



Научно-технический журнал «Техника средств связи» – это рецензируемое научное издание, в котором публикуются результаты научных исследований специалистов в области современных инфокоммуникационных технологий и автоматизированных систем управления, средств связи и информационной безопасности. Журнал является правопреемником издававшихся с 1959 года Министерством промышленности средств связи СССР всесоюзных журналов «Вопросы радиоэлектроники. Серия: Техника проводной связи» и «Вопросы специальной радиоэлектроники. Серия: Техника проводной связи». С 1975 года журнал издается под названием «Техника средств связи». Учредитель и издатель журнала: Публичное акционерное общество «Информационные телекоммуникационные технологии» (ПАО «Интелтех»). Адрес учредителя и издателя журнала: 197342, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Кантемировская, д. 8.

Периодичность выхода журнала 4 номера в год.

Публикация в журнале является научным печатным трудом.

Основное содержание издания представляют собой научные статьи и научные обзоры.

Информация предназначена для детей старше 12 лет.

Журнал зарегистрирован как сетевое и печатное издания в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор).

Свидетельства о регистрации средств массовой информации: ПИ № ФС 77 – 80135 и ЭЛ № ФС 77 – 80136 от 31.12.2020 г.

ISSN (print): 2782-2141; ISSN (online): 2782-2133; РИНЦ (eLIBRARY ID: 77074)

Подписной индекс журнала «Техника средств связи» – 79656

Ссылки для оформления интернет-подписки на журнал:

<https://www.akc.ru/itm/means-of-communication-equipment/>; <https://www.pressa-rf.ru/cat/1/edition/e79656/>

СОДЕРЖАНИЕ

ПЕРЕДАЧА, ПРИЕМ И ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ

Акулов В. С., Угрик Л. Н., Петров А. Н. 2

Влияние ледового покрова на подводный радиоприем

МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛОЖНЫХ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Кулешов И. А., Спивак А. В., Аксенов С. С. 6

Моделирование сложных систем в телекоммуникации

Молокович И. А. 13

Моделирование распределенных приложений в PragmaDev Studio с использованием сетевого симулятора Network Simulator ns-3

СИСТЕМЫ СВЯЗИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ

Гук И. И. 25

Амплитудные и фазовые искажения в двухлучевом канале

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Прищенко В. Н., Мегера Ю. А., Бурлаков А. А. 33

Риски при выполнении гарантийных обязательств предприятиями оборонной промышленности

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

Севастьянов С. И. 39

Выбор модели упорядочения большой размерности данных в оценке качества сложной системы

Губенко А.М. 66

Подходы к применению технологий искусственного интеллекта для решения задач автоматизированного управления в сложных организационно-технических системах

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ И ТЕХНОЛОГИИ.

СБОР, ХРАНЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

Моисеевкова Д. А.Смирнов А.Н. 72

Развитие методов производственного планирования и контроля

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Шмидт А. А. Косырев А. В. Анализ научно-методического аппарата диагностики и контроля, мониторинга и прогнозирования технического 81

состояния военной техники связи

Информация для авторов

Список научных статей, опубликованных в журнале «Техника средств связи» в 2023 году 98

CONTENTS

TRANSMISSION, RECEPTION AND PROCESSING OF SIGNALS

Akulov V. S., Ugrik L. N. 2

The effect of ice cover on underwater radio reception

MODELING OF COMPLEX ORGANIZATIONAL AND TECHNICAL SYSTEMS

Kuleshov I.A., Spivak A.I., Aksenov S.S. 6

Modeling of complex systems in telecommunications

Molokovich I. A. 13

Modeling distributed application in PragmaDev Studio using a Network Simulator ns-3

COMMUNICATION AND TELECOMMUNICATIONS SYSTEMS

Guk I. I. 25

Amplitude and phase distortions in the two-beam channel

CONTROL SYSTEMS

Prishchenko V. N., Megera Yu. A., Burlakov A. A. 33

Risks in fulfilling warranty obligations by defense industry enterprises

INTELLIGENT INFORMATION SYSTEMS

Sevastyanov S. I. 39

Choosing a model for ordering large data dimensions in assessing the quality of a complex system

Gubenko A.M. 66

Approaches to the application of artificial intelligence technologies to solve automated control problems in complex organizational and technical systems

INFORMATION PROCESSES AND TECHNOLOGIES.

COLLECTION, STORAGE AND PROCESSING OF INFORMATION

Moiseenkova D.A.Smirnov A.N. 72

Development of production planning and control methods

ADVANCED RESEARCHERS

Schmidt A. A., Kosyrev A. V. 81

Analysis of the scientific and methodological apparatus for diagnostics and control, monitoring and forecasting of the technical condition of military communications equipment

Рубрики журнала: Анализ новых технологий и перспектив развития техники средств связи • Системы управления • Передача, прием и обработка сигналов • Системы связи и телекоммуникации • Перспективные исследования • Вычислительные системы • Информационные процессы и технологии. Сбор, хранение и обработка информации • Моделирование сложных организационно-технических систем • Вопросы обеспечения информационной безопасности • Интеллектуальные информационные системы • Робототехнические системы • Электронные и радиотехнические системы • Объекты интеллектуальной собственности и инновационные технологии в области разработки средств телекоммуникаций

ПЕРЕДАЧА, ПРИЕМ И ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ

УДК 621.396.946

DOI:10.24412/2782-2141-2023-4-2-5

Влияние ледового покрова на подводный радиоприем

Акулов В. С., Угрик Л. Н., Петров А. Н.

Аннотация: С учетом повышенного интереса к развитию Арктики и необходимости создания арктических телекоммуникаций гражданского и военного назначения в научной литературе уделяется большое внимание анализу работы систем радиосвязи в арктических районах, и в частности, в интересах подводных робототехнических систем, способных осуществлять выполнение миссии по обслуживанию кабельных магистралей, путепроводов и буровых платформ под ледовым покровом. Для анализа подводного радиоприема достаточно использовать законы плоской волны в окрестности точки наблюдения, что связано с локальным характером поля в поверхностном слое хорошо проводящей среды. Свойства ледяного покрова меняются в течение года и из года в год. Эта нестабильность возрастает в последние десятилетия в связи с глобальным потеплением. Приведенные в статье возможные эффекты имеют место только в диапазоне коротких волн. Для более низких частот ледяной покров Арктики практически прозрачен.

Ключевые слова: диэлектрическая проницаемость среды, ледяной покров, напряженность поля на границе раздела сред, плоская волна, электромагнитное поле.

Для анализа подводного радиоприема достаточно использовать законы плоской волны в окрестности точки наблюдения, что связано с локальным характером поля в поверхностном слое хорошо проводящей среды [1]. Схема нормального падения плоской волны E_0^+ из вакуума на двухслойную среду «лед-вода» показана на рис. 1. Горизонтальное расположение слоев связано лишь с удобством редактирования текста. Стрелками показаны направления распространения соответствующих волн, а их векторы параллельны границам раздела.

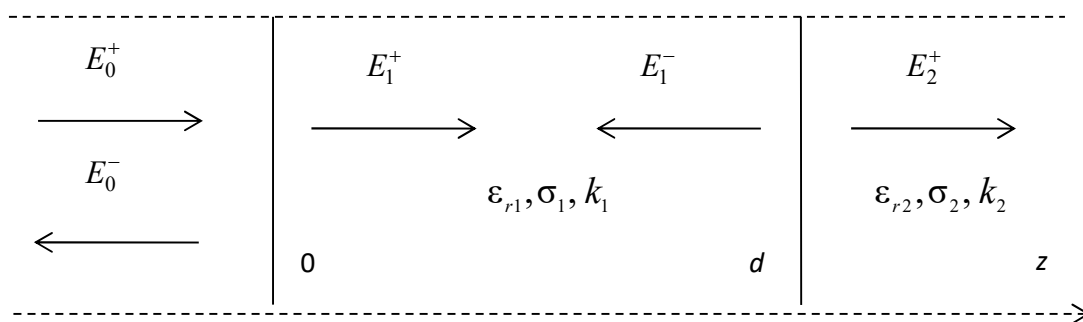


Рис. 1. Схема нормального падения плоской волны E_0^+ из вакуума на двухслойную среду «лед-вода»

Компоненты электромагнитного поля в каждой из сред имеют вид [2]

$$\begin{cases} E_0 = E_0^+ e^{ik_0 z} + E_0^- e^{-ik_0 z}; \\ H_0 = (1/Z_0) [E_0^+ e^{ik_0 z} - E_0^- e^{-ik_0 z}]; \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} E_1 = E_1^+ e^{ik_1 z} + E_1^- e^{-ik_1 z}; \\ H_1 = (1/Z_1) [E_1^+ e^{ik_1 z} - E_1^- e^{-ik_1 z}]; \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} E_2 = E_2^+ e^{ik_2 z}; \\ H_2 = (1/Z_2) E_2^+ e^{ik_2 z}, \end{cases} \quad (3)$$

где $Z_i = \sqrt{\mu_i / \varepsilon_i}$ – волновое сопротивление соответствующей среды.

Четыре неизвестные величины E_0^- , E_1^+ , E_1^- и E_2^+ , входящие в выражения (1)-(3), определяются из условий непрерывности напряженностей полей на границах раздела сред при $z = 0$ и $z = d$, а именно

$$\begin{cases} E_0(0) = E_1(0); \\ H_0(0) = H_1(0); \end{cases} \quad (4)$$

$$\begin{cases} E_1(d) = E_2(d); \\ H_1(d) = H_2(d). \end{cases} \quad (5)$$

Равенства (4) и (5) совместно с выражениями (1)-(3) образуют систему 4-х линейных уравнений, матрица которых и вектор их правых частей имеют вид

$$\begin{pmatrix} -1 & 1 & 1 & 0 \\ 1/Z_0 & 1/Z_1 & -1/Z_1 & 0 \\ 0 & \exp(ik_1 d) & \exp(-ik_1 d) & -\exp(ik_2 d) \\ 0 & \frac{\exp(ik_1 d)}{Z_1} & -\frac{\exp(-ik_1 d)}{Z_1} & -\frac{\exp(ik_2 d)}{Z_2} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ 1/Z_0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}. \quad (6)$$

Здесь принято, что падающее поле $E_0^+ = 1$. Это значение можно задать любым, поскольку далее рассматриваются относительные значения полей.

Для анализа влияния ледового покрова рассмотрим отношение поля на нижней кромке льда к полю на поверхности моря без льда, а именно

$$\delta E = E_2^+(z = d) / E_2^+(z = 0). \quad (7)$$

Результаты расчетов по формуле (7) представлены на рис. 2 и 3. Поле E_2^+ определялось численным решением системы линейных уравнений (6) методом Гаусса. Относительная диэлектрическая проницаемость сред ε_{r_i} , их удельная проводимость σ_i и толщина ледяного покрова d выбраны из диапазона возможных значений, характерных для Арктики [3].

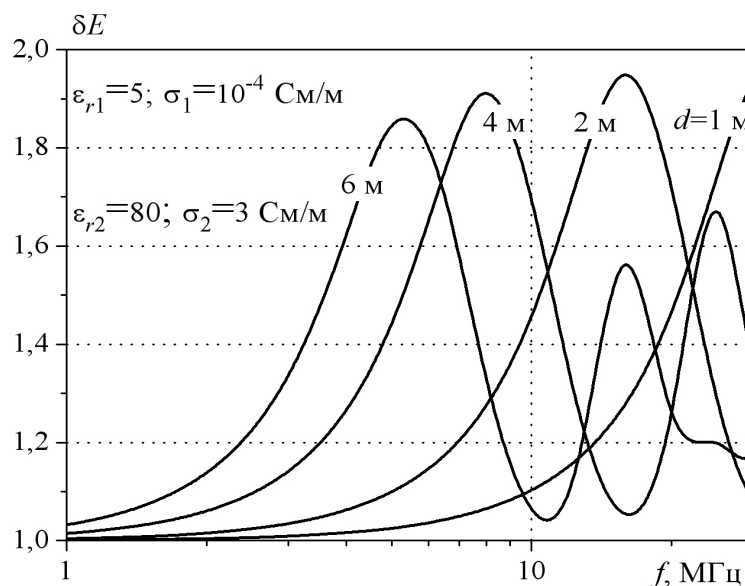


Рис. 2. Результаты расчетов

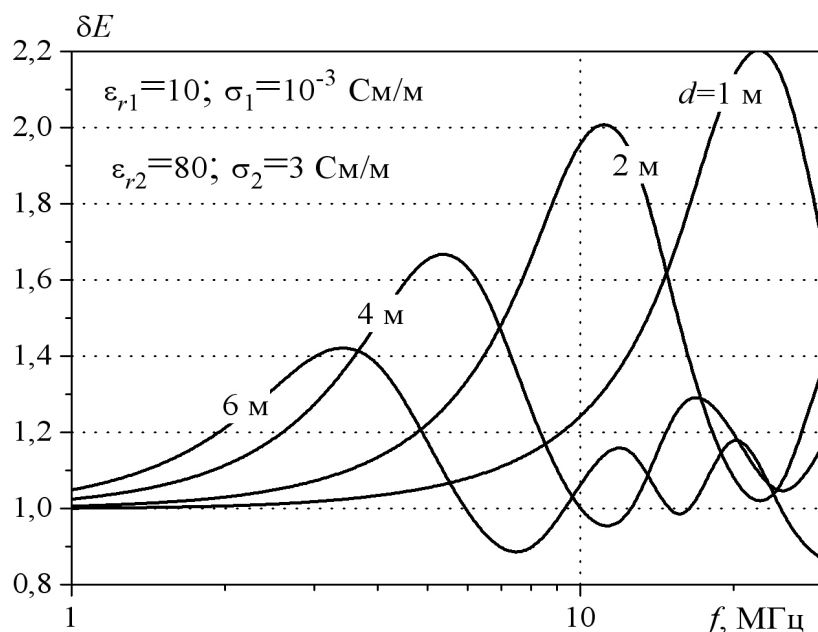


Рис. 3. Результаты расчетов

Характерен немонотонный ход частотной зависимости анализируемого параметра δE . Это объясняется интерференционными явлениями в слое льда. Возможно даже возрастание поля относительно чистой воды. Этот эффект аналогичен наличию просветляющего слоя в оптических объективах. Вместе с тем на практике рассчитывать на возможное увеличение поля не следует, поскольку данный эффект во многом определяется физическими параметрами льда, которые не всегда с достаточной степенью прогнозируются. Свойства ледяного покрова меняются в течение года и из года в год. Эта нестабильность возрастает в последние десятилетия в связи с глобальным потеплением. Порой (рис. 3) возможно и уменьшение поля, поэтому при прогнозировании условий связи целесообразно предусматривать запас по уровню поля примерно на 20 %.

