономический рост. Распределение экспертных оценок по величине отрицательных экстерналий развития инфраструктуры инфокоммуникаций демонстрируют левостороннюю асимметрию, что указывает на перспективы уменьшения размера влияния отрицательных экстерналий на ВВП. В качестве примера приведены распределения экспертных оценок по одной положительной и отрицательной экстерналиям на рис. 13-14).

Характер влияния положительных и отрицательных экстерналий развития инфраструктуры инфокоммуникаций на рост национальной экономики показывают рис. 15 и 16.

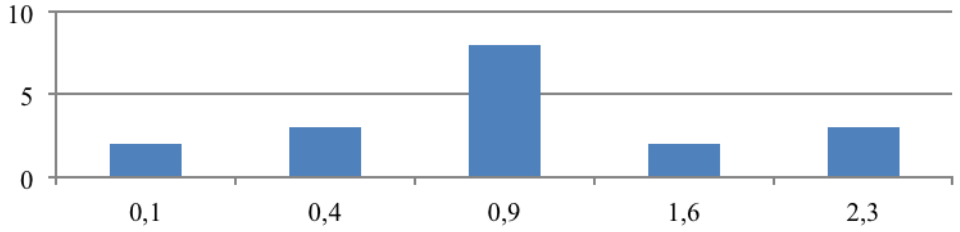

Рис. 13. Распределение экспертных оценок по величине общественно значимых положительных экстерналий развития инфраструктуры инфокоммуникаций

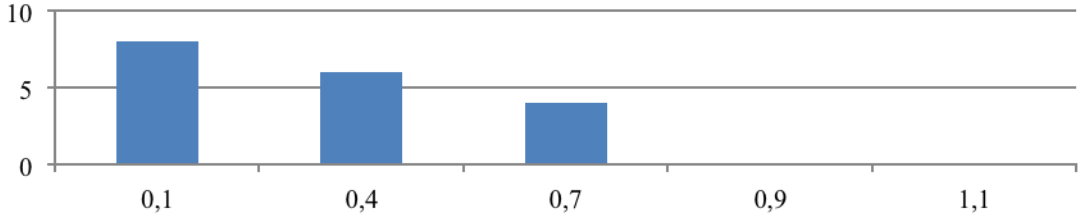

Рис. 14. Распределение экспертных оценок по величине социальных отрицательных экстерналий развития инфраструктуры инфокоммуникаций

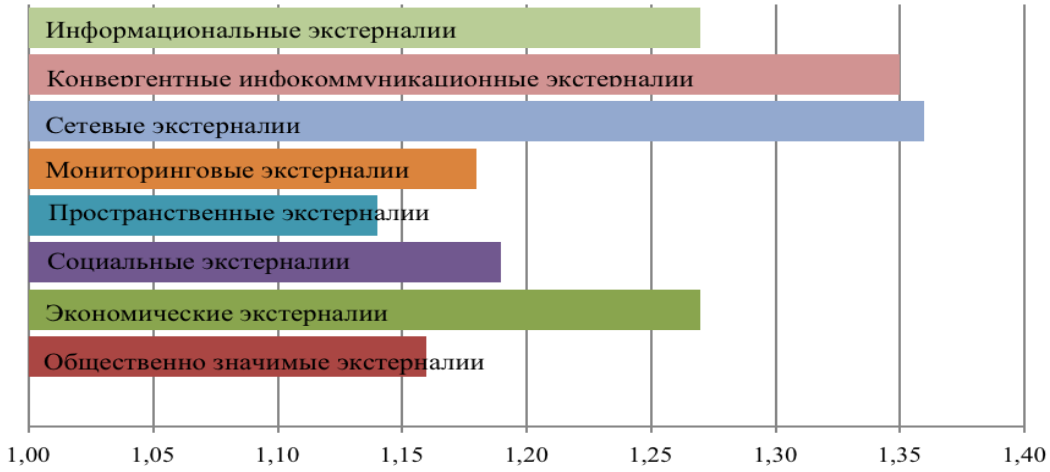

Рис. 15. Экспертная оценка влияния положительных экстерналий развития инфраструктуры инфокоммуникаций на прирост валового внутреннего продукта, %

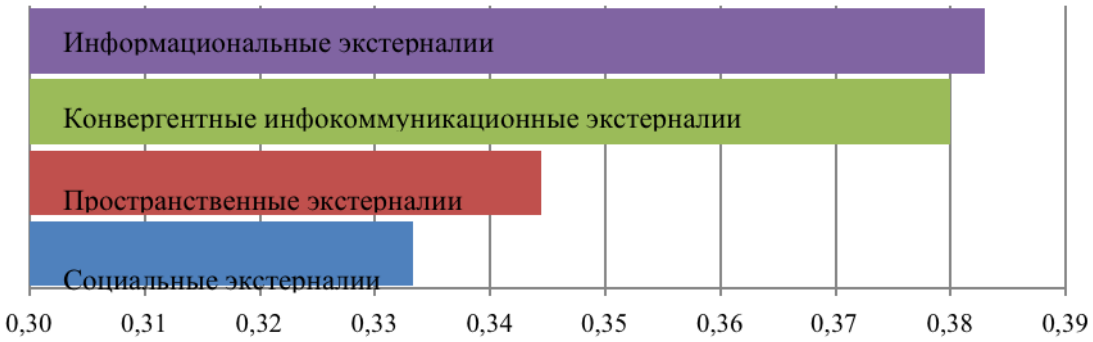

Рис. 16. Экспертная оценка влияния отрицательных экстерналий развития инфраструктуры инфокоммуникаций на снижение валового внутреннего продукта, %

Наибольший вклад в прирост ВВП обеспечивают сетевые (1,36%), конвергентные инфокоммуникационные (1,35%) экономические (1,27%) и информациональные экстерналии (1,27%), отражающие синергетический эффект всех компонентов инфокоммуникаций. Все положительные экстерналии показывают степень воздействия развития инфраструктуры инфокоммуникаций на рост масштабов производства, повышение доходов и производительности труда,

экономии времени и денежных средств, благосостояние и качество жизни граждан.

Снижение ВВП вследствие развития инфраструктуры инфокоммуникаций характеризуется меньшим и почти одинаковым воздействием всех отрицательных экстерналий (от 0,33% до 0,38%). Причины отрицательных экстерналий кроются в сохраняющемся неравенстве социально-экономического развития и материального благосостояния по отдельным регионам и категориям людей, во влиянии развития инфрастуктуры спутниковой связи на конкурентное положение традиционных операторов, в несовершенстве распределения доходов и издержек между участниками конвергентного производства инфокоммуникаионных услуг, а также недостатке объемов и масштабов финансирования применения ИКТ в экономике.

Размер этого эффекта в форме прироста ВВП обеспечивается внешней эффективностью развития инфраструктуры инфокоммуникаций за счет воздействия положительных и отрицательных экстерналий составляет:

$$\Delta I_{ВВП} = \Delta I_{ВВП.ПОЛ} - \Delta I_{ВВП.ОТР} = 9{,}92 - 1{,}43 = 8{,}49\%.$$

Полученные величины прироста ВВП вследствие развития инфраструктуры инфокоммуникаций сопоставимы с результатами экспертной оценки влияния положительных экстерналий оборонно-промышленного комплекса (ОПК) на рост национальной экономики, половину из которого дают сетевые и информационные экстерналии [15, с. 30].

Если отнести стоимостное выражение прироста ВВП за период инвестирования развития инфраструктуры инфокоммуникаций к объему инвестиций в рассматриваемый инфраструктурный проект разработки системы спутниковой связи для обеспечения ИКУ абонентов в арктическом регионе РФ, то можно определить размер вклада развития инфокоммуникационной инфраструктуры в ВВП на 1 руб. инвестиций:

$$\Delta ВВП_{ИНВ.ИК} = \Delta ВВП \cdot \Delta I_{ВВП} / И_{ИК} =$$
$$= (188\,485 - 80\,804{,}3) \cdot 8{,}49/100/276{,}3 = 33{,}09\,руб./1\,руб.$$

Таким образом, каждый рубль, вложенный в развитие инфраструктуры инфокоммуникаций, по совокупности положительных и отрицательных экстерналий дает прирост ВВП в 33,09 руб.

Проведенная апробация метода экстерналий позволяет не только объективно оценить внешний эффект (экстерналии) инфокоммуникационных инфраструктурных проектов, но и дает основание подтверждения необходимости и целесообразности инвестирования в социально-значимые инфокоммуникационные инфраструктурные проекты путем измерения эффективности расходования ограниченных бюджетных средств с точки зрения их выгод, результативности и полезности для общества.

Результаты оценки внеотраслевой эффективности развития инфокоммуникационной инфраструктуры

Для апробации методики внеотраслевой эффективности проведено экспертно-социологическое обследование работников экономической деятельности и населения по измерению экономии времени, получаемой при пользовании

перспективными инфокоммуникационными услугами в результате развертывания крупного инфраструктурного проекта создания ССС в Арктическом регионе по сравнению с действующим портфелем и качеством услуг. Применение данного методического инструмента для оценки внешней социально-экономической эффективности развития инфраструктуры инфокоммуникаций предполагает оценку экономии рабочего времени занятых в национальной экономике по разным кластерам экономической деятельности и свободного времени населения с помощью метода Дельфи.

Цель экспертно-социологического обследования состоит в получении количественных оценок экономии рабочего времени работников, занятых в производстве товаров и услуг, и свободного времени населения путем оценивания экспертами в баллах (по трехбалльной шкале) интервалов изменения экономии времени вследствие развития инфраструктуры инфокоммуникаций.

Сводные результаты экспертной оценки экономии рабочего времени работников по кластерам экономической деятельности при реализации проекта ССС для обеспечения услугами связи Арктического региона, и свободного времени населения представлены в табл. 5. Анализ полученных в результате экспертно-социологического обследования средних размеров экономии рабочего времени по основным кластерам экономической деятельности показывает, что перспективная инфраструктура инфокоммуникаций обеспечивает наибольшую величину экономии рабочего времени в Арктическом регионе в сфере производства товаров и услуг – 121,46 мин. в течение рабочего дня, на остальной территории России значительная экономия рабочего времени обеспечивается в сфере производства услуг (114,06 мин.), медицинского обслуживания (116,88 мин.) и образовании (116,04 мин.).

Таблица 5 – Сводные результаты экспертной оценки экономии рабочего времени работников и свободного времени населения при пользовании перспективными инфокоммуникационными услугами по сравнению с действующим портфелем и качеством услуг

Наименование показателей по группам потребителей	Средняя экономия времени, мин
Экономическая деятельность	
1. Экономия рабочего времени работников системы государственного управления	104,48
2. Экономия рабочего времени работников экономической деятельности по производству товаров	103,13
3. Экономия рабочего времени работников экономической деятельности по производству услуг	114,06
4. Экономия рабочего времени работников системы медицинского обслуживания	116,88
5. Экономия рабочего времени работников системы образования	116,04
Арктический регион	
7. Экономия рабочего времени работников по производству товаров и услуг в Арктической зоне	121,46
Население	
6. Экономия свободного времени населения	138,85

Представленное распределение факторов экономии рабочего времени работников на лепестковых диаграммах раскрывают, за счет каких факторов происходит экономия рабочего времени (рис. 17 и 18).

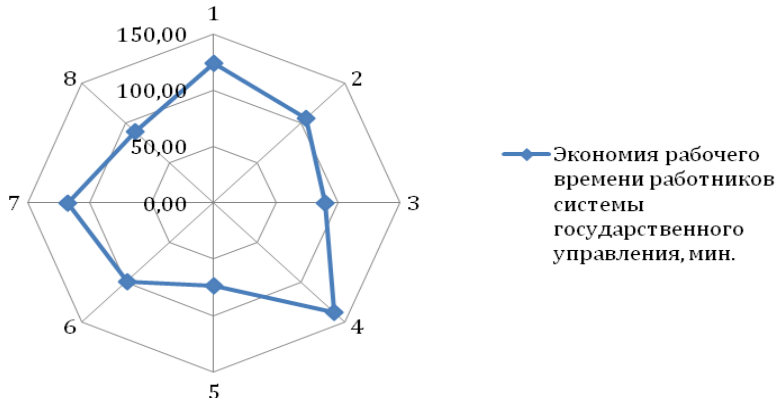

Рис. 17. Лепестковая диаграмма распределения факторов экономии рабочего времени работников системы государственного управления

Обоначения на рисунке: 1) экономия за счет увеличения доступности к информационным ресурсам посредством подключения к сети Интернет; 2) экономия за счет увеличения скорости получения информации вследствие высокоскоростного доступа к сети Интернет; 3) экономия за счет повышения степени аналитичности и полноты информации; 4) экономия за счет электронного формата взаимодействия и подготовки документов; 5) экономия за счет снижения утомляемости производственной деятельности вследствие увеличения скорости обработки информации; 6) экономия за счет повышения оперативности обоснования и принятия управленческих решений; 7) экономия за счет дистанционного сервисного обслуживания командированных работников (транспорт, гостиницы, трансфер); 8) экономия за счет роста интеллектуальности труда и реализации творческих возможностей.

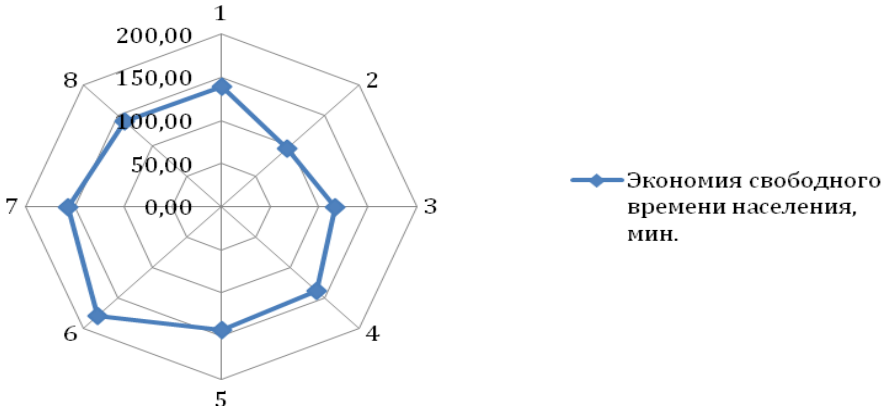

Рис. 18. Лепестковая диаграмма распределения факторов экономии свободного времени населения

Обоначения на рисунке: 1) экономия за счет увеличения доступности к информационным ресурсам посредством подключения к сети Интернет; 2) экономия за счет увеличения скорости получения информации вследствие высокоскоростного подключения к сети Интернет; 3) экономия за счет навигационного обслуживания транспортных средств; 4) экономия за счет дистанционной диагностики и медицинского лечения; 5) экономия за счет дистанционного специального и высшего образования; 6) экономия за счет получения электронных государственных услуг; 7) экономия за счет полезного использования высвободившегося свободного времени (воспитание детей, чтение, отдых); 8) экономия за счет открытия и осуществления виртуального бизнеса по предоставлению услуг (контента).

Так в системе государственного управления (рис. 18) экономия рабочего времени обеспечивается, прежде всего, за счет следующих факторов:

- электронного формата взаимодействия и подготовки документов (136,67 мин.);
- увеличения доступности к информационным ресурсам посредством подключения к сети Интернет (124,17 мин.);
- дистанционного сервисного обслуживания командированных работников (транспорт, гостиницы, трансфер) (117,5 мин.).

Для населения (рис. 19) эксперты определили другую картину факторов, влияющих на свободное время людей. Наибольшее влияние на величину свободного времени оказывают следующие факторы:

- возможность получения электронных государственных услуг (180 мин.);
- полезного использования высвободившегося свободного времени на воспитание детей, чтение, отдых (156,67 мин.);
- дистанционного специального и высшего образования (143,33 мин.);
- открытия и осуществления виртуального бизнеса по предоставлению услуг (контента) (140,83 мин.).

Наименьшее воздействие на экономию свободного времени оказывает увеличение скорости получения информации вследствие широкополосного доступа к сети Интернет (95,83 мин.).

На основе полученных результатов экономии рабочего и свободного времени населения оценивается экономия трудовых затрат и определяется условный эффект прироста производительности труда, доходов, ВДС, ВВП. Сопоставление полученного эффекта с размерами инвестиций в развитие инфраструктуры инфокоммуникаций дает основу для количественного выражения ее социально-экономической эффективности – сколько денежных единиц эффекта дает 1 руб. инвестиционных затрат на развитие инфраструктуры инфокоммуникаций.

Для апробации методики внеотраслевой социально-экономической эффективности развития инфраструктуры инфокоммуникаций были проведены сбор и систематизация статистических и прогнозных данных по национальной экономике России, ее структуре, используемым ресурсам и стоимостным параметрам рассматриваемого в качестве примера инфраструктурного проекта спутниковой связи.

Официальные статистические данные по Российской Федерации были взяты за 2015 г. [44, с. 31, 69, 137, 139, 141, 144, 267, 274]. Прогнозные данные по национальной экономике взяты из следующих документов «Прогноз долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации до 2030 г.» [45] и «Сценарные условия долгосрочного прогноза социально-экономического развития Российской Федерации до 2030 г.» [46].

На основе полученных экспертами данных по экономии рабочего времени работников и свободного времени населения вследствие развития инфраструктуры инфокоммуникаций на перспективный период 2025 г. по предлагаемой методике измерения внеотраслевой эффективности (формулы 4-11) произ-

ведены расчеты показателей внеотраслевой социально-экономической эффективности развития инфокоммуникаций по главным кластерам исследования (табл. 6). Установленный норматив экономии рабочего времени за счет развития инфокоммуникационной инфраструктуры в год на 1 чел. по видам экономической деятельности варьирует от 0,218 до 0,244 отн. ед. и составляет в среднем 0,231 отн. ед.

Таблица 6 – Показатели внеотраслевой социально–экономической эффективности развития инфраструктуры инфокоммуникаций по кластерам исследования в 2025 г.

№	Факторы экономии рабочего времени	Всего по эконом. деятельности	В том числе Арктический регион	Население
1	Экономия рабочего времени работников (свободного времени населения) в течение рабочего дня, мин.	554,59	121,46	138,85
2	Экономия рабочего времени работников (свободного времени населения) в течение рабочего дня, час.	9,243	2,024	2,314
3	Экономия рабочего времени работников (свободного времени населения) в течение года, час	2 283,1	738,8	269,7
4	Норма рабочего времени в год, час.	1 973	1 973	1 973
5	Норматив экономии рабочего времени за счет развития инфраструктуры инфокоммуникаций в год на 1 чел., отн. ед.	0,231	0,231	0,137
6	Численность работников экономической деятельности (трудоспособное населения), тыс.чел.	65 000	1875	87415
7	Годовая экономия численности работников (трудоспособного населения), тыс. чел.	14 716,8	433,9	11 975,9
8	Прирост производительности труда в сфере экономической деятельности за счет экономии рабочего времени вследствие развития инфраструктуры инфокоммуникаций, %	29,27	30,11	15,88
9	Среднемесячная заработная плата работников (реальные доходы населения), тыс. руб.	88,480	176,96	84,395
10	Годовая экономия затрат на оплату труда работников за счет развития инфраструктуры инфокоммуникаций, млрд. руб.	17 635,3	921,5	12 128,4
11	Валовая добавленная стоимость, млрд. руб.	174 543,4	8 552,8	-
12	Прирост ВДС за счет экономии затрат на оплату труда работников вследствие развития инфраструктуры инфокоммуникаций, %	10,10	10,77	-
13	ВВП, млрд. руб.	188 485,0	9 236,0	-
14	Прирост ВВП за счет экономии затрат на оплату труда работников вследствие развития инфраструктуры инфокоммуникаций, %	9,36	9,98	-
15	Затраты организаций (населения) на инфокоммуникационные услуги, млрд. руб.	6 113,8	269,0	2 016,4
16	Норматив экономии трудовых затрат за счет экономии времени на 1 руб. затрат пользователей на ИКУ, руб./руб.	2,885	3,425	6,015
17	Инвестиции на реализацию инфраструктурного проекта инфокоммуникаций, млрд. руб.	276,3	27,6	276,3
18	Норматив экономии трудовых затрат за счет экономии времени вследствие развития инфраструктуры инфокоммуникаций на 1 руб. инвестиций в развитие ИК, руб./руб.	63,83	33,35	43,9

На основании данного норматива была определена годовая экономия численности работников, с учетом среднемесячной заработной платы, экономия затрат на оплату труда (экономия трудовых затрат) работников, вследствие развития инфраструктуры инфокоммуникаций по видам экономической деятельности. Такая экономия в целом, составила 17 635,33 млрд руб. На приведенной диаграмме (рис. 19) видно, что основной вклад в экономию трудовых затрат вносит деятельность по производству товаров и услуг (84,8%).

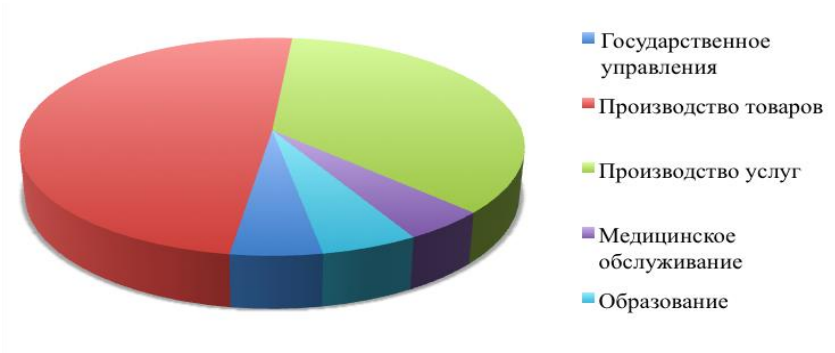

Рис. 19. Структура годовой экономии трудовых затрат работников за счет развития инфраструктуры инфокоммуникаций по видам экономической деятельности

Прирост ВДС за счет экономии затрат на оплату труда работников экономической деятельности вследствие развития инфраструктуры инфокоммуникаций составляет в целом 10,1%. Наибольший уровень экономии трудовых затрат произойдет в сфере образования и медицинского обслуживания (соответственно 19,83% и 12,05%) (рис. 20). Активность производственной деятельности в Арктическом регионе вследствие принятия стратегии его развития и реализации инфраструктурного проекта обеспечивает более высокий уровень прироста ВДС – 10,77%.

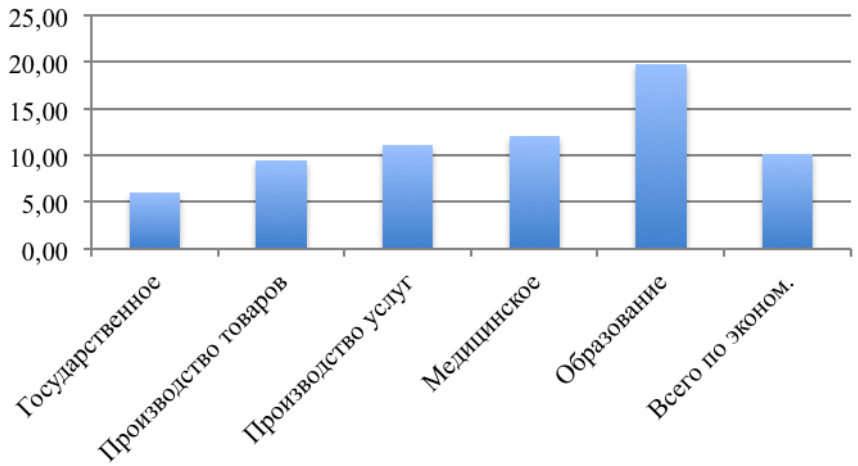

Рис. 20. Доли прироста ВДС за счет экономии рабочего времени и трудовых затрат работников вследствие развития инфраструктуры инфокоммуникаций по видам экономической деятельности

Расчеты демонстрируют значительные результаты прироста ВДС за счет развития инфрастуктуры инфокоммуникаций в условиях создания и развития цифровой экономики информационного общества. Прирост ВВП за счет экономии рабочего времени вследствие развития инфраструктуры инфокоммуникаций на 1 руб. инвестиций имеет аналогичную с приростом ВДС картину распределения эффекта по видам экономической деятельности и составляет 9,36%, в Арктическом регионе – 9,98%.

На основе данных о затратах организаций на инфокоммуникационные услуги и годовой экономии трудовых затрат по видам деятельности были установлены нормативы экономии оплаты труда на 1 руб. затрат пользователей на ИКУ. Расчеты показали, что развитие инфраструктуры инфокоммуникаций позволяет обеспечить экономию затрат пользователей сферы экономической деятельности на инфокоммуникационные услуги в целом по экономической деятельности в размере 2,885 руб. на 1 руб. их затрат, в Арктическом регионе – 3,425 руб. на 1 руб. затрат.

Оценка внеотраслевой социально-экономической эффективности развития инфраструктуры инфокоммуникаций по показателю «экономия свободного времени» имеет косвенный или условный характер влияния на экономические показатели за счет использования части экономии свободного времени на восстановление здоровья человека (воспроизводство рабочей силы) и более продуктивную его работу в сфере экономической деятельности. Поэтому полученные характеристики внеотраслевой социально-экономической эффективности развития инфраструктуры инфокоммуникаций для населения можно рассматривать и использовать в качестве нормативов условно. В то же время расчеты показывают, что роль экономии свободного времени населения достаточно велика. Так прирост производительности труда за счет экономии свободного времени населения составляет 15,88% (в Арктическом регионе – 7,35%), прирост ВВП – 6,44% (в Арктическом регионе – 0,21%).

Поскольку затраты пользователей на инфокоммуникационные услуги равноценны доходам от инфокоммуникационных услуг, то полученные нормативы свидетельствуют о том, что, с одной стороны, организации и население могут сэкономить свои затраты на ИКУ, с другой стороны, организации сферы инфокоммуникаций соответственно получают дополнительные доходы вследствие развития своей инфраструктуры. Установленные величины нормативов экономии трудовых затрат за счет экономии времени на 1 руб. затрат пользователей на ИКУ, составившие соответственно для экономической деятельности 2,885 руб./1 руб., для населения – 6,015 руб./1 руб., а также для Арктического региона позволяют определить прирост доходов от ИКУ в перспективном периоде при реализации инфокоммуникационных инфраструктурных проектов.

Используя прогноз инвестиций на реализацию инфраструктурного проекта спутниковой связи на период 2017-2015 гг. по созданию системы связи с космическими аппаратами на высокоэллиптических орбитах, в том числе для оказания услуг связи в Арктическом регионе Российской Федерации, и нормативы трудовых затрат был определен норматив экономии трудовых затрат за счет экономии времени вследствие развития инфраструктуры инфокоммуника-

ций на 1 руб. инвестиций в размере 63,83 руб. на 1 рубль инвестиционных средств за счет всех источников, т. е. на каждый рубль вложенных средств в развитие инфраструктуры спутниковой связи наша страна получает внеотраслевой социально-экономический эффект в размере 63,83 руб. Для Арктического региона данный норматив составил 33,35 руб.

Полученные по результатам экспертного опроса специалистов по главным группам потребителей экономической деятельности и населения расчетные величины экономии времени работников (экономии свободного времени населения), трудовых ресурсов, трудовых затрат (оплаты труда работников) на производство, экономии трудовых затрат за счет экономии времени на 1 руб. затрат пользователей на ИКУ, а также прироста ВДС за счет экономии затрат на оплату труда работников вследствие развития инфраструктуры инфокоммуникаций, прироста ВВП за счет экономии рабочего времени (трудовых затрат) вследствие развития инфраструктуры инфокоммуникаций на 1 руб. инвестиций могут использоваться в качестве нормативов на перспективный период реализации инфраструктурных проектов (табл. 7).

Разработанные нормативы экономии рабочего времени работников и экономии свободного времени населения, выраженные в стоимостной форме как экономия оплаты труда работников и населения, на 1 человека, на 1 руб. затрат пользователей на ИКУ, на 1 руб. инвестиций в развитие инфраструктуры инфокоммуникаций на 2025 г. отражают (в условиях установленной достоверности экспертизы) прогрессивные критерии эффективности развития инфраструктуры инфокоммуникаций и могут использоваться в качестве научно обоснованных нормативов в различных сферах экономической деятельности и населения для обоснования инвестиций в развитие инфокоммуникаций с учетом внеотраслевой социально-экономической эффективности.

Апробация метода внеотраслевой оценки социально-экономической эффективности развития инфраструктуры инфокоммуникаций показала ее значительный внешний эффект по основным категориям пользователей. Развитие и обеспечение доступности средств инфокоммуникаций, улучшение качества услуг, включая новые виды и технологии, создают у потребителей за счет экономии времени не только прямой экономический, но и косвенный социальный эффекты за счет экономии рабочего и свободного времени.

Метод внеотраслевой оценки социально-экономической эффективности развития инфраструктуры инфокоммуникаций может использоваться не только для обоснования эффективности инфраструктурных проектов, но и для обоснования необходимого уровня обеспеченности производства и населения инфокоммуникационными услугами в условиях формирования цифровой экономики информационного общества.

Таблица 7 – Нормативы показателей внеотраслевой социально-экономической эффективности развития инфраструктуры инфокоммуникаций

№	Факторы экономии рабочего времени	Всего по эконом. деятельности	В том числе Арктический регион	Население
1	Экономия рабочего времени работников (свободного времени населения) в течение рабочего дня, мин.	554,59	121,46	138,85
2	Норматив экономии рабочего времени за счет развития инфраструктуры инфокоммуникаций в год на 1 чел., отн. ед.	0,231	0,231	0,137
3	Норматив экономии трудовых затрат за счет экономии времени на 1 руб. затрат пользователей на ИКУ, руб./руб.	2,885	3,425	6,015
4	Норматив прироста ВДС за счет экономии затрат на оплату труда работников вследствие развития инфраструктуры инфокоммуникаций, %	10,10	10,77	-
5	Норматив прироста ВВП за счет экономии затрат на оплату труда работников вследствие развития инфраструктуры инфокоммуникаций, %	9,36	9,98	6,44
6	Норматив экономии трудовых затрат за счет экономии времени вследствие развития инфраструктуры инфокоммуникаций на 1 руб. инвестиций в развитие ИК, руб./руб.	63,83	33,35	43,9

Заключение

Создание и функционирование необходимой для нормальной жизнедеятельности российских граждан инфокоммуникационной инфраструктуры на основе внедрения новейших технологий, инновационных продуктов и услуг, преодоления цифрового неравенства регионов РФ, включая Арктический регион, сопровождается значительными вложениями инвестиционных средств участников рынка, включая государственное финансирование. Измерение эффективности инфокоммуникационных инфраструктурных проектов с помощью известных динамических методов не дает объективной оценки эффективности, не позволяет учесть и измерить внешний экономический и социальный эффект, тем самым обуславливает необходимость разработки соответствующего методического аппарата.

Проведенное изучение специфики организации производства инфокоммуникационных услуг, бизнес-модели и рынка, выявление воздействующих факторов, систематизация их влияния на формирование внутреннего и внешнего эффектов развития инфраструктуры инфокоммуникаций, а также рассмотрение различных подходов к решению поставленной задачи позволили научно обосновать методические подходы к комплексной оценке эффективности развития инфокоммуникационной инфраструктуры.