Приведенные возможные эффекты имеют место только в диапазоне коротких волн. Для более низких частот ледяной покров Арктики практически прозрачен.

Литература

1. Макаров Г. И., Новиков В. В., Рыбачек С. Т. Распространение электромагнитных волн над земной поверхностью. М: Наука, 1991. 198 с.
2. Хабибуллин И. Л., Коновалова С. И., Садькова Л. А. Исследование температурных волн, возникающих при поглощении электромагнитного излучения в слоистых средах // Прикладная механика и техническая физика. 2015. Т. 56. № 3.
3. Башкуев Ю. Б., Хаптанов В. Б., Дембелов М. Г., Буянова Д. Г., Нагуслаева И. Б., Аюров Д. Б. Поверхностные электромагнитные волны на трассах северного морского пути // Техника радиосвязи (Распространение радиоволн). 2019. Вып. 1 (40). С. 7-18.

References

1. Makarov G. I., Novikov V. V., Rybachek S. T. Propagation of electromagnetic waves over the Earth's surface. Moscow. Nauka Publ., 1991. 198 p. (in Russian).
2. Khabibullin I. L., Konovalova S. I., Sadykova L. A. Investigation of temperature waves arising from the absorption of electromagnetic radiation in layered media. Applied mechanics and technical physics. 2015. V. 56. No. 3 (in Russian).

3. Bashkuev Yu. B., Khaptanov V. B., Dembelov M. G., Buyanova D. G., Naguslaeva I. B., Ayurov D. B. Surface electromagnetic waves on the routes of the Northern Sea route. Radio communication technology (Radio wave propagation). 2019. I. 1 (40). Pp. 7-18 (in Russian).

Информация об авторах

Акулов Валерий Семёнович – Кандидат технических наук. Старший научный сотрудник. Старший научный сотрудник НИЦ ТТ ВМФ КК и СОИ и Р. Тел.: +7(812)542-90-54. E-mail: intelteh@inteltech.ru.

Угрик Лариса Николаевна – Кандидат технических наук. Старший научный сотрудник. Старший научный сотрудник НИЦ ТТ ВМФ КК и СОИ и Р. Тел.: +7(812)542-90-54. E-mail: intelteh@inteltech.ru.

Петров Андрей Николаевич – Начальник научно-исследовательского отделения. ПАО «Интелтех». Область научных интересов: разработка систем телекоммуникаций специального назначения. Тел. +7(812) 448-95-15. E-mail: intelteh@inteltech.ru.

Адрес: 197342, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Кантемировская, д. 8.

The effect of ice cover on underwater radio reception

V. S. Akulov, L. N. Ugrik, A.N.Petrov

Abstract: *Taking into account the increased interest in the development of the Arctic and the need to create Arctic telecommunications for civil and military purposes, much attention is paid in the scientific literature to the analysis of the operation of radio communication systems in the Arctic regions, and in particular, in the interests of underwater robotic systems capable of carrying out the mission of servicing cable trunks, overpasses and drilling platforms under the ice cover. To analyze an underwater radio receiver, it is sufficient to use the laws of a plane wave in the vicinity of the observation point, which is due to the local nature of the field in the surface layer of a well-conducting medium. The properties of the ice sheet change throughout the year and from year to year. This instability has been increasing in recent decades due to global warming. The possible effects described in the article take place only in the short wave range. For lower frequencies, the Arctic ice sheet is almost transparent.*

Keywords: *dielectric constant of the medium, ice cover, field strength at the interface of media, plane wave, electromagnetic field.*

Information about authors

Akulov Valery Semenovich – Candidate of Technical Sciences. Senior Researcher at the Research. Center TT Navy KK and SOI and R. Tel.: +7 (812)542-90-54. E-mail: intelteh@inteltech.ru.

Ugrik Larisa Nikolaevna – Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher at the Research. Center TT Navy KK and SOI and R. Tel.: +7(812)542-90-54. E-mail: intelteh@inteltech.ru.

Petrov Andrey Nikolaevich – Is the Head of the research department. PJSC "Inteltech". Research interests: development of special purpose telecommunications systems. Tel.:+7(812)448-95-15. E-mail: intelteh@inteltech.ru. Address: 197342, Russia, St. Petersburg, 8 Kantemirovskaya St.

Для цитирования: Акулов В. С., Угрик Л. Н., Петров А. Н. Влияние ледового покрова на подводный радиоприем // Техника средств связи. 2023. № 4 (164). С. 2-5. DOI:10.24412/2782-2141-2023-4-2-5.

For citation: Akulov V. S., Ugrik L. N. Petrov A. N. The effect of ice cover on underwater radio reception. Means of Communication Equipment. 2023. No. 4 (164). Pp. 2-5. DOI:10.24412/2782-2141-2023-4-2-5 (in Russian).

МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛОЖНЫХ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

УДК 618:623.624:621.396.946

DOI:10.24412/2782-2141-2023-4-6-12

Моделирование сложных систем в телекоммуникации

Кулешов И. А., Спивак А. В., Аксенов С. С.

Аннотация. В статье дан анализ основных подходов к моделированию сложных систем в телекоммуникации. Вначале дан анализ основных математических подходов к моделированию сложных систем, на основе анализа которых предложен свой комбинированный способ. Далее в статье разработана математическая модель фрагмента телекоммуникационной сети. Полученные математические формулы позволяют построить схемы соединения по устойчивости элементов фрагмента структуры телекоммуникационной сети и на их основе получить аналитические выражения для расчета количественных показателей надежности, помехоустойчивости и живучести. В заключении сделан вывод, что построение моделей структур телекоммуникационной сети является трудоемкой задачей. Поэтому при моделировании полномасштабной сети желательно использовать комбинированные методы: аналитические и имитационные.

Ключевые слова: моделирование, комбинированные методы, булевы функции, вероятностные модели.

Введение

На сегодня достаточно непросто определить область исследования, где не использовались бы те или иные методы моделирования. Это всецело относится и к таким сложным техническим системам как телекоммуникации, где зачастую приходится принимать решение о составе системы, маршруте доставки сообщений и пр. на основе априорно неизвестной или недостаточной информации. При этом некоторые исходные данные могут быть выданы в начале моделирования, а некоторые необходимо получить уже в ходе процесса.

При осуществлении процесса моделирования перед исследователем возникает ряд задач, требующих качественных и количественных оценок закономерностей, протекающих в телекоммуникационных системах процессов, что требует проведения структурного, параметрического и алгоритмического синтеза.

Специалистам по созданию и эксплуатации телекоммуникационных систем в ходе моделирования важно принимать во внимание такие особенности как:

- сложность телекоммуникационной структуры;
- стохастичность связей между элементами телекоммуникационной структуры;
- неопределенность четкого алгоритма поведения в различных условиях ведения связи;
- большое число переменных и параметров модели;
- недетерминированность и неполноту исходных данных;
- вероятностный характер внешних и внутренних воздействий.

Причем, цена ошибки при определении исходных данных о составе и структуре телекоммуникационных систем достаточно высока, снизить которую должен помочь процесс моделирования, отвечая на многочисленные вопросы о путях их создания и эффективного совершенствования, нивелируя затраты путем выбора наиболее оптимального решения.

Таким образом, на сегодня формирование телекоммуникационных систем невозможно без этапа моделирования.

Научно-методический аппарат моделирования сложных систем

В настоящее время теория исследования сложных систем применяет достаточно широкий научно-методический аппарат. Некоторые методы применимы для телекоммуникаций.

Наиболее общим подходом при описании объекта моделирования применяется метод на основе *дифференциальных уравнений*, при котором неизвестными являются функции одной или нескольких переменных. При этом наряду с функциями в уравнение могут входить и их производные различных порядков.

В ходе описания моделей телекоммуникационных систем исследователи зачастую в качестве независимой переменной, от которой зависят искомые неизвестные функции, выбирают время t . При этом математическое выражение может иметь следующий вид: $\bar{y}' = f(\bar{y}, t)$; $\bar{y}(t_0) = \bar{y}_0$, где $\bar{f} = (f_1, f_2, \dots, f_n)$ – n -мерные векторы состояния; $f(\bar{y}, t)$ – векторная непрерывная функция $\bar{y}' = \frac{d\bar{y}}{dt}$, $\bar{y} = (y_1, y_2, \dots, y_n)$.

Использование методов на основе дифференциальных уравнений в ходе моделирования телекоммуникаций наиболее часто происходит при моделировании систем автоматического управления. В данном случае это позволяет оценить характеристики непрерывно-детерминированных систем и моделировать процесс их функционирования.

Другим инструментальным (математическим) методом, описывающим непрерывно-детерминированные системы телекоммуникаций, является *метод автоматов*.

На базе теории автоматов телекоммуникационная система представляется автоматом, обрабатывающую дискретную информацию, когда её внутреннее состояние меняется в допустимые моменты времени. При этом само понятие «автомат» варьируется под конкретную систему, используя принятые уровни абстракции и целесообразные степени общности.

В связи с этим понятие автомата в исследовании дискретно-детерминированных систем и при их моделировании является математической абстракцией, что достаточно удобно при описании большого класса процессов функционирования автоматизированных систем обработки информации и управления, а также подобных им объектов.

Следующим из широко применяемых подходов при моделировании сложных систем является дискретно-стохастический метод формализации процедур функционирования исследуемых систем с построением математических схем. Поскольку сущность дискретизации времени в данном случае остается аналогична конечному автомату, то процесс влияния фактора стохастичности хорошо просматривается на таких разновидностях автоматов, как вероятностные (стохастические) автоматы.

Использование схем вероятностных автоматов существенно влияет на разработку методов проектирования дискретных систем, имеющих статистически закономерное случайное поведение. Это позволяет активно их применять для исследования алгоритмических возможностей таких систем, расчета и обоснования границ применимости, при постановке и решении задач синтеза систем по заданным критериям и ограничениям.

Также в методах построения моделей телекоммуникационных систем можно выделить и *непрерывно-стохастический* подход, применяемый в качестве типового для математического описания систем массового обслуживания. Сама по себе телекоммуникационная система, работающая с сообщениями, пакетами, байтами ... информации по сути своей является системой обслуживания и описывается процессами обслуживания, т. е. подчиняется математическим схемам теории массового обслуживания.

При этом характерным для работы таких объектов является случайное появление заявок (требований) на обслуживание и завершение обслуживания в случайные моменты времени, т. е. стохастический характер процесса их функционирования.

В практике моделирования объектов часто приходится решать задачи, связанные с формализованным описанием и анализом причинно-следственных связей в сложных системах, где одновременно параллельно протекает несколько процессов. Самым распространенным в настоящее время формализмом, описывающим структуру и взаимодействие параллельных систем и процессов, являются *сети Петри*.

Основные соотношения. Теория сетей Петри развивается в нескольких направлениях: разработка математических основ, структурная теория сетей, различные приложения (параллельное программирование, дискретные динамические системы и т. д.).

Типовые N -схемы на основе обычных размеченных сетей Петри пригодны для описания в моделируемой системе событий произвольной длительности. В этом случае модель, построенная с использованием таких N -схем, отражает только порядок наступления событий в исследуемой системе.

Наиболее известным общим подходом к формальному описанию процессов функционирования сложных систем является подход, предложенный *Н. П. Бусленко*. Этот подход позволяет описывать поведение непрерывных и дискретных, детерминированных и стохастических систем, т. е. по сравнению с рассмотренными является обобщенным (универсальным) и базируется на понятии агрегативной системы.

Вероятностная модель фрагмента структуры телекоммуникационной сети

На основе рассмотренных математических способов моделирование сложных систем в телекоммуникации предложим способ, который описывает фрагмент сети комбинированным способом. В одной статье будет трудно описать всю телекоммуникационную сеть. Поэтому в качестве примера рассмотрим фрагмент такой сети.

На рис. 1 представлена вероятностная модель фрагмента структуры телекоммуникационной системы связи.

Из этого рисунка следует, что информационное направление (1–2), т. е. между узлами связи, будет работоспособно, когда работоспособно либо направление связи (1–2), либо одновременно направления (1-3) и (3-2).