Для измерения эффективности развития инфокоммуникаций, имеющей синергетический и мультипликативный характер, авторами предложены

направления совершенствования методологии оценки внешней эффективности инфраструктурных проектов на основе качественных методов измерения их параметров, основанных на методе экспертных оценок.

Прикладной методический аппарат учитывает специфику интегрированного производства инфокоммуникационных услуг, синергетический характер проявления эффективности развития инфраструктуры инфокоммуникаций с доминированием проявления внешнего эффекта в экономике и социуме. Данный методический аппарат оценки внешней эффективности развития инфокоммуникационной инфраструктуры становится возможным за счет применения комплекса методик: определения содержания и измерения положительных и отрицательных экстерналий и измерения внеотраслевой социально-экономической эффективности развития инфраструктуры инфокоммуникаций по основному параметру – экономии времени.

Применение предлагаемого методического аппарата оценки внешней социально-экономической эффективности развития инфраструктуры инфокоммуникаций, который базируется на измерении экстерналий и внеотраслевой эффективности, дает основание для повышения эффективности инвестирования инновационного развития инфокоммуникаций и решения государственных задач формирования информационного общества.

Для апробации предложенного методического аппарата оценки внешней социально-экономической эффективности развития инфокоммуникационной инфраструктуры было проведено экспертно-социологическое обследование крупного инфраструктурного инфокоммуникационного проекта создания ССС для обеспечения ИКУ абонентов арктического региона группой экспертов в составе 18 человек – представителей научного сообщества и профессиональной деятельности в сфере инфокоммуникаций, на основе анкетирования.

По результатам обследования была получена количественная оценка внешней эффективности развития инфраструктуры инфокоммуникаций с разных сторон по основным кластерам потребления ее услуг. Внешняя эффективность развития инфрастуктуры инфокоммуникаций на основе экспертной оценки воздействия положительных и отрицательных экстерналий составила 8,49% прироста ВВП страны. За счет воздействия экстерналий вклад развития инфраструктуры инфокоммуникаций в ВВП на 1 руб. инвестиций составил 33,09 руб.

Проведенная апробация метода экстерналий позволяет научно подтверждить необходимость и целесообразность инвестирования социально значимых инфокоммуникационных инфраструктурных проектов путем измерения эффективности расходования ограниченных бюджетных средств с точки зрения их выгод, результативности и полезности для общества.

Апробация методики оценки внеотраслевой социально-экономической эффективности развития инфраструктуры инфокоммуникаций показала значительный внеотраслевой инфраструктурный эффект по основным классам пользователей.

Результаты экспертно-социологического обследования внеотраслевой социально-экономической эффективности развития инфраструктуры инфокоммуникаций по экономической деятельности и населению позволили получить па-

кет разнообразных оценок. Так экономия рабочего времени вследствие развития инфокоммуникационной инфраструктуры за период реализации проекта (2017-2025 г.) обеспечивает в сфере экономической деятельности 29,3% прироста производительности труда, 10,1% прироста валовой добавленной стоимости и 9,36% валового внутреннего продукта за счет экономии затрат на оплату труда. За счет экономии времени вследствие развития инфраструктуры экономия трудовых затрат только по экономической деятельности составляет на каждый рубль инвестиций 63,8 руб.

Такие оценки согласуются с данными международных исследователей об эффективности инвестирования развития в ИКТ, а именно, один долл. инвестиций в инфокоммуникации США дает 6 долл. прироста ВВП (The Economic Impact Commercial Space Transportation on the U.S. Economy, 2009 г.); каждый евро, вложенный государством в технологии спутниковой связи, генерирует доход в 47 евро (European Satellite Operators' Association ESOA), подтверждает достоверность полученных характеристик внешней социально-экономической эффективности инфраструктурных проектов [47-48].

Результаты проведенных экспертно-социологических обследований позволили не только с научных позиций подтвердить целесообразность измерения внешнего эффекта развития инфраструктуры инфокоммуникаций по разным параметрам и кластерам жизнедеятельности, но и сформировать методические положения по оценке внешней социально-экономической эффективности развития инфокоммуникаций на основе экстерналий и внеотраслевой эффективности, тем самым доказать их теоретическую и практическую значимость.

Литература

1. Аджемов А. С. Телекоммуникации, инфокоммуникации – что дальше? Облака! – М.: ИД Медиа Паблишер, 2012. – 174 с.

2. Васильев В. В., Кузовкова Т. А. Инфокоммуникационные технологии и информациональная экономика: монография. – М.: Издательство «Палеотип», 2005. – 268 с.

3. Варакин Л. Е. Информационно-экономический закон. Взаимосвязь инфокоммуникационной инфраструктуры и экономики. – М.: МАС, 2006. – 106 с.

4. Гольштейн Б. С., Голышко А. В. Виртуальный Завет // Вестник связи. 2015. № 5. С. 22-28.

5. Кузовкова Т. А., Тимошенко Л. С. Анализ и прогнозирование развития инфокоммуникаций. – М.: Горячая линия-Телеком, 2016. – 162 с.

6. Государственная программа «Информационное общество (2011-2020 годы)», утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации от 15 апреля 2014 г. № 313 (в редакции от 17.06.2015г.). URL: http://base.garant.ru/57507562/ (дата обращения: 27.12.2017).

7. Стратегия развития информационного общества в Российской Федерации на 2017 – 2030 годы, утвержденная Президентом Российской Федерации от 9 мая 2017 г. № 203. – URL: http://base.garant.ru/56726627/ (дата обращения: 27.12.2017).

8. Кузовкова Т. А., Салютина Т. Ю., Шаравова О. И. Статистика инфокоммуникаций. Учебник для вузов. – М.: Горячая линия-Телеком, 2015. – 554 с.

9. Постановление Правительства РФ от 21 апреля 2014 г. N 366 "Об утверждении государственной программы Российской Федерации "Социально-экономическое развитие Арктической зоны Российской Федерации на период до 2020 года". – URL: http://base.garant.ru/57499936/ (дата обращения: 27.12.2017).

10. Ибрагимов Д. М., Чистяков Н. И. Синтез науки и производства для решения государственных задач по развитию Арктической зоны РФ // Электросвязь. 2016. № 4. С. 22-24.

11. Стратегия развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечение национальной безопасности на период до 2020 года, утвержденная Президентом Российской Федерации от 20 февраля 2011 г. – URL:http://consultant.ru/document/cons_doc (дата обращения: 27.12.2017).

12. Исаев А. Г. Транспортная инфраструктура и экономический рост: пространственные эффекты // Пространственная экономика. 2015. № 3. С. 57-73.

13. Кузовков А. Д. Оценка эффективности применения инфокоммуникационных технологий на основе интегрально-экспертного метода // Успехи современной науки. 2016. Том 3. № 11. С. 113-118.

14. Кузовкова Т. А., Кузовков А. Д., Кузовков Д. В., Шаравова О. И. Оценка внешней эффективности инфраструктуры инфокоммуникаций на основе экстерналий // Сборник материалов XXXIX Международной конференции РАЕН. 2017. С. 56-58.

15. Лесных В. В. Внешние эффекты оборонно-промышленного комплекса и экономическое развитие // Вестник УГТУ-УПИ. Серия экономика и управление. 2008. № 1 (90). С. 22-31.

16. Фадин Н. И. Особенности оценки эффективности социальных программ при наличии экстерналий // Экономические науки. 2015. № 5 (126). С. 64-67.

17. Measuring the Information Society Report 2016. International Telecommunication Union. Geneva: ITU, 2016. 248 p.

18. Кузовкова Т. А. Оценка роли инфокоммуникаций в национальной экономике и выявление закономерностей ее развития // Системы управления, связи и безопасности. 2015. № 4. С. 26-68.

19. Кузовкова Т. А., Володина Е. Е., Кухаренко Е. Г. Экономика отрасли инфокоммуникаций. Учебное пособие для вузов. М.: Горячая линия-Телеком, 2014. 190 с.

20. Беляков Г. С. Как оценить экономическую эффективность инвестиционных проектов // Всероссийский экономический журнал Экономика и организация. 2010. № 6. С. 121-129.

21. Инновационный менеджмент: Учебник / Под ред. В.А. Швандара, В.Я. Горфинкеля. М.: Вузовский учебник, 2006. 382 с.

22. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов. М.: Экономика, 2000. 414 с.

23. Шелунцова М. А. Методы оценки эффективности инвестиционных решений в общественном секторе экономике // Экономика региона. 2012. № 1. С. 247-253.

24. Кузовкова Т. А., Кузовков Д. В., Шаравова О. И. Методические особенности комплексной оценки эффективности инфраструктурных проектов спутниковой связи // Век качества. 2017. № 1. С. 97-109.

25. Кузовкова Т. А., Кузовков А. Д., Кузовков Д. В., Шаравова О. И. Сущность и виды экстерналий развития инфокоммуникаций и подходы к оценке внешней социально-экономической эффективности отраслевой инфраструктуры // Век качества. 2017. № 2. С. 72-83.

26. Экономическая теория. Микроэкономика – 1, 2. Учебник. / Под ред. Г.П. Журавлевой. М.: Дашков и Ко, 2014. 934 с.

27. Афанасьев М. П., Шаш Н. Н. Инструментарий оценки эффективности бюджетных программ // Вопросы государственного и муниципального управления. 2013. № 3. С. 48-69.

28. Коломак Е. А. Эффективность инфраструктурного капитала в России // Журнал новой экономической ассоциации. 2011. № 10. С. 74-93.

29. Кузовкова Т. А., Кузовков Д. В., Кузовков А. Д. Качественные методы оценки эффективности инноваций и развития инфокоммуникаций: Монография. М.: ООО «ИД Медиа Паблишер», 2016. 171 с.

30. Кузовкова Т. А., Шаравова О. И. Причины формирования новой модели бизнеса в сфере инфокоммуникаций // Век качества. 2016. № 2. С. 40-51.

31. Азгальдов Г. Г, Костин А. В., Садовов В. В. Квалиметрия: первоначальные сведения. Справочное пособие с примером для АНО «Агентство стратегических инициатив по продвижению новых проектов»: Учеб. Пособие. – М.: Высшая школа, 2011. – 143 с.

32. Голубков Е. П. Технология принятия управленческих решений. – М.: Изд-во «Дело и сервис», 2005. – 544 с.

33. Литвак Б. Г. Экспертные технологии в управлении: Учебное пособие. – М.: Дело, 2004. – 400 с.

34. Фомин В. Н. Квалиметрия. Управление качеством. Сертификация: Учебное пособие. М.: Ось-89, 2007. 384 с.

35. Жеребин В. М., Алексеева О. А, Ермакова Н. А. Цифровой раскол как новый фактор социальной стратификации // Вопросы статистики. 2015. № 5. С. 35-30.

36. Основы государственной политики Российской Федерации в области космической деятельности на период до 2030 года и дальнейшую перспективу, утвержденных Президентом Российской Федерации от 19 апреля 2013 г. № Пр-906.

37. Гольштейн Б. С., Голышко А. В. Виртуальный Завет // Вестник связи. 2015. № 5. С. 22-28.

38. Шаравова О. И. Проблемы оценки финансового положения виртуального предприятия // Экономика и качество систем связи. 2017. № 1 (3). С. 16-24.

39. Шаравова О. И. Рыночная среда инфокоммуникаций и отраслевая структура рынка // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2014. Т. 8. № 7. С. 92-94.

40. Кузовков Д. В., Тураева Т. В. Экономическая оценка эффективности инвестиций и инноваций в инфокоммуникациях / Под ред. проф. Т.А. Кузовковой. – М.: ООО «ИД Медиа Паблишер», 2013. – 250 с.

41. Кузовков Д. В. Применение экспертно-квалиметрического подхода к оценке эффективности инноваций и выбору поставщика оборудования в сфере инфокоммуникаций // Век качества. 2009. № 1. С. 30-33.

42. Аджемов А. С., Буйдинов Е. В., Кузовков Д. В. Применение экспертно-квалиметрического метода для обоснования выбора эффективных инноваций в спутниковой связи // Электросвязь. 2015. № 1. С. 27-30.

43. Аджемов А. С., Буйдинов Е. В., Кузовков Д. В. Применение интегральной модели для оценки эффективности построения системы спутниковой связи // Электросвязь. 2016. № 4. С. 25-29.

44. Российский статистический ежегодник. 2016: статистический сборник. – М.: Росстат, 2016. – 725 с.

45. Прогноз долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации до 2030 года, разработанный Минэкономразвития РФ. – М., 2015. – URL: http://base.garant.ru/70309010/ (дата обращения: 27.12.2017).

46. Сценарные условия долгосрочного прогноза социально-экономического развития Российской Федерации до 2030 года. – М.: Минэкономразвития, 2012. – 61 с. – URL: http://economy.gov.ru/minec/activity/ (дата обращения: 27.12.2017).

47. The Economic Impact Commercial Space Transportation on the U.S. Economy: 2004 // Federal Aviation Administration (FAA) Commercial Space Transporttion, 2006. 41 p.

48. Аналитический отчет Satellite Industry Association (SIA) «State of the Satellite Industry Report», Washington, D.C., 2013. – URL: http://www.sia.org (дата обращения: 27.12.2017).

References

1. Adzhemov A. S. *Telekommunikatsii, infokommunikatsii – chto dal'she? Oblaka!* [Telecommunications, infocommunication – what's next? Clouds!]. Moscow, ID Media publisher Publ., 2012. 174 p. (in Russian).

2. Vasiliev V. V., Kuzovkova T. A. *Infokommunikatsionnye tekhnologii i informatsional'naia ekonomika* [Information and communication technology and informationally economy]. Moscow, Paleotype Publ., 2005. 268 p. (in Russian).

3. Varakin L. E. *Informatsionno-ekonomicheskii zakon. Vzaimosviaz' infokommunikatsionnoi infrastruktury i ekonomiki* [Information and economic law. The relationship of infocommunication infrastructure and economy]. Moscow, Works of International Telecommunications Academy Publ., 2006. 106 p. (in Russian).

4. Holstein B. S., Golyshko A. V. Virtual'nyi Zavet [Virtual Testamen]. *Vestnik sviazi*, 2015, no. 5, pp. 22-28 (in Russian).

5. Kuzovkova T. A., Timoshenko L. S. *Analiz i prognozirovanie razvitiia infokommunikacii* [Analysis and Forecast of Infocommunication Development]. Moscow, Goriachaia Liniia-Telekom Publ., 2016, 174 p. (in Russian).

6. *Gosudarstvennaia programma «Informatsionnoe obshchestvo (2011-2020 gody)»* [The state program "Information society (2011-2020)"], approved by order of the Government of the Russian Federation from October 20, 2010. No. 1815-R Available at: http://base.garant.ru/57507562/ (accessed 27 Desember 2017) (in Russian).

7. *Strategiia razvitiia informatsionnogo obshchestva v Rossiiskoi Federatsii na 2017 - 2030 gody* [The strategy of information society development in Russian Federation to 2017 – 2030], approved by the President of the Russian Federation of may 9, 2017. No. 203. Available at: http://base.garant.ru/56726627/ (accessed 27 Desember 2017) (in Russian).

8. Kuzovkova T. A., Salutina T. Y., Sharavova O. I. *Statistika infokommunikatsii* [Statistics of Infocommunications]. Moscow, Goriachaia Liniia-Telekom Publ., 2015. 554 p. (in Russian).

9. *Gosudarstvennaia programma Rossiiskoi Federatsii «Kosmicheskaia deiatel'nost' Rossii na 2013 - 2020 gody* [State program of the Russian Federation "Space activities of Russia in 2013-2020"], approved by the decree of the Government of the Russian Federation of April 15, 2014. No. 306. Available at: http://base.garant.ru/57499936/ (accessed 27 Desember 2017) (in Russian).

10. Ibragimov D. M., Chistyakov N. I. *Sintez nauki i proizvodstva dlia resheniia gosudarstvennykh zadach po razvitiiu Arkticheskoi zony RF* [The synthesis of science and production for solving state tasks on development of the Arctic zone of the Russian Federation]. *Elektrosviaz*, 2016, no. 4, pp. 22-24 (in Russian).

11. *Strategiia razvitiia Arkticheskoi zony Rossiiskoi Federatsii i obespechenie natsional'noi bezopasnosti na period do 2020 goda* [The development strategy of the Arctic zone of the Russian Federation and national security for the period up to 2020], approved by the President of the Russian Federation from February 20, 2011. Available at: http://consultant.ru/document/cons_doc (accessed 27 Desember 2017) (in Russian).

12. Isaev A. G. *Transportnaia infrastruktura i ekonomicheskii rost: prostranstvennye effekty* [Transport infrastructure and economic growth: spatial effects]. *Prostranstvennaia ekonomika*, 2015, no. 3, pp. 57-73 (in Russian).

13. Kuzovkov A. D. *Otsenka effektivnosti primeneniia infokommunikatsionnykh tekhnologii na osnove integral'no-ekspertnogo metoda* [Evaluation of the effectiveness of information and communication technologies on the basis of an integrated expert method]. *Modern Science Successes*, 2016, no. 11, Vol. 3, pp. 113-118 (in Russian).

14. Kuzovkova T. A., Kuzovkov A. D., Kuzovkov D. V., Sharavova O. I. *Otsenka vneshnei effektivnosti infrastruktury infokommunikatsii na osnove eksternalii* [Assessment of the external efficiency of the Infocommunications infrastructure on

the basis of externalities]. *Sbornik materialov XXXIX Mezhdunarodnoi konferentsii Rossiiskoi akademii estestvennykh nauk*. 2017, pp. 56-58 (in Russian).

15. Lesnix V. V. *Vneshnie effekty oboronno-promyshlennogo kompleksa i ekonomicheskoe razvitie* [The External effects of the military-industrial complex and economic development]. *Vestnik Ural'skogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta-UPI. Seriia ekonomika i upravlenie*, 2008, no. 1(90), pp. 22-31 (in Russian).

16. Fadin N. I. *Osobennosti otsenki effektivnosti sotsial'nykh programm pri nalichii eksternalii* [Features of evaluating the effectiveness of social programs in the presence of externalities]. *Economic Sciences*, 2015, vol. 126, no. 5, pp. 64-67 (in Russian).

17. *Measuring the Information Society Report 2016*. Geneva, International Telecommunication Union, 2016. 248 p.

18. Kuzovkova T. A. Evaluation of the role of infocommunication in the national economy and the identification of regularities of its development. *Systems of Control, Communication and Security*, 2015, no. 4, pp. 26-68 (in Russian).

19. Kuzovkova T. A., Volodina E. E., Kukharenko E. G. *Ekonomika otrasli infokommunikatsii* [Economy the ICT industry]. Moscow, Goriachaia Liniia-Telekom Publ., 2014. 190 p. (in Russian).

20. Belyakov G. C. *Kak otsenit' ekonomicheskuiu effektivnost' investitsionnykh proektov* [How to assess the economic efficiency of investment projects. *Vserossiiskii ekonomicheskii zhurnal EKO (Ekonomika i organizatsiia)*, 2010, no. 6. pp. 121-129 (in Russian).

21. Shvandar V. A., Gorfinkel V. Y. *Innovacionnij menedzhment* [Innovation management]. Moscow, Vuzovskij uchebnik Publ., 2006. 382 p. (in Russian).

22. *Metodologicheskie rekomendacii po ocenke effektivnosti investicionnih proektov* [Methodological recommendations for efficiency evaluation of investment projects]. Moscow, Economics Publ., 2000. 154 p. (in Russian).

23. Sheluntsova M. A. *Metody otsenki effektivnosti investitsionnykh reshenii v obshchestvennom sektore ekonomike* [Methods for evaluating the effectiveness of investment decisions in the public sector economy]. *Ekonomika regiona*, 2012, no. 1, pp. 247-253 (in Russian).

24. Kuzovkova T. A., Kuzovkov D. V., Sharavova O. I. *Metodicheskie osobennosti kompleksnoi otsenki effektivnosti infrastrukturnykh proektov sputnikovoi sviazi* [Methodical features of complex estimation of efficiency of infrastructure projects of satellite communication]. *Age of Quality*, 2017, no. 1, pp. 97-109 (in Russian).

25. Kuzovkova T. A., Kuzovkov A. D., Kuzovkov D. V., Sharavova O. I. *Sushchnost' i vidy eksternalii razvitiia infokommunikatsii i podkhody k otsenke vneshnei sotsial'no-ekonomicheskoi effektivnosti otraslevoi infrastruktury* [The Nature and types of externalities of information and communication development and approaches to the assessment of external socio-economic efficiency of the industry infrastructure]. *Age of Quality*, 2017, no. 2, pp. 72-83 (in Russian).

26. Ekonomicheskaia teoriia. Mikroekonomika – 1, 2 [Economic theory. Microeconomics – 1, 2]. Moscow, Dashkov and Co. Publ., 2014. 934 p. (in Russian).

27. Afanasyev M. P., Shash N. N. *Instrumentarii otsenki effektivnosti biudzhetnykh programm* [The tools for evaluating the efficiency of budget programs]. *Voprosy gosudarstvennogo i munitsipal'nogo upravleniia*, 2013, no. 3, pp. 48-69 (in Russian).

28. Kolomak E. A. *Effektivnost' infrastrukturnogo kapitala v Rossii* [The Efficiency of infrastructure capital in Russia]. *Zhurnal novoi ekonomicheskoi assotsiatsii*, 2011, no. 10, pp. 74-93 (in Russian).

29. Kuzovkova T. A., Kuzovkov D. V., Kuzovkov A. D. *Kachestvennye metody otsenki effektivnosti innovatsii i razvitiia infokommunikatsii* [Qualitative methods for evaluating the effectiveness of innovations and development of information and communication technologies]. Moscow, "ID Media pablisher" Publ., 2016. 171 p. (in Russian).

30. Kuzovkova T. A., Sharavova O. I. *Prichiny formirovaniia novoi modeli biznesa v sfere infokommunikatsii* [Reasons for the formation of new business models in the field of information and communication]. *Age of Quality*, 2016, no. 2, pp. 40-51 (in Russian).

31. Azgaldov G. G., Kostin A. V., Sadovov V. V. *Kvalimetriya: pervonachalnie svedeniya. Spravochnoe posobie s primerom dlya ANO "Agentstvo strategicheskih iniciativ po prodvidzeniyu novih proektov* [Qualimetry: the first information. Reference example for ANO "Strategic initiatives agency for promotion of new projects"]. Moscow, Visshaya Shkola Publ., 2011. 143 p. (in Russian).

32. Golubkov E. P. *Tekhnologiia priniatiia upravlencheskikh reshenii* [The Technology of managerial decision-making]. Moscow, Business and Service Publ., 2005. 544 p. (in Russian).

33. Litvak B. G. *Ekspertnie tehnologii v upravlenii* [Expert technologies in management]. Moscow, Delo Publ., 2004. 400 p. (in Russian).

34. Fomin V. N. *Kvalimetriya. Upravlenie kachestvom. Sertifikaciya* [Qualimetry. Qualuity management. Sertifications]. Moscow, Os-89 Publ., 2007. 384 p. (in Russian).

35. Zherebin V. M., Alekseeva O. A., Ermakova N. A. *Tsifrovoi raskol kak novyi faktor sotsial'noi stratifikatsii* [Digital split as a new factor of social stratification]. *Voprosy statistiki*, 2015, no. 5, pp. 35-30 (in Russian).

36. *Osnovy gosudarstvennoi politiki Rossiiskoi Federatsii v oblasti kosmicheskoi deiatel'nosti na period do 2030 goda i dal'neishuiu perspektivu* [The foundations of state policy of the Russian Federation in the field of space activities for the period till 2030 and further prospect], approved by the President of the Russian Federation of 19 April 2013. № Pr-906. (in Russian).

37. Holstein B. S., Golyshko A. V. *Tsifrovoi raskol kak novyi faktor sotsial'noi stratifikatsii* [Virtual Testament]. *Vestnik sviazi*, 2015, no. 5, pp. 22-28. (in Russian).

38. Sharavova O. I. *Problemy otsenki finansovogo polozheniia virtual'nogo predpriiatiia* [Problems of assessing the financial position of the enterprise]. *Ekonomika i kachestvo sistem sviazi*, 2017, vol. 3, no. 1, pp. 16-24 (in Russian).

39. Sharavova O. I. Rynochnaia sreda infokommunikatsii i otraslevaia struktura rynka [Market environment of the telecommunications industry and market

structure]. *T-Comm: Telecommunications and Transport*, 2014, vol. 8, no. 7, pp. 92-94 (in Russian).

40. Kuzovkov D. V., Turaeva T. V., Kuzovkova T. A. *Economicheskaya ocenka effektivnosti investicij i innovacij v infocommunikaciyah* [Economic efficiency evaluation of investment and innovation in the infocommunications]. Moscow, ID Media Publisher Publ., 2013, 250 p. (in Russian).

41. Kuzovkov D. V. *Primenenie ekspertno-kvalimetricheskogo podhoda k ocenke effectivnosi innovacij i viboru postavschika oborudovaniya v sfere infokommunikacij* [Use of expert-qualimetric approach to efficiency evaluation of innovations and selection of equipment suppliers in the field of Infocommunications]. *Age of Quality*, 2009, no. 1, pp. 30-33 (in Russian).

42. Adzhemov A. S., Buydinov E. V., Kuzovkov D. V. *Primenenie ekspertno-kvalimetricheskogo metoda dlya obosnovaniya vibora effektivnih innovacij v sputnikovoj svyazi* [Use of expert-qualimetric method to justify the selection of effective innovation in satellite communications]. *Elektrosviaz*, 2015, no. 1, pp. 27-30 (in Russian).

43. Adzhemov A. S., Buydinov E. V., Kuzovkova T. A. *Primenenie integralnoj modeli dlya ocenki effectivnosti postroeniya sistemi sputnikovoj svyazi* [Use of integral model for evaluation of the effectiveness of building the satellite communications system]. *Elektrosviaz*, 2016, no. 4, pp. 25-29 (in Russian).

44. *Rossiiskii statisticheskii ezhegodnik* [Russian statistical Yearbook. 2016], Moscow, Rosstat Publ., 2016. 725 p. (in Russian).

45. *Prognoz dolgosrochnogo sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiia Rossiiskoi Federatsii do 2030 goda* [Forecast long-term socio-economic development of the Russian Federation until 2030], Moscow, Ministry Of Economic Development, 2015. Available at: http://base.garant.ru/70309010/ (accessed 27 December 2017) (in Russian).

46. *Stsenarnye usloviia dolgosrochnogo prognoza sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiia Rossiiskoi Federatsii do 2030 goda* [Scenario conditions of the long-term forecast of socio-economic development of the Russian Federation until 2030]. Moscow, Ministry Of Economic Development, 2012. 61 p. Available at: http://economy.gov.ru/minec/activity/ (accessed 27 December 2017) (in Russian).

47. The Economic Impact Commercial Space Transportation on the U.S. Economy: 2004. Federal Aviation Administration (FAA) Commercial Space Transporttion, February 2006 г. – 41 p.

48. Analytical report of the satellite industry Association (SIA) "Report on the state of the satellite industry", Washington, October 2013. Available at: http://www.sia.org (accessed 27 December 2017).

Статья поступила 28 декабря 2017 г.

Информация об авторах

Кузовкова Татьяна Алексеевна – доктор экономических наук, профессор кафедры экономики связи. Декан факультета экономики и управления. Московский технический университет связи и информатики. Область научных интере-

сов: экономика, статистика, мониторинг, прогнозирование и эффективность инфокоммуникаций. E-mail: tkuzovkova@me.com

Кузовков Дмитрий Валентинович – кандидат экономических наук, доцент кафедры экономики связи. Московский технический университет связи и информатики. Область научных интересов: экономика и развитие инфокоммуникаций, эффективность инноваций и инвестиций. E-mail: kuz_dim@mail.ru

Кузовков Александр Дмитриевич – аспирант кафедры экономики связи. Московский технический университет связи и информатики. Область научных интересов: экономика, статистика, эффективность инфокоммуникаций. E-mail: alexkuzovkov@mail.ru

Шаравова Ольга Ивановна – кандидат экономических наук, доцент кафедры экономики связи. Московский технический университет связи и информатики. Область научных интересов: экономика, финансы, эконометрика, прогнозирование и эффективность инфокоммуникаций. E-mail: olgasharavova@yandex.ru

Адрес: 111024, Россия, г. Москва, Авиамоторная ул., дом 8А.

Methodology of Infocommunication Development External Socio-Economic Efficiency Measurement

T. A. Kuzovkova, D. V. Kuzovkov, A. D. Kuzovkov, O. I. Sharavova

Statement of the problem. *Infocommunication industry is the most important segment of production and social infrastructures of the information society and its efficiency reveals mostly outside the industry itself and has a synergetic and multiplicative nature. Infocommunication industry efficiency features the economic sector and the quality of social life.* ***The purpose of this paper*** *is the development of practically applicable methodology for Infocommunication Development External Socio-Economic Efficiency Measurement (IDESEEM) based on qualitative parameter measurements.* ***Methods used:*** *externalities, non-branch efficiency, qualimetry, expert examinations, complex indicators construction, variation analysis statistical methods, expert opinion coordination.* ***Result.*** *The result is the formulating the IDESEEM methodology by the means of gross domestic product growth externalities measurements and non-branch efficiency measurements, saving of working time and leisure time of the population with subsequent transferring it into macroeconomic indicators.* ***Applicability.*** *Methodological tools for IDESEEM gives the opportunity to comprehensively consider external economic and social effects of infrastructure projects, to objectively determine the return in economic categories per unit of investments, to provide an evidence database for strategic decisions of information society socially important infrastructure sector innovative development.*

Key words: *infocommunication technologies, external socio-economic effects, externalities, non-branch efficiency, experts technology, macroeconomic assessment, the contribution of information and communication development.*

Information about Authors

Tatiana Alekseevna Kuzovkova – Dr. habil. of Economics Sciences. Professor of the Department of Economics of Communication. Dean of the faculty of Economics and Management. Moscow Technical University of Communications and Informatics. Research interests: Economics, statistics, monitoring, forecasting of infocommunications. E-mail: tkuzovkova@me.com

Dmitry Valentinovich Kuzovkov – Ph.D. of Economics Sciences, Associate Professor of the Department of Economics of communication. Moscow Technical University of Communications and Informatics. Research interests: Economics and development of infocommunications, efficiency of innovation and investment. E-mail: zhenchur@gmail.com

Alexander Dmitrievich Kuzovkov – Doctoral Student of the Department of Economics of Communication. Moscow Technical University of Communications and Informatics. Research interests: Economics, statistics, forecasting of infocommunications. E-mail: alexkuzovkov@mail.ru

Olga Ivanovna Sharavova – Ph.D. of Economics Sciences, Associate Professor of the Department of Communication Economics. Moscow Technical University of Communications and Informatics. Research interests: economics, finance, econometrics, forecasting and efficiency of Infocommunications. E-mail: olgasharavova@yandex.ru

Address: 111024, Russia, Moscow, Aviamotornaya str., 8A.

УДК 62–50

Динамико-автоматное моделирование потока исторических событий

Левин В. И.