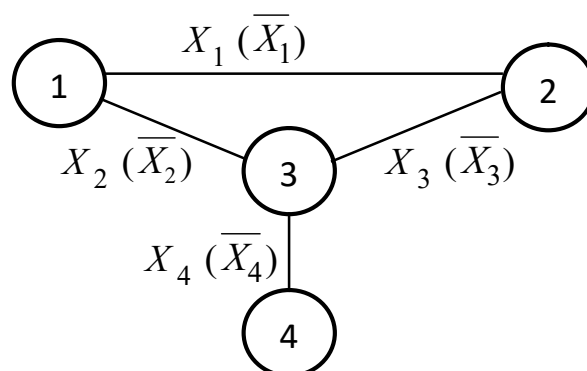


Рис. 1. Вероятностная модель фрагмента структуры телекоммуникационной сети (первый критерий)

Разумеется, работоспособность направления обеспечивается при условии работоспособности всех трех направлений связи, однако это условие поглощается первыми двумя и поэтому может быть игнорировано. Таким образом, булева функция, описывающая состояние работоспособности информационного направления (1–2), будет иметь вид:

$$f_{1-2}(X_1, X_2, X_3, X_4) = X_1 + X_2 X_3. \quad (1)$$

Работоспособности информационного направления (4-2) соответствует следующая булева функция:

$$f_{4-2}(X_1, X_2, X_3, X_4) = X_4(X_3 + X_1X_2). \quad (2)$$

Тогда при использовании критерия, который предполагает работоспособность обоих информационных направлений, в целом работоспособность фрагмента структуры телекоммуникационной сети описывается булевой функцией вида:

$$\begin{aligned} f_1(X_1, X_2, X_3, X_4) &= f_{1-2}(X_1, X_2, X_3, X_4)f_{4-2}(X_1, X_2, X_3, X_4) = \\ &= (X_1 + X_2X_3)X_4(X_3 + X_1X_2) = X_4[X_1X_3 + X_1X_2 + X_2X_3 + X_1X_2X_3] = \\ &= X_4[X_2(X_1 + X_3) + \overline{X_2}X_1X_3]. \end{aligned} \quad (3)$$

При получении этого выражения использовалось правило расщепления переменных: $X_i = X_iX_j + X_i\overline{X_j}$.

Если применить критерий, при котором для обеспечения работоспособности фрагмента структуры телекоммуникационной сети достаточно отсутствия отказа одного из двух информационных направлений, то соответствующая булева функция представляется следующим образом:

$$\begin{aligned} f_2(X_1, X_2, X_3, X_4) &= f_{1-2}(X_1, X_2, X_3, X_4) + f_{4-2}(X_1, X_2, X_3, X_4) = \\ &= X_1 + X_2X_3 + X_3X_4 + X_1X_2X_4 = X_1 + X_3(X_2 + X_4). \end{aligned} \quad (4)$$

Вероятностная модель для второго варианта структуры представлена на рис. 2.

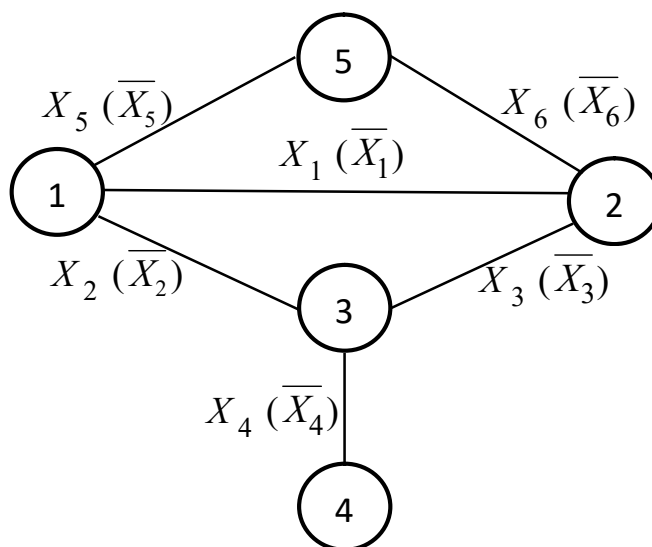


Рис. 2. Вероятностная модель фрагмента структуры телекоммуникационной сети (второй критерий)

В этом случае булева функция, которая описывает работоспособность информационного направления (1–2), будет иметь вид:

$$f_{1-2}(X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6) = X_1 + X_2X_3 + X_5X_6. \quad (5)$$

Аналогичная функция для информационного направления (4–2) определяется следующим образом:

$$\begin{aligned} f_{2-4}(X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6) &= X_3X_4 + X_1X_2X_4 + X_2X_4X_5X_6 + X_1X_2X_4X_5X_6 = \\ &= X_3X_4 + X_1X_2X_4 + X_2X_4X_5X_6. \end{aligned} \quad (6)$$

Тогда при использовании критерия первого типа работоспособность фрагмента структуры телекоммуникационной сети описывается булевой функцией вида:

$$\begin{aligned}
 f_1(X_1, X_2, X_3, \dots, X_6) &= f_{1-2}(X_1, X_2, \dots, X_6) f_{4-2}(X_1, X_2, \dots, X_5, X_6) = \\
 &= X_4 \left[X_1(X_2 + X_3) + \overline{X_1}(X_2 X_3 + X_2 X_5 X_6 + X_3 X_5 X_6) \right] = \\
 &= X_4 \left\{ X_1(X_2 + X_3) + \overline{X_1} \left[X_2(X_3 + X_5 X_6) + \overline{X_2} X_3 X_5 X_6 \right] \right\}.
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

Если применяется критерий второго типа, то

$$\begin{aligned}
 f_2(X_1, X_2, \dots, X_6) &= f_{1-2}(X_1, X_2, \dots, X_6) + f_{4-2}(X_1, X_2, \dots, X_5, X_6) = \\
 &= X_1 + X_3(X_2 + X_4) + X_5 X_6.
 \end{aligned}
 \tag{8}$$

Вероятностная модель фрагмента структуры телекоммуникационной сети может иметь и вид, представленный на рис. 3.

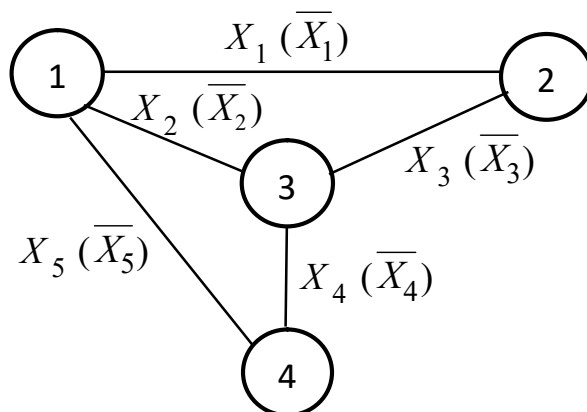


Рис. 3. Вероятностная модель фрагмента структуры телекоммуникационной сети (новая)

Заметим, что при условии отказа направления связи (1–4), данная модель полностью совпадает с моделью первого варианта фрагмента структуры телекоммуникационной сети, булевы функции для которой были получены ранее.

В случае исправности направления (1–4) работоспособность информационных направлений (1–2) и (4–2), будет описываться булевыми функциями следующего вида:

$$f_{1-2}(X_1, X_2, X_3, X_4) = X_1 + X_2 X_3 + X_3 X_4. \tag{9}$$

$$f_{4-2}(X_1, X_2, X_3, X_4) = X_1 + X_2 X_3 + X_4 X_3. \tag{10}$$

Таким образом, при использовании критерия отказа первого типа работоспособность фрагмента структуры телекоммуникационной сети характеризуется булевой функцией

$$f_1(X_1, X_2, X_3, X_4) = X_5 \left[X_1 + X_3(X_2 + X_4) \right] + \overline{X_5} X_4 \left[X_2(X_1 + X_3) + \overline{X_2} X_1 X_3 \right], \tag{11}$$

а при использовании критерия второго типа – булевой функцией

$$\begin{aligned}
 f_1(X_1, X_2, X_3, X_4) &= X_5 \left[X_1 + X_3(X_2 + X_4) \right] + \overline{X_5} \left[X_1 + X_3(X_2 + X_4) \right] = \\
 &= X_1 + X_3(X_2 + X_4).
 \end{aligned}
 \tag{10}$$

Следует отметить, что если выбран критерий отказа второго типа, то организация дополнительного направления связи (1–4) не приводит к повышению устойчивости фрагмента структуры телекоммуникационной сети. Это объясняется тем, что применение данного направления в обходном маршруте между узлом 1 и узлом 2 предполагает

работоспособность направлений связи (1–3) и (1–4), но это условие является достаточным для обеспечения работоспособности объекта в целом. С другой стороны, использование направления связи (1–4) для повышения устойчивости информационного направления (2–4) также бесполезно, поскольку требует работоспособности либо направления связи (1–2), либо направлений (1–3) и (1–4). Однако при выполнении любого из этих условий обеспечивается работоспособность информационного направления (1–2) и, следовательно, объекта в целом.

В то же время, целесообразность организации направления связи (1–4) может быть обоснована с точки зрения обеспечения непосредственного информационного обмена между узлами связи (центрами обработки данных).

Вывод

Полученные в статье выражения в виде булевых функций позволяют исследователю осуществлять построение схем соединения по устойчивости элементов структуры телекоммуникационной системы (сети) и на их основе иметь аналитические выражения для расчета показателей помехоустойчивости, живучести и надежности. При этом необходимо отметить, что построение моделей структур (структурный синтез) телекоммуникационной сети является само по себе трудоемкой задачей, а проведение параметрического и алгоритмического синтеза даже для фрагмента сети многократно её усугубляет.

Литература

1. Кулешов И. А. Требования к методам моделирования телекоммуникационных сетей / Труды 11 Российской научно-технической конференции. КНИИТМУ. Новые информационные технологии в системах связи и управления. Калуга. 2014. С. 201-206.
2. Кулешов И. А. Исследование подвижной сети связи методом имитационного моделирования / Материалы 65 Научно-технической конференции. Санкт-Петербург. 2020. СПбНТОРЭС. С. 86-87.
3. Назаров А. Н., Сычев К. И. Модели и методы расчета показателей качества функционирования узлового оборудования и структурно-сетевых параметров сетей связи следующего поколения. – Красноярск: ООО «Поликом», 2018. – 388 с.
4. Маглинец Ю. А. Анализ требований к автоматизированным информационным системам. – М.: БИНОМ, 2011. – 200 с.
5. Инфокоммуникационные сети: энциклопедия. Книга 4: Гетерогенные сети связи: принципы построения, методы синтеза, эффективность, цена, качество / П. А. Будко, И. А. Кулешов, В. И. Курносов и др.; под ред. профессора В.И. Мирошникова. – М.: Наука, 2020. – 683 с.

References

1. Kuleshov I. A. Requirements for modeling methods of telecommunication networks. Proceedings of the 11th Russian Scientific and Technical Conference. KNIITMU. New information technologies in communication and management systems. Kaluga. 2014, pp. 201-206 (in Russian).
2. Kuleshov I. A. Study of a mobile communication network by the method of simulation modeling. 65 Scientific and Technical Conference. 2020. SPbNTORES. pp. 86-87 (in Russian).
3. Nazarov A. N., Sychev K. I. Models and methods for calculating the quality indicators of the functioning of node equipment and structural and network parameters of next-generation communication networks. Krasnoyarsk. LLC "Polikom", 2018. 388 p. (in Russian).
4. Maglinets Yu. A. Analysis of requirements for automated information systems. Moscow. – BINOMIAL. 2011. 200 p. (in Russian).
5. Infocommunication networks: an encyclopedia. Book 4: Heterogeneous communication networks: principles of construction, synthesis methods, efficiency, price, quality / P. A. Budko, I. A. Kuleshov, V. I. Kurnosov, V. I. Miroshnikov. Moscow. Nauka Publ., 2020. 683 p. (in Russian).

Статья поступила 20 августа 2023 г.

Информация об авторах

Кулешов Игорь Александрович – Заместитель генерального директора по научной работе. Доктор технических наук, доцент. Область научных интересов: системы связи, навигации и управления специального назначения.

Спивак Андрей Игоревич – Аспирант Федерального государственного бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича". Область научных интересов: системы связи, навигации и управления специального назначения.

Аксенов Сергей Сергеевич – Аспирант Федерального государственного бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича". Область научных интересов: системы связи, навигации и управления специального назначения.

Адрес: 197342, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Кантемировская д. 8. Тел.: +7(812) 542-90-54. E-mail: intelteh@inteltech.ru.

Modeling of complex systems in telecommunications

I. A. Kuleshov, A. V. Spivak, S. S. Aksenov

Annotation. The article analyzes the main approaches to modeling complex systems in telecommunications. First, an analysis of the main mathematical approaches to modeling complex systems is given, based on the analysis of which a combined method is proposed. Further in the article, a mathematical model of a fragment of a telecommunications network is developed. The obtained mathematical formulas allow us to construct connection schemes based on the stability of elements of a fragment of the structure of a telecommunications network and based on them, to obtain analytical expressions for calculating quantitative indicators of reliability, noise immunity and survivability. In conclusion, it is concluded that the construction of models of telecommunication network structures is a time-consuming task. Therefore, when modeling a full-scale network, it is desirable to use overall methods: analytical and simulation.

Keywords: modeling, methods, Boolean functions, probabilistic models.

Information about authors

Kuleshov Igor Aleksandrovich – Deputy General Director for Scientific Work. Doctor of Technical Sciences., Associate Professor. Research interests: communication, navigation and control systems for special purposes.

Spivak Andrey Igorevich – Postgraduate student of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "St. Petersburg State University of Telecommunications named after Prof. M.A. Bonch-Bruевич". Research interests: communication, navigation and control systems for special purposes.

Aksenov Sergey Sergeevich – Postgraduate student of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "St. Petersburg State University of Telecommunications named after Prof. M.A. Bonch-Bruевич". Research interests: communication, navigation and control systems for special purposes.

Address: 197342, Russia, St. Petersburg, Kantemirovskaya str.8.Tel.: +7(812) 542-90-54. E-mail: intelteh@inteltech.ru.

Для цитирования: Кулешов И. А., Спивак А. И., Аксенов С. С. Моделирование сложных систем в телекоммуникации // Техника средств связи. 2023. № 4 (164). С. 6-12.
DOI:10.24412/2782-2141-2023-4-6-12.

For citation: Kuleshov I.A., Spivak A.I., Aksenov S.S. Modeling of complex systems in telecommunications Means of Communication Equipment. 2023. No. 4 (164). Pp. 6-12.
DOI:10.24412/2782-2141-2023-4-6-12(in Russian).

УДК 004.75

DOI:10.24412/2782-2141-2023-4-13-24

Моделирование распределенных приложений в PragmaDev Studio с использованием сетевого симулятора Network Simulator ns-3

Молокович И. А.