Актуальность. *При количественном изучении исторических, экономических, социальных систем часто возникает необходимость математического моделирования таких систем на основе подходящих математических моделей. Причем от удачного подбора модели во многом зависит успех в изучении системы. В работе предложен новый метод математического моделирования исторических событий, основанный на использовании модели конечного динамического автомата.* ***Цель.*** *Целью работы является разработка полностью формализованного метода количественного изучения потоков исторических событий, основанного на математическом моделировании этого потока в рамках модели конечного динамического автомата.* ***Метод.*** *Предложенный метод заключается в построении динамико-автоматной модели изучаемого глобального потока исторических событий, складывающегося из некоторого числа аналогичных региональных потоков и последующего количественного изучения этого потока методами теории динамических автоматов. При этом региональные потоки исторических событий моделируются входными процессами автомата-модели, глобальный (суммарный) поток исторических событий – его выходным процессом, а соотношение региональных и глобального потоков - логической функцией автомата-модели.* ***Результат****. В статье показано, что эффективное количественное изучение потоков исторических событий можно проводить путем построения соответствующих математических моделей в виде конечных динамических автоматов и их последующего анализа методами аналитической динамики автоматов.* ***Выводы.*** *В статье предложен новый подход к количественному изучению исторических событий, основанный на автоматной модели потоков таких событий. Показана эффективность этого подхода. Приведен пример использования данного подхода для изучения конкретного трехкомпонентного потока исторических событий.*

Ключевые слова: *историческое событие, поток событий, количественное изучение событий, автоматная модель потока событий.*

1. Введение

За долгие годы существования человечество накопило богатый опыт эффективного применения математики сначала в естественных науках – физике, астрономии, химии, а затем в технике. Иначе обстояло дело в гуманитарных науках, где всегда были распространены словесные описания сложных явлений, что часто приводило к результатам, не поддающимся сравнительному анализу, не говоря уже о характере изложения – многословном и нередко неоднозначном по смыслу. Конечно, гуманитарные системы трудно поддаются количественному анализу, что вызвано присутствием в них человека, вносящего в поведение таких систем неопределенность. Однако «трудно» не значит «невозможно», и многие гуманитарные системы вполне поддаются описанию подходящими математическими средствами. Язык математики может логично, строго

Библиографическая ссылка на статью:
Левин В. И. Динамико-автоматное моделирование потока исторических событий // Системы управления, связи и безопасности. 2017. № 4. С. 166-182. URL: http://sccs.intelgr.com/archive/2017-04/07-Levin.pdf

Reference for citation:
Levin V. I. Automatic Modeling of a Stream of Historical Events. *Systems of Control, Communication and Security*, 2017, no. 4, pp. 166-182. Available at: http://sccs.intelgr.com/archive/2017-03/07-Levin.pdf (in Russian).

и однозначно выражать конструкции, которые прежде излагались только словесно. Более того, благодаря компактности, этот язык позволяет в ряде случаев вскрывать неизвестные ранее закономерности. Благодаря этим достоинствам математические методы за последние несколько десятилетий проникли в такие гуманитарные науки, как экономика, социология, психология, политология, лингвистика, литературоведение, история, право, менеджмент, экология и т. д. Спектр применяемых здесь математических средств сейчас очень широк, но их распределение между различными гуманитарными науками весьма неравномерно. Так, в экономике используют математический анализ, теорию вероятностей и математическую статистику, теорию оптимизации, графы и много других методов, в то время как в праве используется лишь математическая логика. По-видимому, мы находимся на этапе выработки наиболее необходимых для гуманитарных наук математических методов, подобных тем, которые в свое время были разработаны для естественных наук.

Положение исторической науки с точки зрения используемых в ней математических методов специфично – здесь наблюдается почти полное господство вероятностно-статистических методов [1]. Общеизвестны достоинства этих методов, позволяющих строго и обоснованно анализировать закономерности поведения разнообразных систем со случайными параметрами, имеющими некоторые распределения вероятностей [2]. Однако их применение к изучению исторических событий имеет ряд очевидных существенных недостатков. Во-первых, поведение человека как движущей силы исторического процесса следует характеризовать как не имеющее определенного распределения вероятностей, что связано со свободой его воли. Во-вторых, при повторении поведенческих актов человека невозможно обеспечить их независимость, так как человек всегда действует с учетом прошлого опыта. В то же время, фундамент теории вероятностей – понятие вероятности – вводится с использованием понятия последовательности независимых опытов, частота появления в которых данного события и определяет его вероятность. В-третьих, указанные опыты должны характеризоваться одинаковыми условиями их проведения, а это требование практически невыполнимо, как по отношению к отдельному человеку, так и к историческим событиям, происходящим с участием людей.

Таким образом, поиск новых математических методов, позволяющих адекватно моделировать процессы и объекты, изучаемые исторической наукой, является важной и актуальной задачей.

В настоящей работе излагается новый оригинальный метод математического моделирования исторического процесса, основанный на теории динамических конечных автоматов [3–5] и математическом аппарате непрерывной (бесконечнозначной) логики [6]. Указанные теория и аппарат разработаны в течение последних 25 лет, а технология их применения для моделирования различных (в основном, технических и экономических) систем – за последние 10 лет [7]. Достоинство разработанного метода заключается в его конструктивности, позволяющей свести проблему математического моделирования исторического процесса к хорошо изученной задаче нахождения отклика автомата-модели процесса на заданные входные воздействия. Все это делает данный ме-

тод простым и удобным как для практического применения, так и для целей обучения.

Изложение материала данной работы базируется на препринте, опубликованным ранее в виде работы [8]. Доработка ранее опубликованного материала проводилась в направлении усовершенствования математической модели и расчетных формул, что упростило использование предложенной методики и ее освоение гуманитариями.

2. Постановка задачи

Рассмотрим некоторое число n регионов (частей света, стран, областей и т. д.), в которых происходят однородные по своей природе исторические события – войны, восстания, образование новых и падение прежних государств, крупные эпидемии или экологические катастрофы и т. д. Каждый регион будем считать элементарным в том смысле, что одновременно в нем может происходить не более одного исторического события рассматриваемого вида. В соответствии с этим каждый i-й регион $(i = 1,2,..., n)$ можно охарактеризовать, задав такую последовательность временных интервалов $(a_{i1}, b_{i1}), (a_{i2}, b_{i2}),..., (a_{im_i}, b_{im_i})$, в каждом из которых происходит по одному событию, а вне их события не происходят. Здесь m_i – общее число интервалов для i-го региона, в которых происходили события изучаемого вида. Будем изучать суммарный поток событий, получаемый суммированием потоков событий в отдельных регионах. Нас будут интересовать, во-первых, различные количественные характеристики суммарного потока событий, определяющие распределение этого потока во времени и пространстве, и во-вторых, возможность анализа поведения суммарного потока, исходя из полученных данных о его текущем поведении (текущих количественных характеристиках).

3. Общие сведения о динамических автоматах и непрерывной логике

В 1971–72 гг. автором было показано, что для описания динамических процессов в конечных динамических автоматах адекватным математическим аппаратом является непрерывная логика в виде алгебры логики $\{C, \wedge, \vee\}$, где C – несущее множество в форме отрезка вещественных чисел $C = [A, B]$, $\vee = \max, \wedge = \min$ – непрерывно-логические операции над C, называемые соответственно дизъюнкцией и конъюнкцией. На этой базе была разработана аналитическая динамика конечных автоматов, позволяющая вычислять, компактно представлять, анализировать и синтезировать динамические процессы в сложных схемах автоматов при сложных входных воздействиях [3–5].

Рассмотрим простейший объект разработанной теории – динамический конечный автомат без памяти. Такой автомат имеет некоторое число n входов, на которые действуют двоичные сигналы $x_1,..., x_n$, принимающие значение 0 или 1; некоторое число m выходов, с которых снимаются двоичные сигналы $y_1,..., y_m$ со значениями 0 или 1. Зависимость выходных сигналов, действующих в произвольный момент времени, от действующих в тот же момент входных

сигналов задается с помощью соответствующей автомату системы булевых логических функций f_i, т. е.

$$y_i = f_i(x_1,...,x_n), \quad i = 1,2,...,m, \quad x_i, y_j \in \{0,1\}. \tag{1}$$

Реально и входные x_i, и выходные y_j сигналы автомата зависят от времени t, т. е. являются некоторыми двоичными процессами $x_i(t), y_j(t)$. При этом преобразование входных процессов в выходные осуществляется согласно (1), т. е.

$$y_i(t) = f_i[x_1(t),...,x_n(t)], \quad i = 1,2,...,m, \quad x_i(t), y_j(t) \in \{0,1\}. \tag{2}$$

Динамический конечный автомат без памяти может быть представлен структурно, так называемой асинхронной комбинационной схемой из логических элементов (реализующих элементарные булевы логические функции). Реакция, получаемая на выходе логического элемента в ответ на подаваемые на него входные процессы, называется динамическим процессом в элементе. Совокупность динамических процессов во всех элементах асинхронной комбинационной схемы называется динамическим процессом в этой схеме.

Задача расчета (анализа) динамики конечного динамического автомата без памяти заключается в нахождении (анализе) динамического процесса во всех узлах (в частности, на выходах) соответствующей асинхронной комбинационной схемы по заданным процессам на ее входах. Эта задача удобнее всего решается методом подстановок:

1) схема автомата разбивается на последовательные ступени глубиной в один логический элемент;
2) с помощью базовых операций непрерывной логики – дизъюнкции и конъюнкции – находятся соотношения F между входными и выходными процессами всех типов элементов схемы;
3) по заданным входным процессам схемы $x_1(t),...,x_n(t)$ и найденным соотношениям F определяются сначала процессы на выходах 1-й ступени, по ним – процессы на выходах 2-й ступени и т.д. и, наконец, процессы $y_1(t),...,y_m(t)$ на выходах всей схемы.

Моменты изменения сигнала во всех вычисленных процессах выражаются через моменты изменения сигнала в заданных входных процессах схемы, с помощью операций дизъюнкции и конъюнкции непрерывной логики.

В качестве примера приведем простейшие соотношения F между входными и выходными процессами двух двухвходовых логических элементов: дизъюнктора $(\vee)$ и конъюнктора $(\&)$, реализующих следующие булевы логические функции

$$\begin{aligned} x_1 \vee x_2 &= \begin{cases} 1, \text{ при } x_1 = 1 \text{ или } x_2 = 1; \\ 0, \text{ при } x_1 = x_2 = 0; \end{cases} \\ x_1 \,\&\, x_2 &= \begin{cases} 1, \text{ при } x_1 = x_2 = 1; \\ 0, \text{ при } x_1 = 0 \text{ или } x_2 = 0. \end{cases} \end{aligned} \tag{3}$$

Обозначим $0'_a$ изменение сигнала $1 \to 0$ в момент a; $1'_a$ – изменение сигнала $0 \to 1$ в момент a. Тогда указанные соотношения F запишутся в виде

$$\begin{array}{ll} 0 \vee 0'_a = 0'_a; & 1 \,\&\, 0'_a = 0'_a; \\ 0 \vee 1'_a = 1'_a; & 1 \,\&\, 1'_a = 1'_a; \\ 0'_a \vee 0'_b = 0'_{a \vee b}; & 0'_a \,\&\, 0'_b = 0'_{a \wedge b}; \\ 1'_a \vee 1'_b = 1'_{a \wedge b}; & 1'_a \,\&\, 1'_b = 1'_{a \vee b}. \end{array} \qquad (4)$$

В формулах (4) $a \vee b$ и $a \wedge b$ означают операции дизъюнкции и конъюнкции непрерывной логики.

4. Высокоразмерные динамические автоматы

Изложенная в § 3 процедура изучения динамики конечного динамического автомата без памяти значительно усложняется в случае высокой размерности автомата, т. е. когда число входов и/или выходов в реализующей его асинхронной комбинационной схеме велико, либо когда велико число изменений сигнала во входных процессах этой схемы. Для преодоления возникающего здесь «проклятия размерности» используют набор следующих приемов [4–6]:

1) канонизация входных воздействий схемы автомата, т. е. представление процессов на входах схемы в канонической (стандартной) форме, не зависящей от числа входов схемы и числа изменений сигнала во входных процессах;
2) введение специальных функций – логических определителей $D^r = \left|d_{ij}\right|^r$ различных рангов r от квазиматриц $D = \left\|d_{ij}\right\|$ с различными длинами строк – каждый такой определитель равен r-му по возрастанию элементу матрицы и может быть выражен соответствующей непрерывно-логической функцией.

Канонизация входных воздействий возможна только для схем, реализующих симметрические логические функции своих входов, т. е. функции, одинаково (симметрично) зависящие от всех своих аргументов и потому принимающие определенное значение лишь в соответствии с числом аргументов со значением 1, независимо от того, какие именно это аргументы. Однако это не ограничивает общности рассмотрения, так как любая асинхронная комбинационная схема может быть реализована только из логических элементов с симметрическими булевыми логическими функциями. Общая форма канонизации входных воздействий схемы формулируется в следующем виде.

Теорема 1. Любое воздействие в виде процессов $x_1(t),...,x_n(t)$ на n входах асинхронной комбинационной схемы, реализующей на всех выходах симметрические булевы логические функции входов, можно представить однозначно эквивалентной, с точки зрения получаемых реакций на выходах, совокупностью свободных (т. е. допускающих перенос с любого входа на любой другой вход) импульсов $1(a^r, b^r)$, $r = 1,..., M$ в интервалах (a^r, b^r), упорядоченных во времени линейно согласно $1(a^1, b^1) \le 1(a^2, b^2) \le 1(a^M, b^M)$. Здесь a^r – момент r-го по возрастанию изменения сигнала вида $0 \to 1$, b^r – момент r-го по возрастанию изменения сигнала $1 \to 0$ в системе $x_1(t),...,x_n(t)$ входных процессов, а M – общее число изменения каждого вида.

Теорема 1 позволяет разбить время на последовательные интервалы с постоянным числом свободных входных импульсов (т. е. с постоянным значением выходного сигнала y) в каждом интервале. После этого для нахождения выходного процесса асинхронной комбинационной схемы $y(t)$ остается лишь вычислить его значения в какой-то одной точке каждого интервала. Указанное разбиение времени на последовательные интервалы дает в качестве границ интервалов моменты a^r и b^r начала и окончания свободных входных импульсов схемы. Однако из теоремы 1 следует, что момент a^r равен логическому определителю $\left|a_{ij}\right|^r$ ранга r от квазиматрицы $\left\|a_{ij}\right\|$, где a_{ij} – момент j-го по порядку изменения сигнала вида $0 \to 1$ во входном процессе $x_i(t)$ на i-м входе схемы. Аналогично момент b^r равен логическому определителю $\left|b_{ij}\right|^r$ ранга r от квазиматрицы $\left\|b_{ij}\right\|$, где b_{ij} – момент j-го по порядку изменения сигнала вида $1 \to 0$ во входном процессе $x_i(t)$ на i-м входе схемы. Таким образом, выходной процесс любой асинхронной комбинационной схемы, реализующей произвольную симметрическую булеву логическую функцию своих входов, можно всегда выразить с помощью логических определителей $A^r = \left|a_{ij}\right|^r, B^r = \left|b_{ij}\right|^r$, различных рангов r от квазиматрицы $A = \left\|a_{ij}\right\|$ моментов изменений сигнала вида $0 \to 1$ во всех входных процессах схемы и квазиматрицы $B = \left\|b_{ij}\right\|$ моментов изменений сигнала вида $1 \to 0$ в указанных процессах.

Рассмотрим конечный динамический автомат без памяти, реализованный в виде асинхронной комбинационной схемы с произвольным числом входов n и одним выходом, на котором реализуется базовая симметрическая булева логическая функция входов f_n^r некоторого индекса r. В этом случае по определению данной функции значения входов схемы $x_1,...,x_n$ и ее выхода y связаны соотношением

$$y_r = f_n^r(x_1,...,x_n) = \begin{cases} 1, \text{если ровно} r \text{ из} n \text{ переменных} x_i = 1, \\ 0, \text{в противном случае } (r = 0,...,n). \end{cases} \quad (5)$$

Пусть на входы рассматриваемой схемы действуют произвольные двоичные процессы $x_1(t),...,x_n(t)$ в виде следующих последовательностей импульсов $1(a,b)$ в интервалах (a,b) и промежуточных пауз $0(\cdot)$ между импульсами

$$x_i(t) = 1(a_{i1}, b_{i1})0(-,-)1(a_{i2}, b_{i2})0(-,-)...1(a_{im_i}, b_{im_i}), \quad i = 1,...,n. \quad (6)$$

Тогда на выходе этой схемы появится следующий двоичный процесс, также имеющий вид последовательности импульсов и пауз

$$\begin{aligned} y_r(t) = {} & 1(A^r \wedge B^1, A^{r+1} \wedge B^1)0(-,-)1[(A^{r+2} \wedge B^1) \vee (A^{r+1} \wedge B^2), \\ & A^{r+2} \wedge B^2]...1[(A^M \wedge B^{M-r-1}) \vee (A^{M-1} \wedge B^{M-r}), A^M \wedge B^{M-r}] \\ & 0(-,-)1[(B^{M-r} \vee (A^M \wedge B^{M-r+1}), B^{M-r+1}], \quad r = 0,1,...,n. \end{aligned} \quad (7)$$

В формуле (7) A^m, B^m – указанные выше характеристические логические определители различных рангов m, характеризующие входные воздействия

схемы (6), $\vee$ и $\wedge$ – операции дизъюнкции и конъюнкции непрерывной логики, $M=\sum_{i=1}^{n} m_i$ общее число импульсов во всех входных воздействиях. Как видно из (7), общее число импульсов в реакции схемы с реализуемой функцией f_n^r на входные воздействия (6) в общем случае равно $M-r+1$.

5. Автоматная модель потока исторических событий

Применим теперь описанную в § 3, 4 математическую модель конечного динамического автомата без памяти для математического моделирования потока исторических событий в рамках задачи, поставленной в § 2. Для нахождения количественных характеристик суммарного потока событий поставим во взаимно-однозначное соответствие заданному потоку событий в любом i-м регионе двоичный процесс-индикатор $x_i(t), i=1,...,n$, где переменная $x_i=1$ означает наличие события в i-м регионе в соответствующий момент времени t, а $x_i=0$ – его отсутствие. Аналогично, изучаемый суммарный поток событий исчерпывающе характеризуется набором двоичных процессов-индикаторов $y_s(t), s=0,1,...,n$, где переменная $y_s=1$ означает, что суммарный поток событий в данный момент времени t содержит s одновременно происходящих событий, а $y_s=0$ – что суммарный поток в этот момент содержит другое, отличное от s, число одновременно происходящих событий. Двоичные процессы $y_s(t)$ естественно называть спектральными временными функциями суммарного потока событий, так как временные интервалы их единичных значений – это интервалы, в которых суммарный поток содержит определенное число s одновременно происходящих событий. Вектор $Y(t)=[y_0(t), y_1(t),..., y_n(t)]$, состоящий из всех спектральных функций, назовем *спектром суммарного потока событий*. Спектр обладает свойством ортогональности: $y_p(t)\cdot y_q(t)=0$ при $p\neq q$. Более того, в любой момент времени t из $n+1$ слагаемых спектральных функций $y_s(t)$ только одна равна 1, а все остальные равны 0.

Кроме спектра, суммарный поток событий можно исчерпывающе охарактеризовать $(n+1)$-ичной функцией потока $y(t)$, принимающей значения $0,1,...,n$, причем $y=k$ означает, что суммарный поток в данный момент времени t содержит k одновременно происходящих событий. Причем оба способа количественного описания суммарного потока событий эквивалентны. Так что по спектру можно всегда вычислить функцию потока, воспользовавшись очевидной формулой

$$y(t)=\sum_{s=1}^{n} s y_s(t) \ . \tag{8}$$

В свою очередь, имея функцию потока, всегда можно вычислить его спектр. Для этого служит следующая формула, вытекающая из определения спектра

$$y(t)=\begin{cases} 1, \text{если } y(t)=s; \\ 0, \text{если } y(t)\neq s. \end{cases} \tag{9}$$

Итак, для исчерпывающего описания суммарного потока событий достаточно определить либо его спектр, либо его функцию потока. Выберем первое. Для определения спектра $[y_0(t),...,y_n(t)]$ суммарного потока событий построим соответствующую автоматную модель. Прежде всего, учтем, что согласно условию задачи в любом i-м регионе в любой момент времени может совершаться только одно интересующее нас событие, либо не совершаться ни одного события. Поэтому для того, чтобы в любой взятый момент времени суммарный поток от всех n регионов содержал s одновременно происходящих событий, необходимо и достаточно, чтобы ровно в s из n регионов в этот момент происходило это событие. Отсюда следует, что зависимость неизвестных двоичных переменных состояния системы $y_0,...,y_n$ от заданных двоичных переменных состояния регионов $x_1,...,x_n$ можно выразить посредством симметрических булевых логических функций f_n^r вида (5)

$$y_s(t) = f_n^s(x_1,...,x_n), \quad s = 0,1,...,n, \quad x_i, y_s \in \{0,1) \tag{10}$$

Набор булевых логических функций состояния изучаемой системы (10) есть математическая модель этой системы. Как следует из § 3, построенная модель представляет собой некоторый конечный динамический автомат без памяти, реализуемый в виде соответствующей асинхронной комбинационной схемы с n входами и $n+1$ выходами. На входы этой схемы-модели подаются заданные двоичные процессы-индикаторы $x_1(t),...,x_n(t)$, моделирующие известное распределение во времени исторических событий в соответствующих регионах $1,...,n$, а с выходов снимаются подлежащие определению двоичные спектральные функции $y_0(t),...,y_n(t)$ искомого суммарного потока событий $y(t)$, по которым с помощью формулы (8) можно определить и сам поток.

6. Вычисление параметров потока исторических событий по его автоматной модели

В соответствии с построенной в § 5 автоматной моделью системы поставленная задача определения двоичных процессов $y_0(t),...,y_n(t)$ – спектральных функций искомого суммарного потока событий, по известным двоичным процессам $x_1(t),...,x_n(t)$, которые задают потоки исторических событий в соответствующих регионах, сводится к стандартной задаче динамической теории автоматов. Эта задача – расчет динамических процессов $y_0(t),...,y_n(t)$ на выходах конечного динамического автомата без памяти – модели нашей системы, по построенной асинхронной комбинационной схеме, реализующей этот автомат, и заданным входным процессам этой схемы $x_1(t),...,x_n(t)$. Последние, как следует из постановки задачи (§ 2) имеют вид (6). Эту задачу решаем методом подстановок (§ 3). Шаг 1, предусмотренный методом, здесь не требуется, т. к. схема содержит только одну ступень. Шаг 2 уже выполнен в § 4, где найдены соотношения (7) между входными и выходными процессами типовых элементов с реализуемыми булевыми логическими функциями $f_n^r, r = 0,1,...,n$, составляющих схему. Остается выполнить шаг 3, для чего достаточно в соотношениях (7)

последовательно положить $r = 0,1,2,...,n$ и произвести необходимые упрощения в получаемых выражениях выходных динамических процессов $y_0(t), y_1(t),..., y_n(t)$, учитывая простейшие общие свойства операций непрерывной логики и логических определителей A^r, B^r

$$A^r \wedge B^R = A^r,\ A^r \vee B^R = B^R,\ \text{при}\ r \le R;\ A^0 = -\infty,\ B^{M+1} = \infty. \qquad (11)$$

В результате получим следующие выражения указанных процессов в виде последовательностей импульсов $1(a,b)$ в интервалах (a,b) и промежуточных пауз $0(\cdot)$ между импульсами:

$$\begin{aligned}
y_0(t) &= 1(-\infty, A^1)0(-,-)1(A^2 \wedge B^1, A^2)\cdots 1(A^M \wedge B^{M-1}, A^M)0(-,-)\\
&\quad 1(B^M, \infty),\\
y_1(t) &= 1(A^1, A^2 \wedge B^1)0(-,-)1[(A^3 \wedge B^1) \vee A^2, A^3 \wedge B^2]...1[(A^M \wedge\\
&\quad \wedge B^{M-2}) \vee A^{M-1}, A^M \wedge B^{M-1}]0(-,-)1(B^{M-1} \vee A^M, B^M),\\
y_2(t) &= 1(A^2 \wedge B^1, A^3 \wedge B^1)0(-,-)1[(A^4 \wedge B^1) \vee (A^3 \wedge B^2), A^4 \wedge B^2]...\\
&\quad ...1[(A^M \wedge B^{M-3}) \vee (A^{M-1} \wedge B^{M-2}), A^M \wedge B^{M-2}]0(-,-)\\
&\quad 1[B^{M-2} \vee (A^M \wedge B^{M-1}), B^{M-1}],\\
y_3(t) &= 1(A^3 \wedge B^1, A^4 \wedge B^1)0(-,-)1[(A^5 \wedge B^1) \vee (A^4 \wedge B^2), A^5 \wedge B^2]...\\
&\quad ...1[(A^M \wedge B^{M-4}) \vee (A^{M-1} \wedge B^{M-3}), A^M \wedge B^{M-3}]0(-,-)\\
&\quad 1[B^{M-3} \vee (A^M \wedge B^{M-2}), B^{M-2}],\\
&\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\\
y_n(t) &= 1(A^n \wedge B^1, A^{n+1} \wedge B^1)0(-,-)1[(A^{n+2} \wedge B^1) \vee (A^{n+1} \wedge B^2),\\
&\quad A^{n+2} \wedge B^2]...1[(A^M \wedge B^{M-n-1}) \vee (A^{M-1} \wedge B^{M-n}), A^M \wedge\\
&\quad \wedge B^{M-n}]0(-,-)1[B^{M-n} \vee (A^M \wedge B^{M-n+1}), B^{M-n+1}].
\end{aligned} \qquad (12)$$

В выражениях (12) $A^r = |a_{ij}|^r, B^r = |b_{ij}|^r$ – введенные в § 4 характеристические логические определители различных рангов r, характеризующие входные воздействия $x_1(t),...,x_n(t)$ вида (6) схемы, $\vee$ и $\wedge$ – операции дизъюнкции и конъюнкции непрерывной логики, $M = \sum_{i=1}^{n} m_i$ – общее число импульсов во всех входных воздействиях, т. е. общее число событий со всех регионах. В терминах изучаемых исторических событий a_{ij} означает момент начала j-го по порядку события в i-м регионе, b_{ij} означает момент его окончания, m_i – число событий в i-м регионе, $M = \sum_{i=1}^{n} m_i$ – общее число событий во всех регионах.

Полученные выше выражения (12) выходных динамических процессов $y_0(t),...,y_n(t)$ автомата-модели суммарного потока событий дают полное решение поставленной в § 2 задачи количественного изучения этого потока. А именно, интервалы времени, в которых произвольный выходной процесс $y_s(t)$, $s = 0,1,...,n$, равен 1, есть именно те интервалы, в которых суммарный поток событий содержит ровно s одновременно происходящих событий – по одному в каждом из s каких-то регионов. Таким образом, зная эти процессы, можно определять любые количественные характеристики суммарного потока событий. В частности, по найденным процессам можно с помощью формулы (8) вы-

числить функцию потока $y(t)$. Возможно также нахождение любых других количественных характеристик этого потока. Важнейшими из них являются, по-видимому, характеристики временной плотности суммарного потока событий. Введем эти характеристики суммарного потока событий в виде двух семейств векторов: векторов U_s моментов начала и векторов V_s моментов окончания интервалов с постоянным числом s происходящих событий (с постоянной плотностью s). При этом вектор U_s равен

$$U_s = (U_{s1}, U_{s2}, ..., U_{sk_s}), \quad s = 0,1,...,n. \tag{13}$$

В (13) $U_{si}, i = 1,2,...,k_s$ означает момент начала очередного i-го по порядку интервала времени, в котором суммарный поток событий имеет плотность s, т. е. содержит ровно s одновременно происходящих событий. Аналогично вектор V_s равен

$$V_s = (V_{s1}, V_{s2}, ..., V_{sk_s}), \quad s = 0,1,...,n. \tag{14}$$

В (14) $V_{si}, i = 1,2,...,k_s$ означает момент окончания очередного i-го по порядку, интервала времени, в котором суммарный поток событий имеет плотность s, т. е. содержит ровно s одновременно происходящих событий. Для нахождения семейств векторов моментов начала и моментов окончания интервалов постоянной плотности суммарного потока событий достаточно учесть, что момент начала (окончания) i-го по порядку интервала времени, в котором суммарный поток событий содержит ровно s одновременно происходящих событий, есть момент начала (окончания) i-го по порядку импульса в выходном динамическом процессе $y_s(t)$ автомата-модели системы. Используя теперь выражения (12) процессов $y_s(t)$, где явно даны моменты начала и окончания всех импульсов, получим явные выражения характеристик временной плотности суммарного потока событий

$$\begin{aligned}
&U_0 = (-\infty, A^2 \wedge B^1, ..., A^M \wedge B^{M-1}, B^M),\\
&U_1 = (A^1, (A^3 \wedge B^1) \vee A^2, ..., (A^M \wedge B^{M-2}) \vee A^{M-1}, B^{M-1} \vee A^M),\\
&U_2 = (A^2 \wedge B^1, (A^4 \wedge B^1) \vee (A^3 \wedge B^2), ..., (A^M \wedge B^{M-3}) \vee\\
&\quad \vee (A^{M-1} \wedge B^{M-2}), B^{M-2} \vee (A^M \wedge B^{M-1})),\\
&U_3 = (A^3 \wedge B^1, (A^5 \wedge B^1) \vee (A^4 \wedge B^2), ..., (A^M \wedge B^{M-4}) \vee\\
&\quad \vee (A^{M-1} \wedge B^{M-3}), B^{M-3} \vee (A^M \wedge B^{M-2})),\\
&\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\\
&U_n = (A^n \wedge B^1, (A^{n+2} \wedge B^1) \vee (A^{n+1} \wedge B^2), ..., (A^M \wedge B^{M-n-1}) \vee\\
&\quad \vee (A^{M-1} \wedge B^{M-n}), B^{M-n} \vee (A^M \wedge B^{M-n+1}));
\end{aligned} \tag{15}$$

$$\begin{aligned}
&V_0 = (A^1, A^2, \cdots, A^M, \infty),\\
&V_1 = (A^2 \wedge B^1, A^3 \wedge B^2, ..., A^M \wedge B^{M-1}, B^M),\\
&V_2 = (A^3 \wedge B^1, A^4 \wedge B^2, ..., A^M \wedge B^{M-2}, B^{M-1}),\\
&V_3 = (A^4 \wedge B^1, A^5 \wedge B^2, ..., A^M \wedge B^{M-3}, B^{M-2}),\\
&\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\\
&V_n = (A^{n+1} \wedge B^1, A^{n+2} \wedge B^2, ..., A^M \wedge B^{M-n}, B^{M-n+1}).
\end{aligned} \tag{16}$$

Из характеристик временной плотности суммарного потока событий в виде векторов U_s (15) моментов начала и векторов V_s (16) моментов окончания интервалов постоянной плотности s этого потока можно получить другую характеристику временной плотности указанного потока – длительность интервалов постоянной плотности потока. Введем данную характеристику в виде семейства векторов W_s длительности интервалов постоянной плотности s, т. е. интервалов, содержащих то или иное фиксированное число s одновременно происходящих событий. При этом вектор

$$W_s = (W_{s1}, W_{s2}, ..., W_{sk_s}), \quad s = 0,1,...,n, \tag{17}$$

где $W_{si}, i = 1,2,...,k_s$ означает длительность очередного i-го по порядку интервала времени, в котором суммарный поток событий содержит ровно s одновременно происходящих событий. Ясно, что

$$W_{si} = V_{si} - U_{si}, \quad s = 0,1,...,n, \quad i = 1,2,...,k_s, \tag{18}$$

где U_{si} – моменты начала вычисляемых интервалов, являющиеся соответствующими i-ми элементами векторов U_s (15), а V_{si} – моменты окончания этих интервалов, являющиеся i-ми элементами векторов V_s (16).