Аннотация. **Постановка задачи:** определить возможность использования унифицированного подхода к задачам моделирования и тестирования распределенных приложений с помощью программного продукта PragmaDev Studio, использующего сетевой симулятор Network Simulator ns-3 для настройки базовой инфраструктуры телекоммуникаций. **Целью работы** является использование унифицированного подхода к процессу моделирования и тестирования распределенного приложения с помощью программного продукта PragmaDev Studio на примере распределенного клиент-серверного приложения с использованием сетевого симулятора Network Simulator ns-3. **Используемые методы:** моделирование и тестирование с помощью программного продукта PragmaDev Studio, использующего сетевой симулятор Network Simulator ns-3. **Новизна** состоит в том, что для моделирования и тестирования распределенных приложений с помощью программного продукта PragmaDev Studio используется сетевой симулятор Network Simulator ns-3 для настройки базовой инфраструктуры телекоммуникаций, поверх которого будут выполняться экземпляры процессов SDL или SDL-RT. **Результат** заключается в том, что с помощью PragmaDev Studio разработана SDL система клиент-серверного приложения с описанием поведения процессов клиента и сервера, предложена модель развертывания клиент-серверного приложения, использующая сетевой симулятор Network Simulator ns-3 для настройки базовой инфраструктуры телекоммуникаций, и разработан модуль TTCN-3 с тестовым примером для клиент-серверного приложения. **Практическая значимость:** предложенный подход к моделированию и тестированию распределенных приложений с помощью программного продукта PragmaDev Studio, имеющего интеграцию с библиотеками сетевого симулятора Network Simulator ns-3, позволяет получить исполняемый файл из описания модели распределенного приложения на языке SDL или SDL-RT независимо от платформы моделирования.

Ключевые слова: моделирование, тестирование, SDL, SDL-RT, TTCN-3, PragmaDev Studio, Network Simulator ns-3.

Имитационное моделирование распределенных систем является сложной задачей в основном потому, что не существует единого подхода для описания архитектуры, поведения, коммуникаций и конфигурации сложных систем [1]. Инструменты разработки, основанные на языках *SDL* и *UML*, могут моделировать основные аспекты распределенных систем независимо от платформы моделирования. Однако отсутствие интеграции с существующими библиотеками сетевого моделирования делает сложной задачу получения исполняемого файла из описаний модели.

В статье описывается порядок моделирования и тестирования распределенных приложений с помощью программного продукта *PragmaDev Studio* на примере клиент-серверного приложения.

PragmaDev Studio – это набор программных инструментов, который предназначен для моделирования и тестирования коммуникационных систем и состоит из четырех независимых модулей: *Specifier*, *Developer*, *Tester* и *Tracer*. В инструментах используются признанные международные стандарты *SDL*, *TTCN-3*, *SDL-RT* и *UML* [2]. Ключевая функциональность набора инструментов обеспечивается симулятором *PragmaDev Simulator*, как показано на рис. 1.

SDL (Specification and Description Language) – это язык спецификации и описания, определенный Международным союзом электросвязи (*ITU-T*) в серии *Z.100* [3]. *SDL* – это

графический, объектно-ориентированный, формальный язык, который предназначен для спецификации сложных, управляемых событиями, интерактивных систем в реальном времени.

SDL-RT (Specification and Description Language – Real Time) представляет собой смесь с другим графическим языком *UML* и языком *C* [5]. Он сохраняет графическую абстракцию *SDL*, включая при этом методы разработки программного обеспечения в реальном времени и упрощая повторное использование кода за счет языка *C*. Объектная ориентация дополнена с помощью диаграмм *UML*.

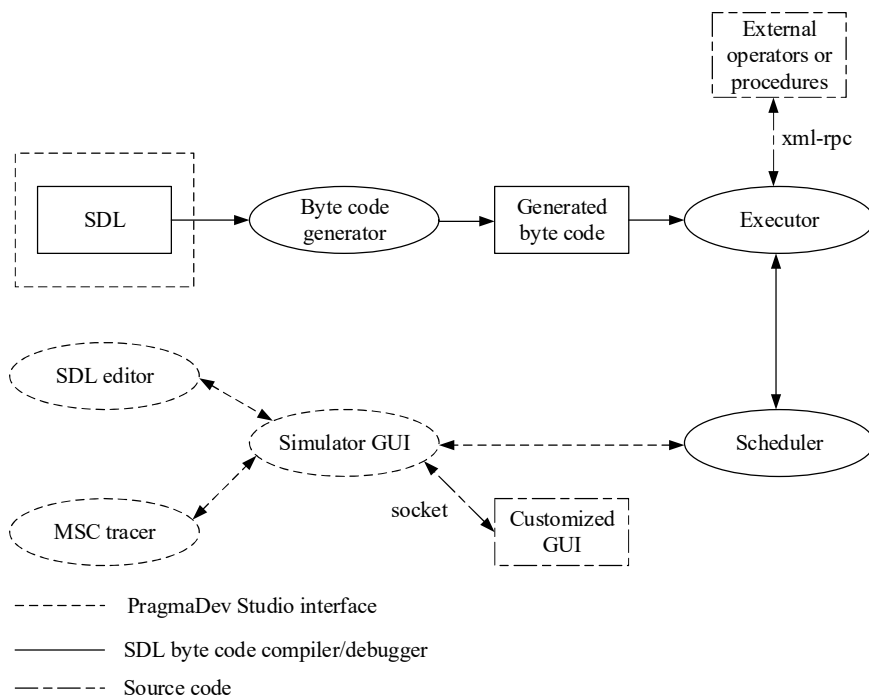


Рис. 1. Архитектура *PragmaDev Simulator*

В *SDL* и *SDL-RT* общее разрабатываемое приложение называется системой, а все, что находится за ее пределами, определяется как окружающая среда. Система описывается с помощью четырех взаимодополняющих и последовательных представлений: архитектура, коммуникации, поведение, данные и синтаксис.

Система может быть декомпозирована на функциональные блоки, каждый из которых может быть декомпозирован на подблоки и так далее, пока функциональность конечных блоков не станет достаточно простой. Блоки выполняют свои функции с помощью одного или нескольких процессов, взаимодействуя друг с другом посредством сообщений (сигналов). Процесс фактически является задачей и имеет неявную очередь для получения сообщений от других задач. Блоки и процессы называются агентами.

Агенты обмениваются сообщениями по каналам. Сообщения, проходящие по каналам, перечислены для определения интерфейса между агентами. Каналы не имеют прямой реализации в конечном коде, они используются только для структурирования программного обеспечения и определения интерфейсов. Поведение процесса описывается графически как конечный автомат. Состояния внутренних процессов, события (сообщения), решения, манипуляции с таймером, семафором имеют определенные символы. Процедуры *SDL* или *SDL-RT* могут быть вызваны в описании поведения процесса. В *SDL-RT* можно вызывать функции языка *C*, *SDL* также позволяет вызывать функции языка *C* с помощью внешних операторов или процедур.

В *SDL* данные определяются с помощью *ADT (Abstract Data Types)* с использованием определенных понятий и обозначений. Манипулирование данными также имеет

специфический синтаксис, заимствованный из таких языков, как *Pascal*. В *SDL-RT* для определения данных и управления ими используется язык *C*. *SDL* используется в основном на этапе спецификации, а также для проверки и тестирования системы. *SDL-RT* используется в основном на этапе разработки.

Рис. 2 – 4 иллюстрирует эти концепции на примере клиент-серверного приложения.

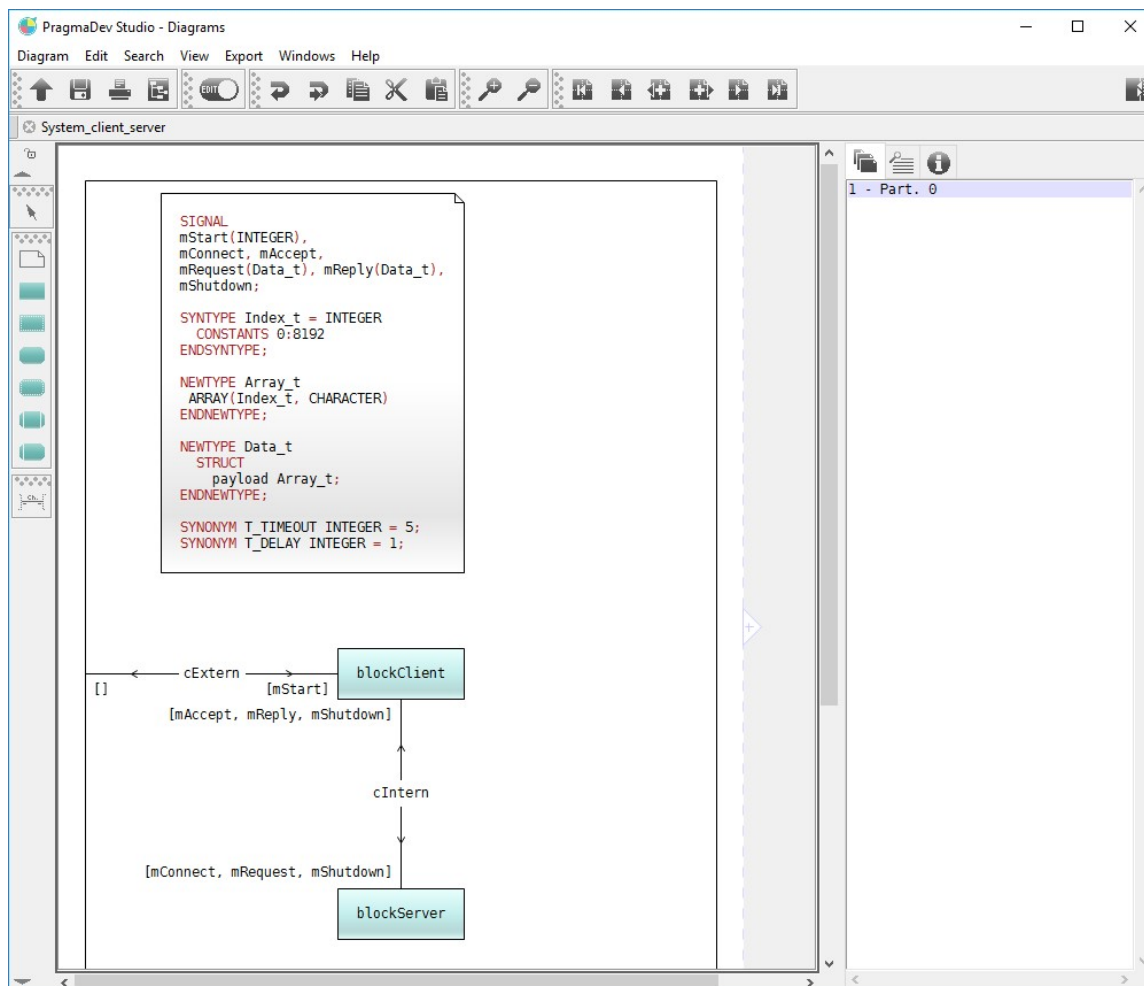


Рис. 2. *SDL*-система клиент-серверного приложения в окне *SDL* редактора

Система состоит из двух основных частей (рис. 2):

- определение типов данных и сообщений (сигналов), которые будут использоваться;
- архитектура с точки зрения процессов: клиента и сервера.

Клиент запускается с помощью сигнала *mStart*, который принимает в качестве параметра номер запроса, который клиент должен отправить серверу. Клиент попытается подключиться к серверу с помощью сигнала *mConnect*, и в случае успеха (клиент получает от сервера сигнал *mAccept*) он начнет отправлять запросы (сигнал *mRequest*) и ждать ответов (сигнал *mReply*).

На рис. 5 и 6 представлены окна редактора *SDL* с описанием поведения процессов *Client* и *Server*. Для каждого процесса объявляются переменные с помощью ключевого слова *DCL*, за которым следует список пар имя переменной – тип переменной.

Описания *SDL* не зависят от платформы, т. е. они не содержат никакой информации, касающейся деталей реализации. Например, на рис. 2 говорится о клиенте и сервере, однако не указано, распределены эти агенты или нет. Диаграммы развертывания, определенные в [5], могут дополнять модели недостающей информацией о распределении. Этот подход был

использован для моделирования распределенных приложений, как описано в [6] и [7]. Таким образом, если компоненты (представляющие агенты *SDL*) подключены к разным узлам, тогда они считаются распределенными, в противном случае подразумевается локальное выполнение (рис. 7).