Совмещая характеристики U_s, V_s, и W_s, получим сводную характеристику временной плотности суммарного потока событий в виде векторов P_s – координат интервалов постоянной плотности s потока и длительности этих интервалов. При этом новая характеристика представляется в виде векторов

$$\begin{aligned} P_s = ((U_s, V_s) \mid W_s) = ((U_{s1}, V_{s1}) \mid W_{s1}, (U_{s2}, V_{s2}) \mid W_{s2}, ... \\ ..., (U_{sk_s}, V_{sk_s}) \mid W_{sk_s}), \quad s = 0,1,...,n, \end{aligned} \tag{19}$$

каждый i-й элемент которых содержит i-й интервал (U_{si}, V_{si}) постоянной плотности s суммарного потока событий, т. е. моменты начала U_{si} и окончания V_{si} этого интервала и длительности этого интервала W_{si}.

Исходя из рассмотренных выше абсолютных характеристик суммарного потока событий, можно определить ряд относительных и усредненных характеристик. В первую очередь это доля времени a_k, в течение которой плотность (число одновременно происходящих событий) суммарного потока событий равна данной фиксированной величине $k, k = 0,1,...,n$, а также среднее число $\bar{s}$ одновременно происходящих событий за изучаемый период времени. Введенные характеристики вычисляются по формулам

$$a_s = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^{k_s} W_{si}, \tag{20}$$

где W_{si} берутся из (17)–(19), а T – длительность изучаемого периода времени, равная

$$T = \bigvee_{s=1}^{n} U_{sk_s} - \bigwedge_{s=1}^{n} U_{sk_s}, \tag{21}$$

где U_{sk_s}, V_{sk_s} берутся из (19), а $\vee$ и $\wedge$ – операции дизъюнкции и конъюнкции непрерывной логики (§ 3).

Характеристика $\bar{s}$ вычисляется по формуле

$$\bar{s} = \sum_{s=0}^{n} s a_s \ . \tag{22}$$

7. Иллюстративный пример

В стране Асолия постоянно неспокойно – три ее провинции: Юго-Восточную, Восточную и Северо-Восточную периодически потрясают восстания, с трудом подавляемые властями. За последние 50 лет таких восстаний было 9. Они продолжались 1) в Юго-Восточной провинции с 2050-го до 2058-го, затем с 2067-го до 2079-го и, наконец, с 2088-го до 2100-го года, 2) в Восточной провинции с 2054-го до 2062-го, с 2070-го до 2077-го и с 2082-го до 2093-го года, 3) В Северо-Восточной – с 2052-го до 2061-го, затем с 2065-го до 2074-го и с 2085-го до 2096-го года. Вычислим и проанализируем суммарный поток восстаний в стране Асолия.

Используем формулы частот суммарного потока (15) и формулы его длительностей (16). Для этого вычислим сначала входящие в эти формулы логические определители A^p, B^p, различных рангов p от квазиматриц $A = \|a_{ij}\|$ и $B = \|b_{ij}\|$. Эти квазиматрицы состоят из моментов начала a_{ij} и окончания b_{ij} восстаний j в провинциях i и при выше принятой нумерации провинций имеют вид

$$A = \begin{Vmatrix} 2050 & 2067 & 2088 \\ 2054 & 2070 & 2082 \\ 2052 & 2065 & 2085 \end{Vmatrix}, \quad B = \begin{Vmatrix} 2058 & 2079 & 2100 \\ 2062 & 2077 & 2093 \\ 2061 & 2074 & 2096 \end{Vmatrix}.$$

Теперь логические определители A^p, B^p, находим как p-е по возрастанию элементы соответствующих квазиматриц

$$A^p = \begin{cases} 2050, p=1, \\ 2052, p=2, \\ 2054, p=3, \\ 2065, p=4, \\ 2067, p=5, \\ 2070, p=6, \\ 2082, p=7, \\ 2085, p=8, \\ 2088, p=9, \end{cases} \qquad B^p = \begin{cases} 2058, p=1, \\ 2061, p=2, \\ 2062, p=3, \\ 2074, p=4, \\ 2077, p=5, \\ 2079, p=6, \\ 2093, p=7, \\ 2096, p=8, \\ 2100, p=9. \end{cases}$$

Отсюда, учитывая, что в нашем случае число регионов (провинций) $n = 3$, число событий (восстаний) в них $m_1 = m_2 = m_3 = 3$, общее число событий $M = \sum_{i=1}^{3} m_i = 9$, по формулам (15) находим векторы U_s моментов начала интервалов постоянной плотности s суммарного потока восстаний

$$U_0 = (-\infty,\ 2052, 2054, 2062, 2067, 2070, 2079, 2085, 2088, 2100),$$
$$U_1 = (2050, 2054, 2061, 2065, 2070, 2077, 2082, 2088, 2096),$$
$$U_2 = (2052, 2058, 2062, 2067, 2074, 2079, 2085, 2093),$$
$$U_3 = (2054, 2061, 2062, 2070, 2077, 2079, 2088),$$

и по формулам (16) – векторы V_s моментов окончания этих интервалов

$$V_0 = (2050, 2052, 2054, 2065, 2067, 2070, 2082, 2085, 2088, \infty),$$
$$V_1 = (2052, 2054, 2062, 2067, 2070, 2079, 2085, 2088, 2100),$$
$$V_2 = (2054, 2061, 2062, 2070, 2077, 2079, 2088, 2096),$$
$$V_3 = (2058, 2061, 2062, 2074, 2077, 2079, 2093).$$

Наконец, по формулам (17), (18) находим векторы W_s длительностей интервалов постоянной плотности s в суммарном потоке

$$W_0 = (\infty, 0, 0, 3, 0, 0, 3, 0, 0, \infty),$$
$$W_1 = (2, 0, 1, 2, 0, 2, 3, 0, 4),$$
$$W_2 = (2, 3, 0, 3, 3, 0, 3, 3),$$
$$W_3 = (4, 0, 0, 4, 0, 0, 5).$$

Совместив характеристики U_s, V_s, и W_s, согласно (19), получим сводную характеристику временной плотности суммарного потока восстаний

$$p_0 = ((-\infty,2050)|\infty, (2052,2052)|0, (2054,2054)|0, (2062,2065)|3, (2067,2067)|0, (2070,2070)|0, (2079,2082)|3, (2085,2085)|0, (2088,2088)|0, (2100,\infty)|\infty),$$
$$p_1 = ((2050,2052)|2, (2054,2054)|0, (2061,2062)|1, (2065,2067)|2, (2070,2070)|0, (2077,2079)|2, (2082,2085)|3, (2088,2088)|0, (2096,2100)|4),$$
$$p_2 = ((2052,2054)|2, (5058,2061)|3, (2062,2062)|0, (2067,2070)|3, (2074,2077)|3, (2079,2079)|0, (2085,2088)|3, (2093,2096)|3),$$
$$p_3 = ((2054,2058)|4, (2061,2061)|0, (2062,2062)|0, (2070,2074)|4, (2077,2077)|0, (2079,2079)|0, (2088,2093)|5),$$

или после исключения вырожденных интервалов (U_{si}, V_{si}), т. е. интервалов с совпадающими моментами начала U_{si} и конца V_{si} и нулевой длительностью W_s,

$$p_0 = ((-\infty,2050)|\infty, (2062,2065)|3, (2079,2082)|3, (2100,\infty)|\infty),$$
$$p_1 = ((2050,2052)|2, (2061,2062)|1, (2065,2067)|2, (2077,2079)|2, (2082,2085)|3, (2096,2100)|4),$$
$$p_2 = ((2052,2054)|2, (5058,2061)|3, (2067,2070)|3, (2074,2077)|3, (2085,2088)|3, (2093,2096)|3),$$
$$p_3 = ((2054,2058)|4, (2070,2074)|4, (2088,2093)|5).$$

Таблица 1

Интервалы времени t	Значения $y(t)$
(–∞, 2050)	0
(2050, 2052)	1
(2052, 2054)	2
(2054, 2058)	3
(2058, 2061)	2
(2061, 2062)	1
(2062, 2065)	0
(2065, 2067)	1

Интервалы времени t	Значения $y(t)$
(2067, 2070)	2
(2070, 2074)	3
(2074, 2077)	2
(2077, 2079)	1
(2079, 2082)	0
(2082, 2085)	1
(2085, 2088)	2
(2088, 2093)	3
(2093, 2096)	2
(2096, 2100)	1
(2100, ∞)	0

Как следует из полученных выражений, в стране Асолия за последние $T = 50$ лет – с 2050-го до 2100-го гг. – лишь на протяжении двух интервалов времени: с 2062-го до 2065-го и с 2079-го до 2082-го гг., каждый длительностью 3 года (общая длительность 6 лет), не было ни одного восстания; в то же время на протяжении 6 интервалов, длительностью соответственно 2, 1, 2, 2, 3, 4 лет (общая длительность 14 лет) в стране происходило одно восстание, на протяжении 6 интервалов, длительностью соответственно 2,,3, 3, 3, 3, 3 года (общая длительность 17 лет), происходило одновременно два восстания, на протяжении 3 интервалов, длительностью соответственно 4, 4, 5 лет (общая длительность 13 лет), происходило одновременно 3 восстания. Таким образом, доли времени a_s с плотностью (числом одновременно происходящих) восстаний s по формуле (20) равны:

$$a_0 = 6/50 = 0{,}12,\ a_1 = 14/50 = 0{,}28,$$
$$a_2 = 17/50 = 0{,}34,\ a_3 = 13/50 = 0{,}26.$$

Среднее число одновременно происходящих восстаний за изучаемый период времени согласно формуле (22) равно

$$\bar{s} = \sum_{s=0}^{3} s a_s = 1 \cdot 0{,}28 + 2 \cdot 0{,}34 + 3 \cdot 0{,}26 = 1{,}74.$$

Вычислим еще функцию потока восстаний $y(t)$. По формуле (8), учитывая, что спектральные функции $y_s(t)$ в рассматриваемом примере выражаются векторами p_s, получим таблицу 1 значений $y(t)$ функции $y(t)$.

Итак, лишь на протяжении 12% от рассматриваемого 50-летнего периода времени в стране Асолия спокойно, зато на протяжении 88% этого времени в ней происходят восстания – в среднем 1,74 восстания одновременно. При этом плотность восстаний периодически становится максимально возможной. Такую ситуацию естественно считать весьма неустойчивой.

Заключение

Предложенная новая математическая модель потока однородных исторических событий – динамический конечный автомат, совместно с адекватным математическим аппаратом изучения динамических автоматов – непрерывной

логикой и логическими определителями – позволяет выполнять в символической форме расчет разнообразных количественных характеристик потока. Это открывает возможность детального анализа временных закономерностей появления новых событий. Целесообразно в будущем использовать предложенную модель для прогнозирования моментов возникновения новых событий. Интересно и важно также распространить эту модель на случаи возможности неопределенных состояний исторического процесса, промежуточных между наступлением и ненаступлением исторического события.

Литература

1. Количественные методы в исторических исследованиях / Под ред. И.Д. Ковальченко – М.: Высшая школа, 1984. – 384 с.

2. Феллер В. Введение в теорию вероятностей и ее приложения. – М.: Мир, 1970.

3. Левин В. И. Введение в динамическую теорию конечных автоматов. – Рига: Зинатне, 1975.

4. Левин В. И. Динамика логических устройств и систем. – М.: Энергия, 1980.

5. Левин В .И. Теория динамических автоматов. – Пенза: Пензенский государственный технический университет, 1995.

6. Левин В. И. Бесконечнозначная логика в задачах кибернетики. – М.: Радио и связь, 1982.

7. Левин В. И. Теория автоматов и моделирование сложных систем. – Пенза: Пензенский государственный технический университет, 1995.

8. Левин В. И. Автоматное моделирование потоков исторических событий // Математическая морфология. 2001. – URL: http://sgma.alpha-design.ru/MMORPH/N7-html/LEVIN-4/levin-4.html

References

1. Kovalchenko I. D. (ed). *Kolichestvennye metody v istoricheskih issledovaniyah* [Quantitative Methods in Historical Research]. Moscow, Vysshaya Shkola Publ., 1984 (in Russian).

2. Feller W. *An Introduction to Probability Theory and Its Applications*. N.-Y., J. Wiley and Sons, 1971. 704 p.

3. Levin V. I. *Vvedenie v dinamicheskuyu teoriyu konechnyh avtomatov* [Introduction to Dynamical theory of Finite Automata]. Riga, Zinatne Publ., 1975 (in Russian).

4. Levin V. I. *Dinamika logicheskih ustroystv i system* [Dynamics of Logical Devices and Systems]. Moscow, Energiya Publ., 1980. (in Russian).

5. Levin V. I. *Teoriya dinamicheskikh avtomatov* [Theory of Dynamical Automata]. Penza, Penza State Technical University, 1995. (in Russian).

6. Levin V. I. *Beskonechnoznachnaya logika v zadachah kibernetiki* [Infinity-Valued Logic in Problems of Cybernetics]. Moscow, Radio i svyaz, 1982 (in Russian).

7. Levin V. I. *Teoriya avtomatov i modelirovanie slozhnihkh system* [Automata Theory and Modeling of Complex Systems]. Penza, Penza State Technical University, 1995. (in Russian).

8. Levin V. I. Avtomatnoe modelirovanie potokov istoricheskih sobytiy [Automata Modeling of Flows of Historical Events]. *Matematicheskaia morfologiia*, 2001. Avialable at: http://sgma.alpha-design.ru/MMORPH/N-7-html/LEVIN-4/levin-4.html (in Russian).

Статья поступила: 06 февраля 2018 г.

Левин Виталий Ильич – доктор технических наук, профессор, PhD, Full Professor. Заслуженный деятель науки РФ. Пензенский государственный технологический университет. Область научных интересов: логика; математическое моделирование в технике, экономике, социологии, истории; принятие решений; оптимизация; теория автоматов; теория надежности; распознавание; история науки; проблемы образования. E-mail: vilevin@mail.ru

Адрес: 440039, Россия, г. Пенза, пр. Байдукова/ул. Гагарина, д. 1а/11.