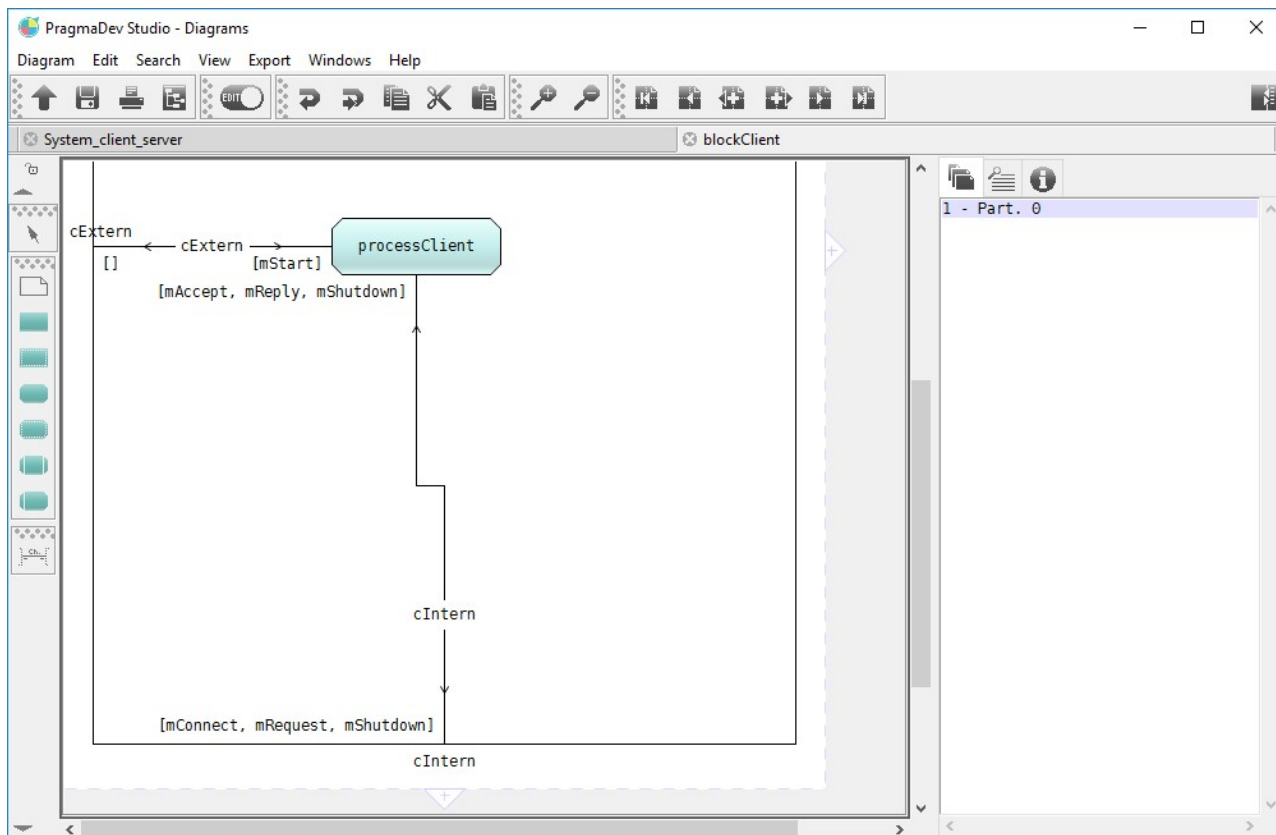


Рис. 3. *SDL*-система процесса клиента в окне *SDL* редактора

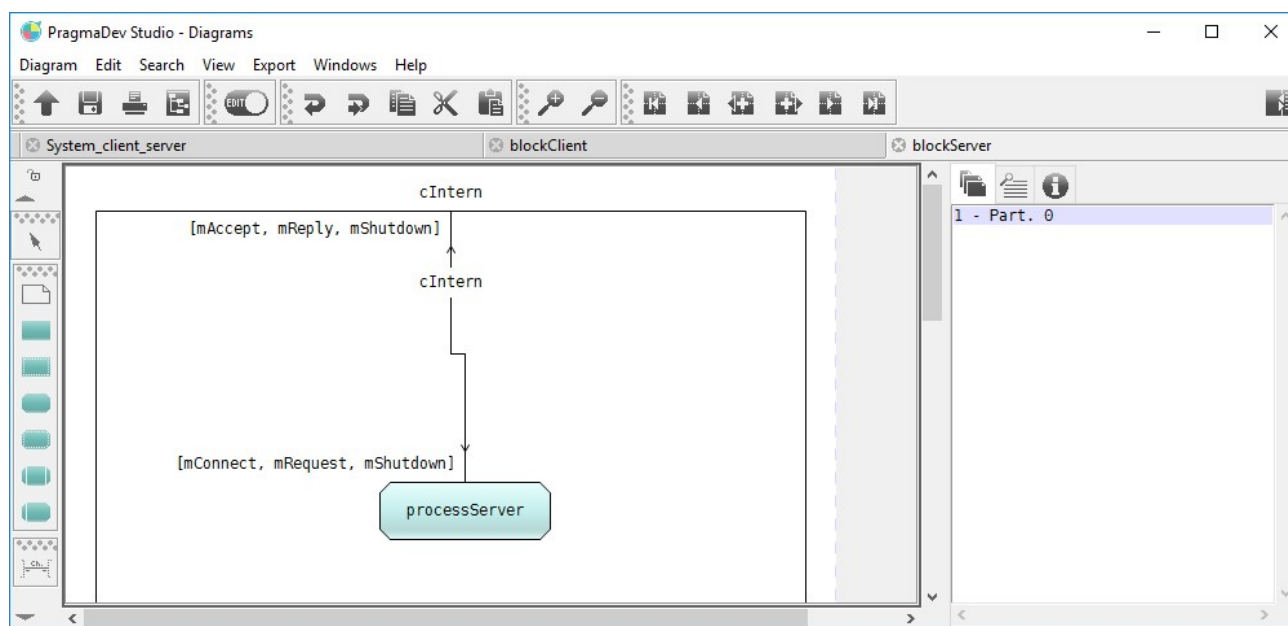


Рис. 4. *SDL*-система процесса сервера в окне *SDL* редактора

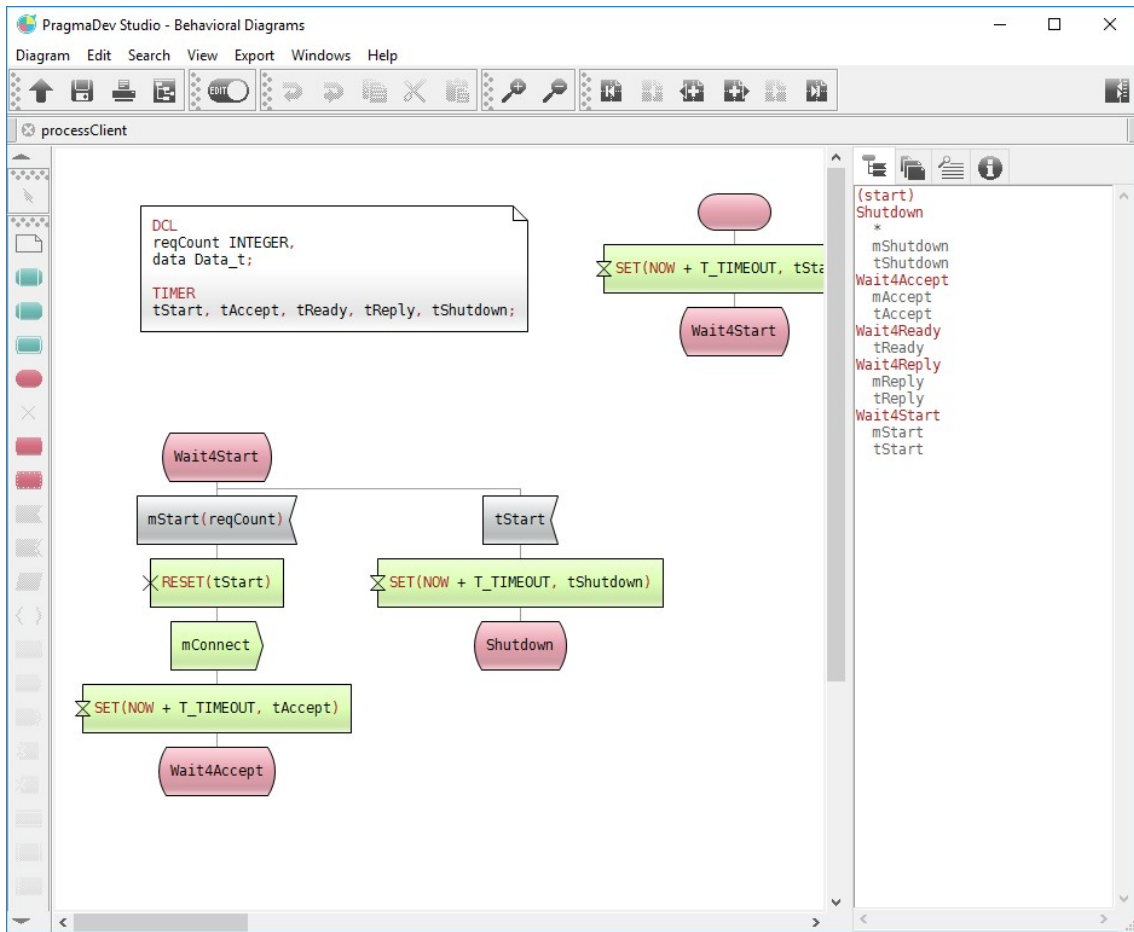


Рис. 5. Описание поведения процесса Client в редакторе SDL

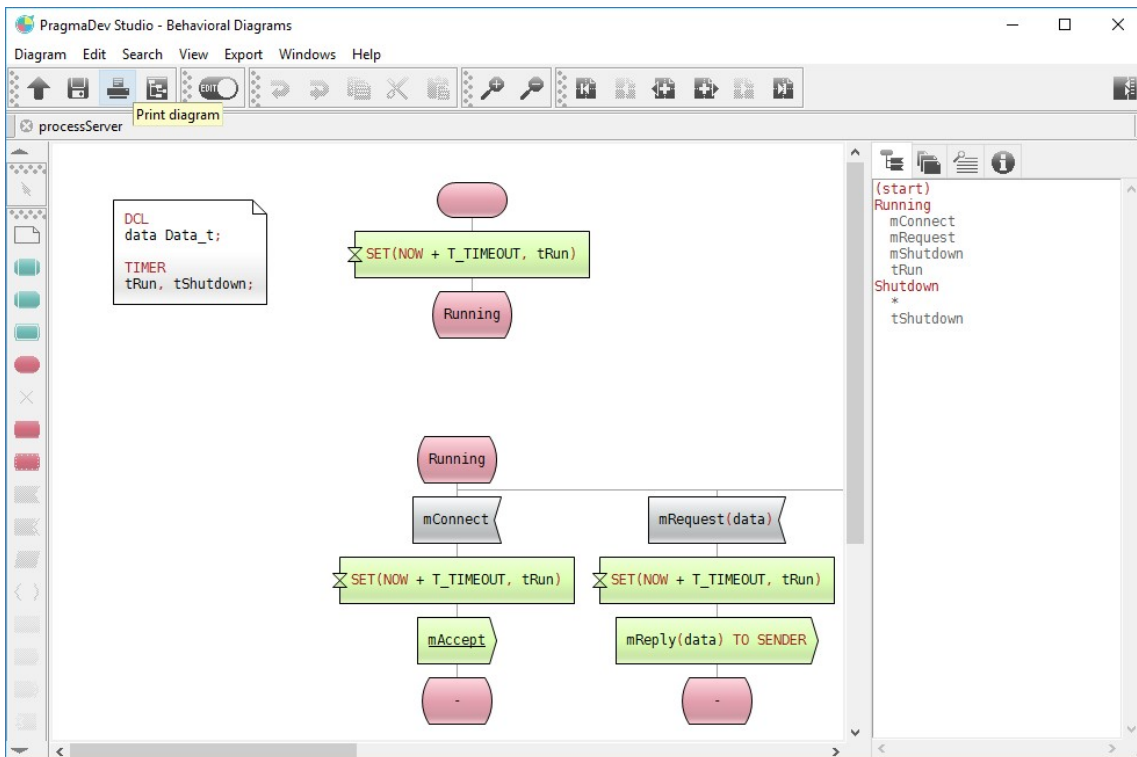


Рис. 6. Описание поведения процесса Server в редакторе SDL

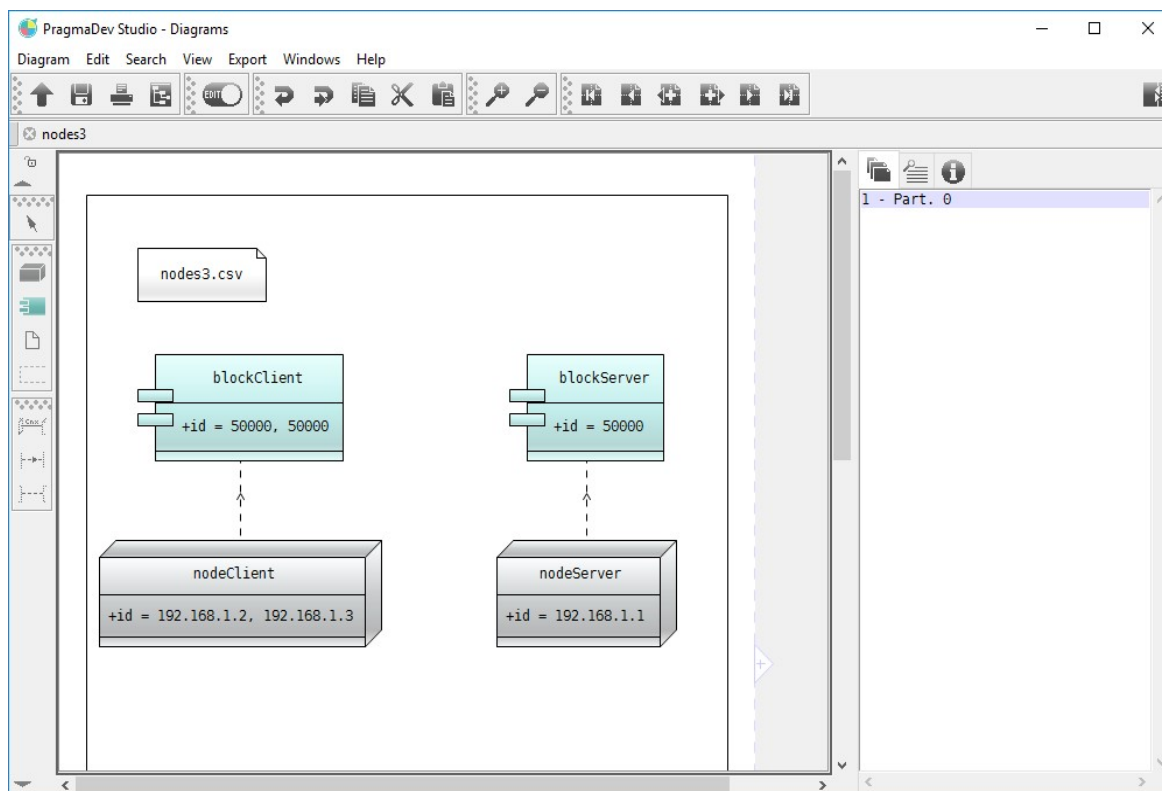


Рис. 7. Модель развертывания клиент-серверного приложения

Нотация тестирования и тестового контроля версии 3 (*TTCN-3*) представляет собой стандартизованную технологию тестирования, разработанную и поддерживаемую Европейским институтом стандартов электросвязи (*ETSI*). Стандарты *ETSI TTCN-3* [4] также были приняты МСЭ-Т в серии Z.160 [8].