Automatic Modeling of a Stream of Historical Events

V. I. Levin

Relevance. *At quantitative studying of historical, economic, social systems need of mathematical modeling of such systems often evolves from suitable mathematical models. And success in studying of system in many respects depends on successful selection of model. In work the new method of mathematical modeling of historical events based on use of model of the finite-state dynamic machine is offered.* ***Purpose.*** *The purpose of work is development of completely formalized method of the quantitative studying of streams of historical events based on mathematical modeling of this stream within model of the finite-state dynamic machine.* ***Method.*** *The offered method consists in creation of dinamiko-automatic model of the studied global stream of historical events consisting of some number of similar regional streams and the subsequent quantitative studying of this stream by methods of the theory of dynamic automatic machines. At the same time regional streams of historical events are modelled by entrance processes of the automatic machine model, a global (total) stream of historical events – his output process, and a ratio regional and global streams - logical function of the automatic machine model.* ***Result.*** *In article it is shown that effective quantitative studying of streams of historical events can be carried out by creation of the corresponding mathematical models in the form of finite-state dynamic machines and their subsequent analysis by methods of analytical dynamics of automatic machines.* ***Conclusions.*** *In article the new approach to quantitative studying of historical events based on automatic model of streams of such events is offered. The efficiency of this approach is shown. The example of use of this approach for studying of a concrete three-component stream of historical events is given.*

Keywords: *historical event, stream of events, quantitative studying of events, automatic model of a stream of events.*

Information about Author

Vitaly Ilich Levin – Doctor of Technical Sciences, Full Professor. Honoured Scientist of Russia. Penza State Technological University. Field of Research: logic; mathematical modeling in technics, economics, sociology, history; decision making, optimization, recognition, automata theory, reliability theory, history of science, problems of education. E-mail: vilevin@mail.ru

Address: Russia, 440039, Penza, pr. Baydukova / Gagarin st., 1a/11.

Журнал «Системы управления, связи и безопасности» является научным рецензируемым периодическим электронным изданием. Цель журнала – максимально полное, оперативное и открытое информирование научной общественности об основных результатах научно-исследовательских работ в области теории управления, теории связи, теории безопасности, а также о новых тенденциях развития технологий соответствующих прикладных областей.

Периодичность выхода журнала – четыре номера в год.

Журнал «Системы управления, связи и безопасности» публикует только статьи, которые соответствуют основным тематическим разделам журнала:

1. Анализ новых технологий и перспектив развития систем управления, связи и безопасности.
2. Системы управления.
3. Интеллектуальные информационные системы.
4. Робототехнические системы.
5. Вычислительные системы.
6. Информационные процессы и технологии. Сбор, хранение и обработка информации.
7. Информационная безопасность.
8. Передача, прием и обработка сигналов. Радиоэлектронный мониторинг.
9. Системы связи и телекоммуникации.
10. Системы обеспечения безопасности.
11. Электронные и радиотехнические системы.
12. Моделирование сложных организационно-технических систем.
13. Объекты интеллектуальной собственности и инновационные технологии в области управления, связи и безопасности.

Публикация в журнале является научным печатным трудом.

Журнал включен в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (№2187 Перечня) по следующим группам специальностей: 05.11.00, 05.12.00, 05.13.00, 05.27.00, 20.00.00.

Подробный перечень научных специальностей, которые соответствуют тематике журнала, опубликован здесь.

Журнал доступен по адресу http://sccs.intelgr.com.

Архив выпусков журнала доступен по адресу http://sccs.intelgr.com/arch.html.

Правила для авторов

Материалы, представляемые в редакцию

1. Файл со статьей, оформленной по требованиям журнала.
2. Сканированную копию экспертного заключения об отсутствии в статье материалов, запрещенных к открытому опубликованию.
3. Авторы могут подготовить краткое сообщение рецензенту, дополнительно поясняющее отдельные элементы работы, их суть и новизну, рамки исследования, связь своей работы с имеющимися публикациями в предметной области. Данное сообщение необязательно, но, при его наличии, оно будет передано рецензенту вместе со статьей.

Порядок рецензирования и принятия статьи к публикации

1. Авторский коллектив представляет в редакцию статью и сопроводительные материалы на адрес sccs@intelgr.com.
2. Редакция осуществляет проверку материалов на предмет соответствия требованиям к оформлению и представлению результатов. При необходимости технической правки статьи авторы уведомляются об этом.
3. Если замечаний по оформлению статьи нет, она проверяется в сервисах, выявляющих плагиат, и с результатами проверки передается на рецензирование. Редакция уведомляет авторов о передаче статьи на рецензирование.
4. Порядок проверки на плагиат и выбор сервиса для проверки определяется редакцией самостоятельно. Для проверки на плагиат редакцией используются Интернет-сервисы Антиплагиат, TEXT, Content-watch, а также программы Etxt и Advego Plagiatus.
5. В случае положительного решения рецензентов о возможности публикации статьи авторы уведомляются об этом. В случае несовпадения мнений рецензентов о возможности публикации статьи, она передается на повторное рецензирование или рассматривается редакционной коллегией журнала, о чем уведомляется авторский коллектив. В случае решения рецензентов или редакционной коллегии журнала о невозможности публикации статьи авторы получают мотивированный отказ.
6. По решению рецензентов или редакционной коллегии статья может быть принята к публикации, но с доработками. В этом случае авторы должны в короткий срок переработать статью в соответствии с замечаниями рецензентов, либо дать мотивированный ответ по замечаниям. Если доработка статьи потребует значительного времени, авторы должны уведомить об этом редакцию.
7. После принятия статьи к публикации, авторы оплачивают редакционные расходы, связанные с публикацией статьи.
8. После оплаты редакционных расходов статья размещается в очередном номере журнала на сайте издательства. Авторы уведомляются о публикации их статьи по электронной почте.
9. После формирования очередного номера журнала данные об опубликованных в нем статьях в течение трех месяцев передаются в наукометрические базы учета научных публикаций.

Требования к оформлению статей, представляемых в редакцию

Пример оформления статьи доступен по адресу
http://sccs.intelgr.com/download/article.doc

1. Статья представляется в формате Word 97/2000/XP с расширением **doc**.
2. Рекомендуемый объем статьи – **до 50 страниц**. Объем может быть увеличен, если этого требует логика изложения материала.
3. Размер страницы – А4. Все поля (верхнее, нижнее, правое и левое) по 2 см.
4. Текст статьи набирается шрифтом Times New Roman, размер шрифта 14 pt, одинарный междустрочный интервал, абзацный отступ 1,25 см, отступы между абзацами отсутствуют. В основном тексте допускаются выделения курсивом. Латинские буквы для обозначения переменных набираются курсивом; греческие, русские буквы, функции – прямым шрифтом. Цифровые индексы в обозначениях набираются прямым шрифтом.
5. Статья должна начинаться с индекса УДК, выровненного по левому краю. После индекса УДК следует пропуск строки.
6. Название статьи должно точно и однозначно характеризовать содержание статьи. Название статьи – полужирным шрифтом, выравнивание по центру без абзацного отступа. **Название писать строчными (маленькими) буквами**, используя заглавные буквы только там, где это необходимо (в начале первого слова, в названиях, именах собственных, сокращениях и т.п.). Не рекомендуется использовать в названии сокращения, кроме общепринятых в соответствующей предметной области. Точка после заглавия НЕ ставится. После названия статьи следует пропуск строки.
7. Фамилии и инициалы авторов указываются через запятую в последовательности, соответствующей личному вкладу в написание статьи. Фамилии авторов выравниваются по центру страницы без абзацного отступа. Между фамилией и первым инициалом, а также между инициалами ставится неразрывный пробел (Ctrl+Shift+пробел). После фамилий авторов следует пропуск строки.
8. Аннотация выполняется на русском и английском языке в соответствии с рекомендациями по написанию авторского резюме. Оформление аннотации: размер шрифта **11pt**, курсив, абзацный отступ 1,25 см. Заголовки отдельных элементов в структуре аннотации выделяются жирным шрифтом. После аннотации следует пропуск строки.
9. Ключевые слова оформляются так же, как и аннотация, и должны содержать основные понятия и термины, употребляемые в статье. Ключевые слова должны формулироваться таким образом, чтобы при семантическом поиске по ним можно было найти данную статью потенциально заинтересованным ученым. После абзаца с ключевыми словами следует пропуск строки.
10. Для структуризации статьи рекомендуется основной текст разделить по частям, имеющим условные подзаголовки «Введение», «Постановка задачи» («Формализация задачи»), «Модель…» («Методика…», «Метод…»), «Результаты моделирования» («Обоснование…»), «Выводы». Подзаголовки выполняются полужирным шрифтом и выравниваются по центру страницы без абзацного отступа. Перед подзаголовками следует пропуск одной строки.
11. Таблицы выравниваются по центру без абзацного отступа. Текст внутри таблиц может выполняться шрифтом от 10pt до 14pt, в зависимости от степени информационной загрузки ячеек таблиц. Таблицы нумеруются по порядку упоминания, а их названия оформляются в виде «Таблица 1 – Название таблицы» и выравниваются по центру без абзацного отступа. Если таблица выполняется на

нескольких станицах, необходимо выставлять признак заголовка для первой строки с наименованиями столбцов, либо дублировать первую строку с наименованиями на следующей странице.

12. Рисунки выполняются в виде внедренных объектов векторной графики, выполненных в формате MS Visio (**vsd**) или в форматах метафайлов Windows (**wmf** или **emf**). В случае невозможности представления рисунков в векторном виде, рисунки выполняются в растровых форматах **jpg** или **png**. Нумерация рисунков последовательная по мере упоминания в статье в виде «Рис. 1. Название рисунка». Номер и название рисунка выравниваются по центру без абзацного отступа. До рисунка и после его названия вставляется пропуск строки. Допускается выполнение рисунков, расположенных параллельно друг другу на одном горизонтальном уровне. В этом случае рисунки и их названия помещаются в таблицу с прозрачными границами.

13. Формулы выполняются в редакторе формул MathType или Microsoft Equation 3.0. Формулы могут быть набраны в основном тексте со вставкой специальных математических символов через меню «Вставка-Символы». **Запрещается набирать формулы во встроенном редакторе формул Microsoft Office 2007 и выше**. Основной шрифт формул набираемых в MathType и Microsoft Equation 3.0, 14 pt. Формулы выравниваются по левому краю с абзацным отступом 2,5 см. При необходимости переноса формул используется общепринятая математическая запись переноса. Формулы, на которые есть ссылки в тексте статьи, должны быть пронумерованы. Номер формулы проставляется с правого края страницы. При оформлении формул, не следует вставлять дополнительные пропуски строки до и после формул.
14. Для облегчения редактирования статьи просим выделять желтым маркером номера формул, номера рисунков, ссылки на литературу, ссылки на формулы и рисунки в основном тексте статьи.
15. В конце статьи, по желанию авторов, могут быть приведены высказывания благодарности за помощь в исследованиях, сведения о грантах, НИРах и ОКРах, в рамках которых выполнялась работа, а также сведения об источниках финансирования исследований. Также в конце статьи авторами могут быть представлены приложения, где содержатся листинги программ, на основе которых выполнялось моделирование, различные объемные таблицы и графики, а также другие элементы, которые с одной стороны являются неотъемлемой частью исследования, а с другой - загромождают текст статьи.
16. Список используемых источников оформляется в соотсветсвии с требованиями к оформлению библиографических ссылок нашего журнала после подзаголовка «Литература», который выполняется полужирным шрифтом, выравниваются по центру страницы без абзацного отступа. Нумерация ссылок определяется порядком их упоминания в статье. При формировании списка литературы не следует использовать функцию автоматического формирования нумерованного списка. После подзаголовка «Reference» литература дублируется на английском языке. При оформлении списка литературы и его перевода редакция настоятельно просит авторов пользоваться и соблюдать требования и рекомендации по оформлению списка литературы и его переводу на английский язык. После списка литературы и Reference следует пропуск строки.
17. После списка Reference указывается дата первого представления статьи в редакцию. Данный абзац выделяется полужирным шрифтом, выравнивание по правому краю страницы.
18. В конце статьи указывается информация об авторах. Данные сведения для каждого соавтора обязательно должны содержать: фамилию, имя, отчество

полностью, научную степень, научное звание, должность и полное наименование организации, телефон и e-mail.

19. Статья завершается текстовым блоком, дублирующим название статьи, фамилии и инициалы авторов, аннотацию статьи и ключевые слова на английском языке. Данный текстовый блок начинается с новой страницы и его элементы оформляются так же, как соответствующие элементы на русском языке в начале статьи.

Требования к оформлению блока, содержащего сведения об авторах. Нижеуказанные сведения приводятся по каждому автору отдельно.

1. Фамилия, Имя, Отчество на русском языке.
2. Научная степень и научное звание (если есть) на русском языке.
3. Место работы с указанием страны и города на русском языке. Указывается официальное название, желательно из устава, в именительном падеже. Так как базы цитирования (например, РИНЦ) «привязывают» статью к определенному автору в определенной организации, то неверное указание места работы может привести к тому, что Ваша статья может отсутствовать в списке Ваших публикаций в базах цитирования, а также в списке публикаций сотрудников Вашей организации.
4. Должность на русском языке.
5. Область научных интересов – на русском языке.
6. Адрес электронной почты. Убедительная просьба указывать существующий и действующий адрес электронной почты для КАЖДОГО соавтора.
7. Корреспондентский почтовый адрес (с индексом) для контактов с авторами статьи. Данный адрес можно указать один на всех авторов. Можно указать как рабочий (предпочтительно), так и домашний (по желанию) адрес. Обратите внимание на то, что эта информация будет опубликована в открытом доступе.
8. Телефон для связи.

1. Фамилия, Имя, Отчество на английском языке.
2. Научная степень и научное звание (если есть) на английском языке. При затруднениях, связанных с переводом, просим воспользоваться рекомендациями по переводу должности, ученой степени и ученого звания.
3. Международное название места работы с указанием страны и города на английском языке (желательно, в соответствии с уставом). Переводить по буквам аббревиатуры в названии НЕ НУЖНО. Редакция просит Вас воздержаться от использования аббревиатур и сокращений, кроме аббревиатур, указывающих на организационно-правовую форму места работы автора (ФГБОУ, ООО, ОАО и т. п.).
4. Должность на английском языке. При затруднениях, связанных с переводом, просим воспользоваться рекомендациями по переводу должности, ученой степени и ученого звания.
5. Область научных интересов – на английском языке (Field of research: …).
6. Адрес электронной почты. Убедительная просьба указывать существующий и действующий адрес электронной почты для КАЖДОГО соавтора.
7. Корреспондентский почтовый адрес (с индексом) для контактов с авторами статьи. Данный адрес можно указать один на всех авторов. Можно указать как рабочий (предпочтительно), так и домашний (по желанию) адрес. Обратите внимание на то, что эта информация будет опубликована в открытом доступе.
8. Телефон для связи.

Следует учесть, что данные, приведенные в сведениях об авторах (электронный и обычный адрес, телефоны и факс), должны позволять редакции быстро связаться с авторами статей. Если такая связь оказывается невозможной, то это может привести к задержке в публикации статьи. Следует иметь в виду, что редакция не имеет возможности для ведения длительных междугородних телефонных переговоров. Поэтому настоятельно рекомендуется всю переписку с редакцией вести по электронной почте. Редакция настоятельно рекомендует приводить действующие и часто просматриваемые электронные адреса.

При написании работ просим авторов воспользоваться рекомендациями по написанию научных статей.

Минимальные системные требования:

- процессор: Intel x86, x64, AMD x86, x64 не менее 1 ГГц;
- оперативная память RAM ОЗУ: не менее 512 МБайт;
- свободное место на жестком диске (HDD): не менее 120 МБайт;
- операционная система: Windows XP и выше;
- Adobe Acrobat Reader;
- дисковод CD-ROM;
- мышь.

ООО «Корпорация «Интел Групп»

Системы управления, связи и безопасности

Научный журнал

Адрес редакции:
197372, Санкт-Петербург, пр. Богатырский, д. 32, к. 1 лит. А, пом. 6Н.
Тел.: (812) 945-50-63.
http://sccs.intelgr.com
E-mail: sccs@intelgr.com

Свидетельство о регистрации ЭЛ № ФС 77 - 61239 от 03.04.2015 г.
Территория распространения - Российская Федерация и зарубежные страны