Абстрактное определение тестовых примеров позволяет указать непатентованные тестовые системы, которые не зависят как от платформы, так и от операционной системы. Абстрактные определения могут быть либо скомпилированы, либо интерпретированы для выполнения.

На рис. 8 показано определение модуля *TTCN-3* с помощью одного теста, который запускает отправку двух запросов (строки 14 и 16) от клиента к серверу. В тестовом примере определяются типы данных, которые будут использоваться, интерфейсы с системой и шаблоны значений, которыми будет осуществляться обмен. Если сообщение имеет параметры, то оно определяется как *record*, если у сообщения нет параметров, оно определяется как *enumerated* с единственным возможным значением. Далее определяется порт для каждого канала в системе для описания интерфейса. Теперь можно определить компонент, который будет тестироваться. Имя компонента должно совпадать с именем системы *SDL* (*System_client_server*). Следующим этапом определяются шаблоны для всех сообщений, которыми будет происходить обмен с системой. В нашем примере это сообщение *mStart* с параметром *reqCount*, равным двум. Основа тестового примера – сценарий выполнения, который включает в наш случай передачу двух сообщений *startMessage* от клиента серверу. Если сообщение *startMessage* передано клиентом два раза, то считаем, что тест успешно пройден, в противном случае тест не пройден.

На рис. 9 показано графическое представление с помощью диаграммы последовательности сообщений *MSC* (*Message Sequence Chart*) поведения тестового примера для клиент-серверного приложения.

```

1  module Test_System_client_server
2  {
3    //Types for message
4    type record mStart { integer reqCount };
5    // Port type for the interface with the SUT
6    type port port_cExtern message {
7      out mStart;
8    };
9    // Component type for the MTC and system interface
10   type component System_client_server {
11     port port_cExtern cExtern;
12   };
13   // Templates for messages
14   template mStart startMessage := { reqCount := 2 };
15   // Testcase
16   testcase tc_start() runs on System_client_server {
17     cExtern.send(startMessage);
18     alt {
19     [] cExtern.receive(startMessage) {
20       setverdict(pass);
21     }
22     [] cExtern.receive {
23       setverdict(fail);
24     }
25   }
26 }
27

```

The screenshot shows the PragmaDev Studio interface with a menu bar (File, Edit, Search, Preferences, Windows, Help) and a toolbar. The main window displays the TTCN-3 code for the module Test_System_client_server. The code includes message types, a port definition, a component definition, and a test case tc_start(). The status bar at the bottom indicates the file path, line 27, column 0, and a size of 660 bytes.

Рис. 8. TTCN-3 модуль с тестовым примером для клиент-серверного приложения

Диаграммы последовательности сообщений (*Message Sequence Charts, MSC*) – это язык описания поведения системы в виде последовательности событий (диаграмм взаимодействия) из семейства *SDL*. Основное назначение диаграмм взаимодействия – описание последовательностей допустимых взаимодействий между компонентами системы и системой и ее окружением. Диаграммы изображаются в графическом и текстовом виде. Язык диаграмм взаимодействия стандартизован Международным Телекоммуникационным Союзом (*ITU-T*) (Рекомендация *Z.120*) [9].

Для тестирования системы с несколькими клиентами необходимо переписать тестовый модуль *TTCN-3* таким образом, чтобы он учитывал несколько клиентов, или создать и выполнить несколько экземпляров тестового примера параллельно (по одному для каждого клиента). Для моделирования одновременной работы нескольких клиентов следует учитывать все возможные чередования между тестовыми примерами. Например, если сообщение *startMessage* сначала передается первому клиенту, а потом второму, то необходимо рассмотреть вариант, когда это сообщение сначала передается второму клиенту, а потом первому.

Как выше было сказано, *PragmaDev Studio* имеет возможность имитировать развертывание экземпляров процессов в распределенной инфраструктуре. При этом имеется возможность использовать сетевой симулятор *Network Simulator ns-3* для настройки базовой инфраструктуры телекоммуникаций, поверх которой будут выполняться экземпляры процессов *SDL* или *SDL-RT*.

Телекоммуникационная инфраструктура *ns-3* состоит из:

- топологии сети, в которой задается местоположение узлов сети с помощью координат;
- сетевых узлов, соединенных проводными или беспроводными каналами связи или их комбинацией;

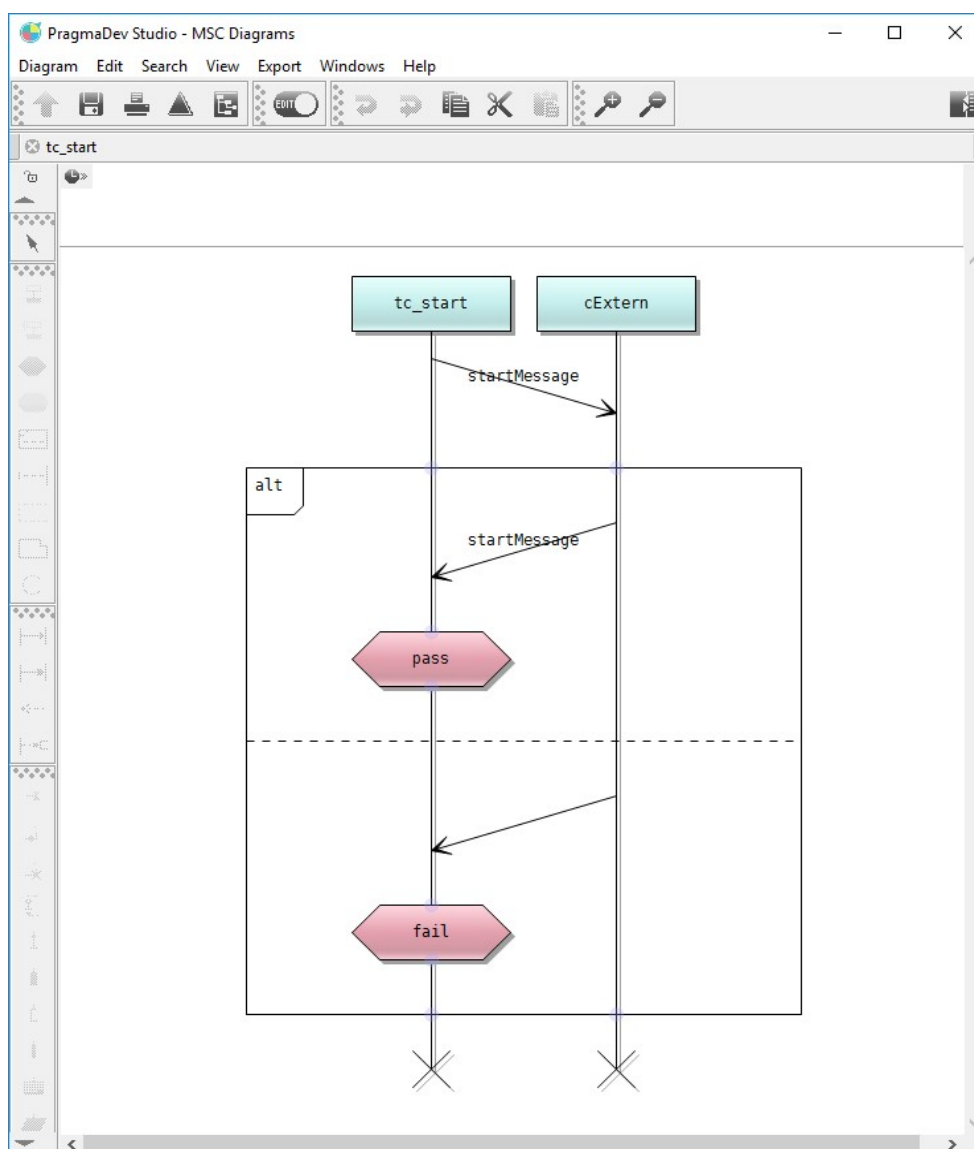


Рис. 9. Представление диаграммы *MSC* поведения тестового примера *TTCN-3*

– стека протоколов (*TCP/IP*, *IEEE 802.3*, *802.11*, *802.15*, протоколы маршрутизации проводных и беспроводных сетей и т. д.).

Так как *ns-3* представляет собой систему моделирования дискретных событий с одной задачей, необходимо, чтобы все экземпляры процесса выполнялись в одной задаче с симулятором *ns-3*. Для этого следует определить диаграмму развертывания *UML*. Агенты представляются в виде компонентов, которые должны быть связаны, по крайней мере, с одним узлом через отношения зависимости. Узлы на диаграмме представляют собой объекты *ns-3*, которые взаимодействуют с агентами базовой телекоммуникационной инфраструктуры, предоставляемой *ns-3*. Для клиент-серверной системы (рис. 2) компоненты и узлы на диаграмме развертывания могут быть следующими (рис. 7).

Это означает, что все экземпляры процесса в блоке *blockClient* и в блоке *blockServer* будут использовать соответственно узел *nodeClient* и узел *nodeServer* для получения доступа к уровням телекоммуникаций *ns-3*. Для успешного взаимодействия между ними каждый агент должен быть однозначно идентифицирован. Это обеспечивается с помощью атрибута *id* в компоненте и в узле. Значениями атрибута *id* являются *IP*-адрес для узла и *TCP*-порт для компонента. Атрибуту может быть присвоен список значений, разделенных запятыми, при этом количество значений для узла и подключенных компонентов должно совпадать.

Информация о внешних сообщениях включена в схему развертывания *UML* с помощью файла *nodes3.csv*.

В настройках генерации кода необходимо выбрать использование симулятора *ns-3.10* (для версии *PragmaDev Studio 5.4*), что укажет путь к каталогу *ns-3.10* с файлами, необходимыми для сборки.

Код, сгенерированный *PragmaDev Studio*, обеспечивает конфигурацию инфраструктуры сети по умолчанию: узлы сети расположены в топологии *grid* (двумерная сетка) и соединены проводными каналами связи по технологии *Ethernet/CSMA* с поддержкой стека протоколов *TCP/IP*. Для замены среды передачи на беспроводную необходимо добавить макрос компиляции *RTDS_DEPL_WIFI* в параметрах генерации. С помощью макроса *RTDS_DEPL_RANDOM_TOPO* для беспроводной среды можно задать случайное расположение узлов и модель движения.

Конфигурации по умолчанию находятся в директории установки *PragmaDev/share/ccg/ns-3.10/bricks/RTDS_Startup_begin_cpp.c*. Здесь можно внести изменения для создания других конфигураций сети или модификации существующих.

При запуске симулятор развертывания запустит сгенерированный исполняемый файл в фоновом режиме и отобразит узлы, изменения состояния, отправку и получение сообщений, а также время моделирования (рис. 10).

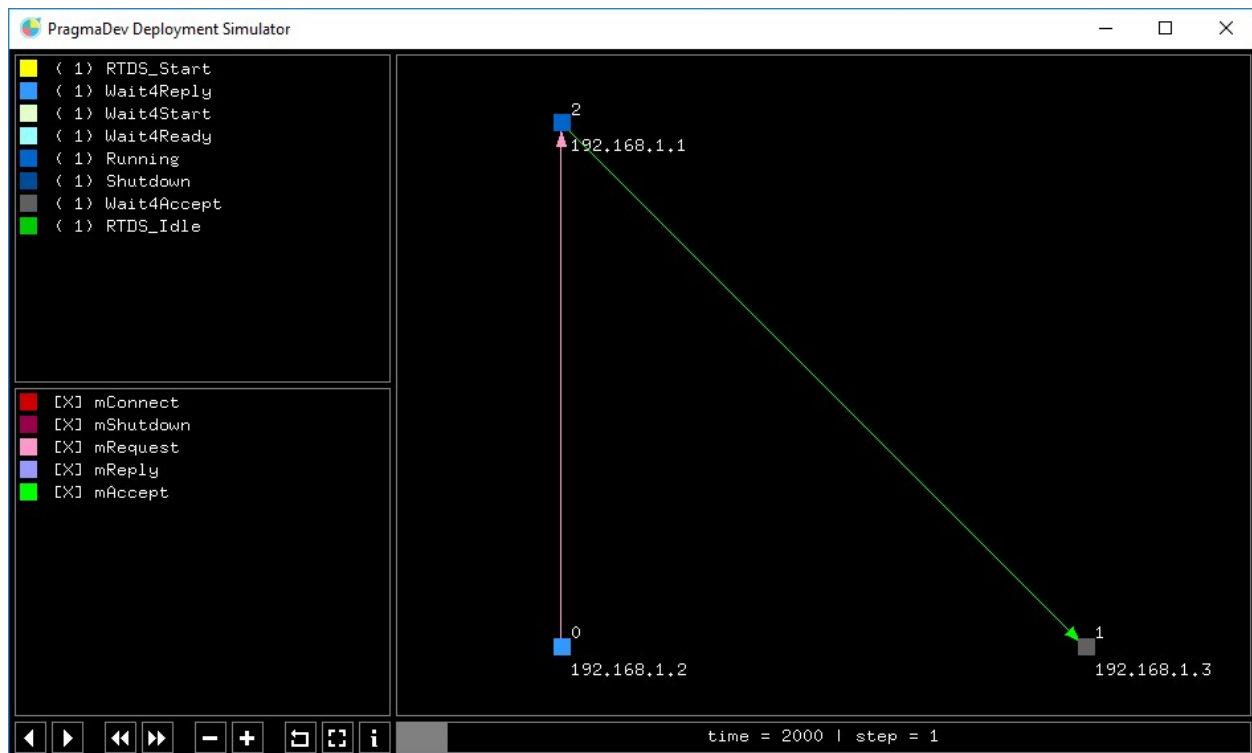


Рис. 10. Внешний вид окна симулятора развертывания

Все узлы отображаются с идентификатором, присвоенным им автоматически. Цвет узла представляет текущее состояние. Список состояний отображается в левом верхнем углу окна симулятора (рис. 10). Сообщения отображаются стрелкой от отправителя к получателю, цвет соответствует типу сообщения. Список сообщений расположен в левом нижнем углу окна симулятора (рис. 10). Для каждого узла можно запустить трассировщик *PragmaDev Tracer* для построения *MSC* диаграммы, которая будет отображать события всех экземпляров процесса, запущенных на узле (рис. 11).

Таким образом, при моделировании распределенных систем возможно использовать унифицированный подход к задачам моделирования архитектуры, поведения, коммуникаций

и конфигурации таких систем. Инструменты, основанные на *SDL* или *UML*, могут помочь в моделировании таких задач независимо от платформы моделирования. Интеграция с существующими библиотеками сетевого моделирования (*ns-3*) позволяет получить исполняемый файл из описания модели распределенной системы, основанной на языке *SDL* или *UML*.

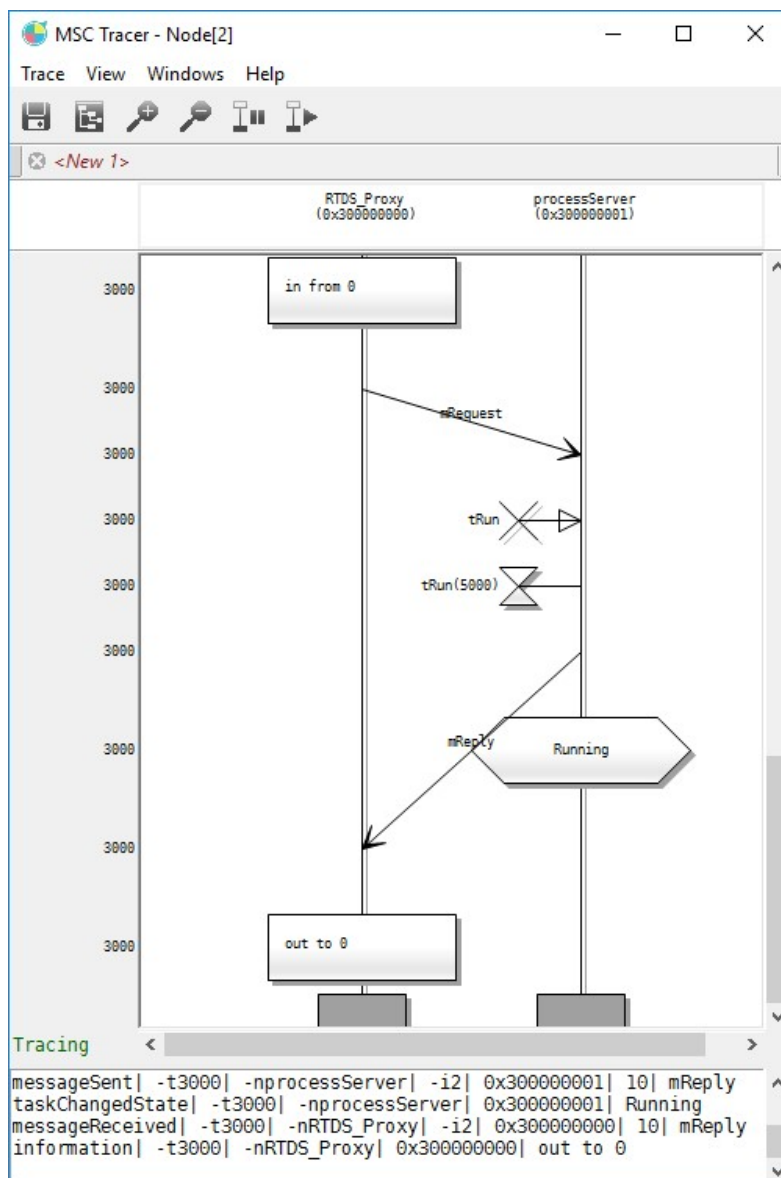


Рис. 11. MSC диаграмма процесса *processServer*, запущенного на узле 2

Литература

1. Brumbulli M. and Fischer J., “Simulation Configuration Modeling of Distributed Communication Systems,” in *System Analysis and Modeling: Theory and Practice*, ser. Lecture Notes in Computer Science, Ø. Haugen, R. Reed, and R. Gotzhein, Eds. Springer Berlin Heidelberg, 2013, vol. 7744, pp. 198–211 [электронный ресурс] URL: https://www.pragmadev.com/support/downloads/misc/DisComSys_SAM2012.pdf (дата обращения 27.03.2023).
2. PragmaDev Studio. Reference manual [электронный ресурс] URL: <https://www.pragmadev.com/> (дата обращения 20.11.2023).
3. ITU-T, “Specification and Description Language – Overview of SDL- 2010,” International Telecommunication Union – Telecommunication Standardization Sector, ITU-T Recommendation Z.100, 2011

[электронный ресурс] URL: <https://www.itu.int/ITU-T/recommendations/rec.aspx?rec=z.100> (дата обращения 20.11.2023).

4. ETSI, “Methods for Testing and Specification (MTS); The Testing and Test Control Notation version 3; TTCN-3 Language Extensions: Object-Oriented Features” European Telecommunications Standards Institute, ETSI Standard ES 203 790 V1.3.1, 2021 [электронный ресурс] URL: https://www.etsi.org/deliver/etsi_es/203700_203799/203790/01.03.01_50/es_203790v010301m.pdf (дата обращения 20.11.2023).

5. SDL-RT Consortium, “Specification and Description Language – Real Time,” SDL-RT Consortium, SDL-RT Standard V2.3, 2013 [электронный ресурс] URL: <http://sdl-rt.org/standard/V2.3/pdf/SDL-RT.pdf> (дата обращения 20.11.2023).

6. M. Brumbulli and E. Gaudin, “Automatic Interleaving for Testing Distributed Systems”. 8th European Congress on Embedded Real Time Software and Systems (ERTS 2016), Jan 2016, Toulouse, France [электронный ресурс] URL: [file:///C:/Users/molokovichia/Downloads/paper_3%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/molokovichia/Downloads/paper_3%20(1).pdf) (дата обращения 20.11.2023).

7. M. Brumbulli, “Model-Driven Development and Simulation of Distributed Communication Systems,” Ph.D. dissertation, Humboldt Universitat zu Berlin, 2015 [электронный ресурс] URL: <https://edoc.hu-berlin.de/bitstream/handle/18452/17885/brumbulli.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (дата обращения 20.11.2023).

8. ITU-T, “Testing and Test Control Notation version 3: TTCN-3 core language,” International Telecommunication Union – Telecommunication Standardization Sector, ITU-T Recommendation Z.161, 2014 [электронный ресурс] URL: <file:///C:/Users/molokovichia/Downloads/T-REC-Z.161-201411-S!!PDF-E.pdf> (дата обращения 20.11.2023).

9. ITU-T, “Message Sequence Chart”, International Telecommunication Union – Telecommunication Standardization Sector, ITU-T Recommendation Z.120, 2011 [электронный ресурс] URL: <file:///C:/Users/molokovichia/Downloads/T-REC-Z.120-201102-I!!PDF-E.pdf> (дата обращения 20.11.2023).

References

1. M. Brumbulli and J. Fischer, “Simulation Configuration Modeling of Distributed Communication Systems,” in *System Analysis and Modeling: Theory and Practice*, ser. Lecture Notes in Computer Science, Ø. Haugen, R. Reed, and R. Gotzhein, Eds. Springer Berlin Heidelberg, 2013, vol. 7744, pp. 198–211. Available at: https://www.pragmadev.com/support/downloads/misc/DisComSys_SAM2012.pdf (accessed 27 March 2023).

2. PragmaDev Studio. Reference manual. Available at: <https://www.pragmadev.com/> (accessed 20 November 2023).

3. ITU-T, “Specification and Description Language – Overview of SDL- 2010,” International Telecommunication Union – Telecommunication Standardization Sector, ITU-T Recommendation Z.100, 2011. Available at: <https://www.itu.int/ITU-T/recommendations/rec.aspx?rec=z.100> (accessed 20 November 2023).

4. ETSI, “Methods for Testing and Specification (MTS); The Testing and Test Control Notation version 3; TTCN-3 Language Extensions: Object-Oriented Features” European Telecommunications Standards Institute, ETSI Standard ES 203 790 V1.3.1, 2021. Available at: https://www.etsi.org/deliver/etsi_es/203700_203799/203790/01.03.01_50/es_203790v010301m.pdf (accessed 20 November 2023).

5. SDL-RT Consortium, “Specification and Description Language – Real Time,” SDL-RT Consortium, SDL-RT Standard V2.3, 2013. Available at: <http://sdl-rt.org/standard/V2.3/pdf/SDL-RT.pdf> (accessed 20 November 2023).

6. M. Brumbulli and E. Gaudin, “Automatic Interleaving for Testing Distributed Systems”. 8th European Congress on Embedded Real Time Software and Systems (ERTS 2016), Jan 2016, Toulouse, France. Available at: [file:///C:/Users/molokovichia/Downloads/paper_3%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/molokovichia/Downloads/paper_3%20(1).pdf) (accessed 20 November 2023).

7. M. Brumbulli, “Model-Driven Development and Simulation of Distributed Communication Systems,” Ph.D. dissertation, Humboldt Universitat zu Berlin, 2015. Available at: <https://edoc.hu-berlin.de/bitstream/handle/18452/17885/brumbulli.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (accessed 20 November 2023).

8. ITU-T, “Testing and Test Control Notation version 3: TTCN-3 core language,” International Telecommunication Union – Telecommunication Standardization Sector, ITU-T Recommendation Z.161, 2014. Available at: <file:///C:/Users/molokovichia/Downloads/T-REC-Z.161-201411-S!!PDF-E.pdf> (accessed 20 November 2023).

9. ITU-T, “Message Sequence Chart”, International Telecommunication Union – Telecommunication Standardization Sector, ITU-T Recommendation Z.120, 2011. Available at: file:///C:/Users/molokovichia/Downloads/T-REC-Z.120-201102-I!!PDF-E.pdf (accessed 20 November 2023).

Статья поступила 23 ноября 2023 г.

Информация об авторе

Молокович Игорь Аркадьевич – кандидат технических наук, доцент, ведущий инженер ПАО «Интелтех». Область научных интересов: телекоммуникационные сети; алгоритмы и протоколы маршрутизации. Тел.: +7 921 344 24 29. E-mail: igor-molokovich@yandex.ru
Адрес: 197342, Россия, г. Санкт-Петербург, Кантемировская ул., д. 8.

Modeling distributed application in PragmaDev Studio using a Network Simulator ns-3

I. A. Molokovich

Annotation. Task statement: to determine the possibility of using a unified approach to the tasks of modeling and testing distributed applications using the software product PragmaDev Studio, which uses the network Simulator Network Simulator ns-3 to configure the basic telecommunications infrastructure. **The aim of the work** is to use a unified approach to the process of modeling and testing a distributed application using the software product PragmaDev Studio on the example of a distributed client-server application using the network Simulator Network Simulator ns-3. **Methods used:** modeling and testing using the software product PragmaDev Studio, using the network Simulator Network Simulator ns-3. **The novelty** is that for modeling and testing distributed applications using the software product PragmaDev Studio, the Network Simulator ns-3 is used to configure the basic telecommunications infrastructure, on top of which instances of SDL or SDL-RT processes will be executed. **The result** is that with the help of PragmaDev Studio, an SDL system of a client-server application with a description of the behavior of client and server processes has been developed, a client-server application deployment model using Network Simulator ns-3 Network Simulator for configuring the basic telecommunications infrastructure has been proposed, and a TTCN-3 module with a test example for a client-server application has been developed. **Practical significance:** the proposed approach to modeling and testing distributed applications using the software product PragmaDev Studio, which has integration with the Network Simulator ns-3 libraries, allows you to get an executable file from the description of a distributed application model in SDL or SDL-RT, regardless of the modeling platform.

Keywords: modeling, testing, SDL, SDL-RT, TTCN-3, PragmaDevStudio, network simulator ns-3.

Information about author

Molokovich Igor Arkadievich – candidate of technical Sciences, associate Professor, leading engineer of PJSC "Inteltech". Research interests: telecommunication networks; routing algorithms and protocols. Тел.: +7 921 344 24 29. E-mail: igor-molokovich@yandex.ru
Address: Russia, 197342, Saint-Petersburg, Kantemirovskay str, 8.

Для цитирования: Молокович И. А. Моделирование распределенных приложений в PragmaDev Studio с использованием сетевого симулятора Network Simulator ns-3 // Техника средств связи. 2023. № 4 (164). С. 13-24. DOI:10.24412/2782-2141-2023-4-13-24.

For citation: Molokovich I. A. Modeling distributed application in PragmaDev Studio using a Network Simulator ns-3. Means of Communication Equipment. 2023. No. 4 (164). Pp. 13-24. DOI:10.24412/2782-2141-2023-4-13-24 (in Russian).

СИСТЕМЫ СВЯЗИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ

УДК 621.376.9, 004.942, 519.876.5

DOI:10.24412/2782-2141-2023-4-25-32

Амплитудные и фазовые искажения в двухлучевом канале

Гук И. И.

***Аннотация.** Для ионосферной связи в декаметровом диапазоне характерны амплитудные и фазовые искажения, вызванные наличием в точке приёма нескольких лучей, прошедших различные расстояния, то есть имеющих разное время запаздывания. Их суммирование в точке приёма и вызывает искажения. В статье ставится задача рассмотрения причин возникновения амплитудных и фазовых искажений, вызванных многолучевостью. Целью работы является выработка рекомендаций по построению амплитудных и фазовых корректоров при построении модемов декаметровой связи. При моделировании используются методы цифровой обработки сигналов, компьютерного моделирования и теории связи. Новизна состоит в том, что для реализации корректоров предлагается использовать выявленные зависимости фазовых и амплитудных искажений от времени запаздывания при распространении сигнала, а также от разности времён запаздывания для принимаемых лучей. К результатам работы относится программный моделирующий стенд для вычислительной среды технических расчетов MATLAB. Практическая значимость работы заключается в том, что полученные результаты позволяют реализовать корректоры фазы и амплитуды на основе анализа принятого информационного сигнала, без необходимости передачи дополнительных тестовых последовательностей. Результаты работы могут использоваться при разработке аппаратуры передачи данных для декаметровой радиосвязи.*

***Ключевые слова:** ионосферное распространение радиоволн, корректор, многолучевость, субчастоты, относительно-фазовая модуляция.*

Введение

Одна из основных особенностей ионосферного распространения радиоволн декаметрового диапазона – это постоянные флуктуации параметров канала связи в достаточно широких пределах, что вызывает необходимость интеллектуальной адаптации параметров радиотракта. В современных декаметровых системах применяются различные способы предварительного зондирования ионосферы и предварительной настройки радиотракта, основанные на передаче тестовых сигналов, оценке их на приеме и последующей настройке аппаратуры по полученным результатам. Данный подход не приемлем в условиях динамически изменяющихся характеристик распространения сигнала (в приполярных регионах, во время смены дня и ночи и т. д.), особенно при военном применении таких систем, так как не может обеспечить коэффициент готовности к передаче поступившего сообщения больше 0,8.

Основная причина нестабильности амплитудной и фазовой характеристик обуславливается многолучевым характером распространения сигнала при его отражении от ионосферы. Частично скомпенсировать влияния многолучевости на качество связи можно за счёт использования дифференциальных видов модуляции, например, относительно-фазовой модуляции (ОФМ). Однако при этом скорость информационного обмена снижается, так как для таких видов модуляции требуются наличие опорной посылки.

В качестве примера рассмотрим многочастотный модем, имеющий 20 поднесущих частот, размещённых в рабочей полосе частот с шагом 100 Гц. Длительность одной посылки с постоянной фазой составляет 12,5 мс. Всего посылок в одном информационном пакете – четыре. Обычно, первая посылка является опорной и фазы поднесущих частот, составляющих эту

посылку, определяются случайным образом с учётом кратности модуляции и не несут информационной нагрузки. То есть теряется примерно 25 % пропускной способности канала.

Для того, чтобы иметь возможность передавать информацию в опорной посылке необходимо уметь корректировать искажения амплитуды и фазы, обусловленные многолучевым характером распространения радиоволн. Возможный вариант построения амплитудно-фазового корректора для ионосферного канала декаметрового диапазона связи был рассмотрен в работе [1], который и послужил отправной точкой для написания данной статьи.

Описание моделирующего стенда

Для выявления причин фазовых и амплитудных искажений в случае многолучевого распространения сигнала предлагается использовать модель, представленную на рис. 1. Данная модель построена с учётом требований рекомендации 1487 [2]. Однако, для выявления зависимостей амплитудных и фазовых искажений, обусловленных только многолучевостью, она была упрощена: аддитивный шум не учитывается.



Рис. 1. Модель многолучевого канала

Источник формирует многочастотный сигнал с модулированной фазой и постоянной амплитудой. При этом размерность преобразования Фурье и количество отсчётов сигнала согласованы так, чтобы содержать целое количество периодов.

Модули задержки 1 и 2 выполняют временной сдвиг сформированного источником сигнала на величины τ_1 и τ_2 для двух путей распространения сигнала, соответственно.

Модуль умножения масштабирует амплитуды второго луча на величину $k \leq 1$.

Сумматор объединяет (суммирует) два луча с различными временами запаздывания (задержками).

Результаты моделирования

При анализе искажений амплитуды и фазы, вызванных многолучевостью, рассматривались три случая соотношения задержек в лучах приёма и масштабирующего множителя:

- равенство ($\tau_1 = \tau_2, k = 1$),
- противоположность ($\tau_1 = -\tau_2, k = 1$),
- неравенство ($\tau_1 = -\tau_2, k < 1$).

Такой подход позволяет рассмотреть отдельно и независимо друг от друга три фактора, влияющих на амплитуду и фазу суммарного сигнала: во-первых, влияние только задержки распространения, во-вторых, влияние только разности задержек в двух лучах приёма, в-третьих, влияние только отличия амплитуд в различных лучах приёма.

Для большей наглядности, в качестве исходного (от источника) был выбран сигнал с нулевой фазой для всех субчастот. Его амплитудный и фазовый спектры показаны на рис. 2.

Результаты экспериментов для случая равенства задержек представлены на рис. 3. Показаны амплитудные и фазовые спектры суммарного сигнала при условии, что задержки одинаковы и равны 0,5; 1,0 и 1,5 мс.

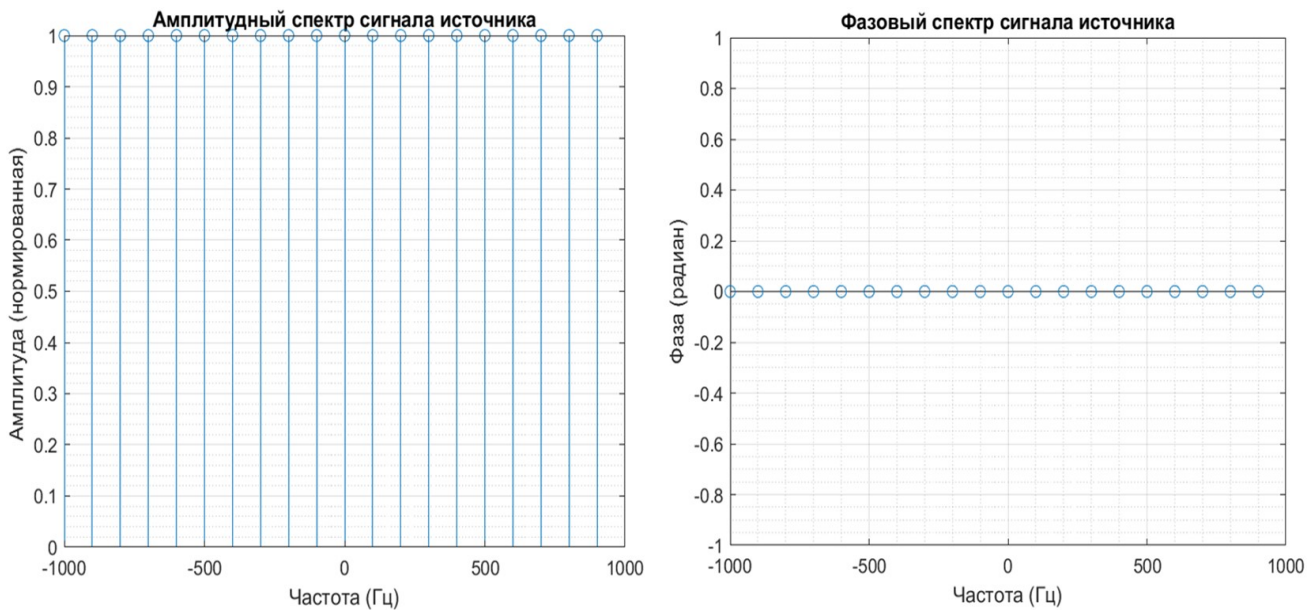


Рис. 2. Амплитудный и фазовый спектры сигнала источника с нулевой фазой

Эксперимент позволяет сделать вывод, что амплитуды субчастот не зависят от величины задержки, а фазы субчастот имеют ярко выраженную линейную зависимость, нормированную по модулю π .

Результаты экспериментов для случая противоположных задержек представлены на рис. 4. Задержка τ_1 принимает значения 0,2; 0,45 и 0,95 мс, соответственно, задержка τ_2 – - 0,2; - 0,45 и - 0,95 мс.

Очевидно, что появилась нелинейная зависимость амплитуд и фаз субчастот от разности задержек. Причём, для фазы эти искажения проявляются как скачкообразные изменения фазы в точках, где для одинаковых субчастот разных лучей разность задержек определяет разность фаз больше π . В этих же точках амплитуды субчастот принимают минимальные значения.

Третий случай самый интересный. Его результаты представлены на рис. 5.

В данном эксперименте наблюдаются следующие виды искажений:

- изменение амплитуды субчастот, причём, чем меньше коэффициент умножения k , тем меньше перепад амплитуд;
- наличие равномерно распределённых на оси частот, где фаза равна 0;
- наличие равномерно распределённых на оси частот, где фаза равна π ;
- наличие равномерно распределённых на оси частот, где фаза равна $\pi/2$;
- линейное нарастание фазы вокруг точек с фазами 0 и π .

Выводы

Проведенные эксперименты позволяют сделать следующие выводы:

1. Амплитуды субчастот не зависят от задержки распространения в многолучевом канале.
2. Фазы субчастот зависят от задержки распространения линейно, и могут быть определены в соответствии со следующим выражением:

$$\varphi_i = \text{mod}_{\pi}(2\pi f_i \tau), \quad (1)$$

где i – номер субчастоты, $\text{mod}_{\pi}()$ – операция взятия модуля по основанию π , φ_i – фаза субчастоты, f_i – номинал субчастоты, τ – величина задержки.

3. Амплитуды субчастот имеет нелинейную зависимость от разности задержек в лучах приёма, и могут быть вычислен в соответствии с теоремой косинусов:

$$a_i = \sqrt{a_i^1 + a_i^2 + 2a_i^1 a_i^2 \cos(\pi - 2\pi f_i (\tau_1 - \tau_2))} , \quad (2)$$

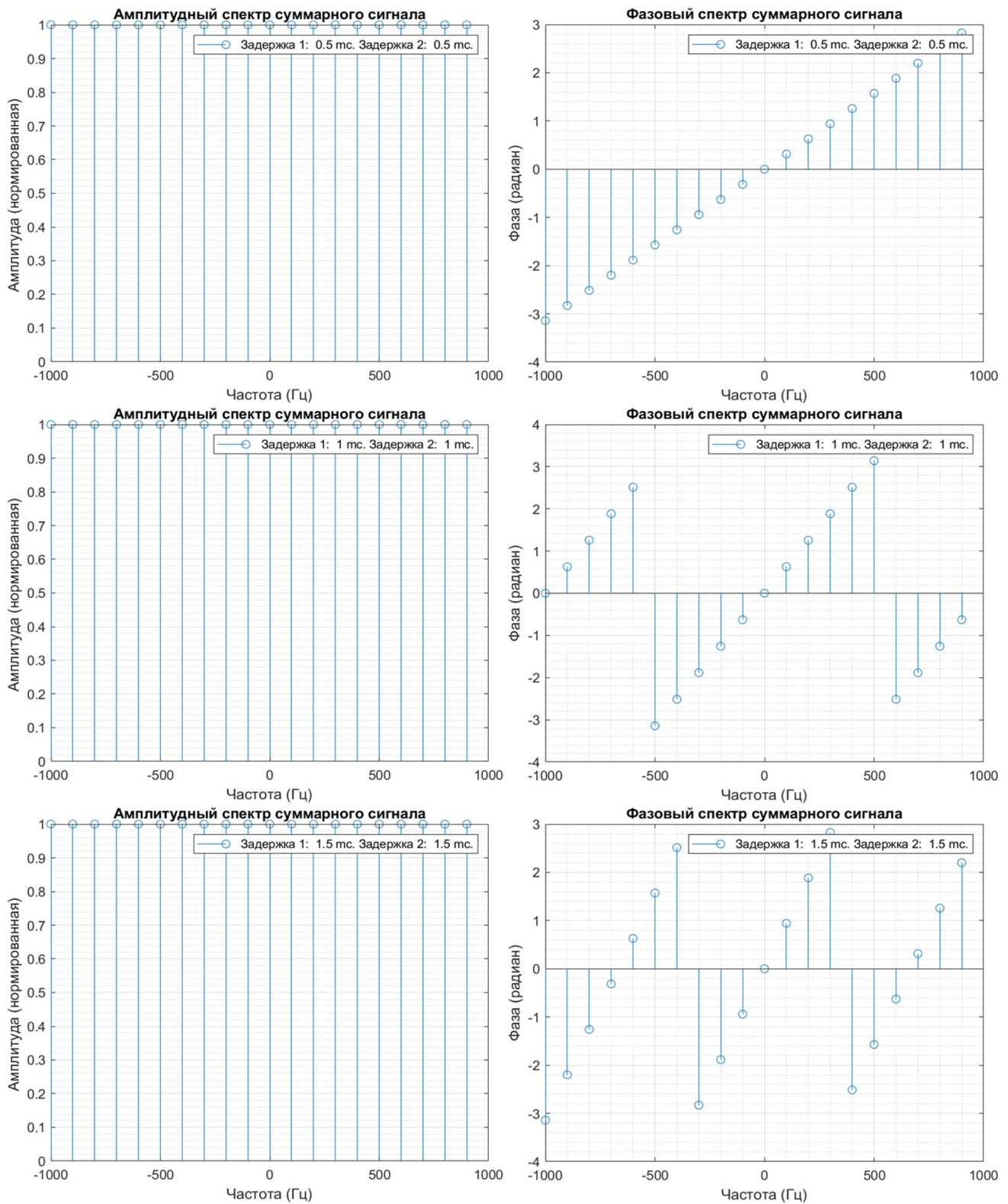


Рис. 3. Амплитудный и фазовый спектры суммарного сигнала при условии $\tau_1 = \tau_2$, и $k = 1$

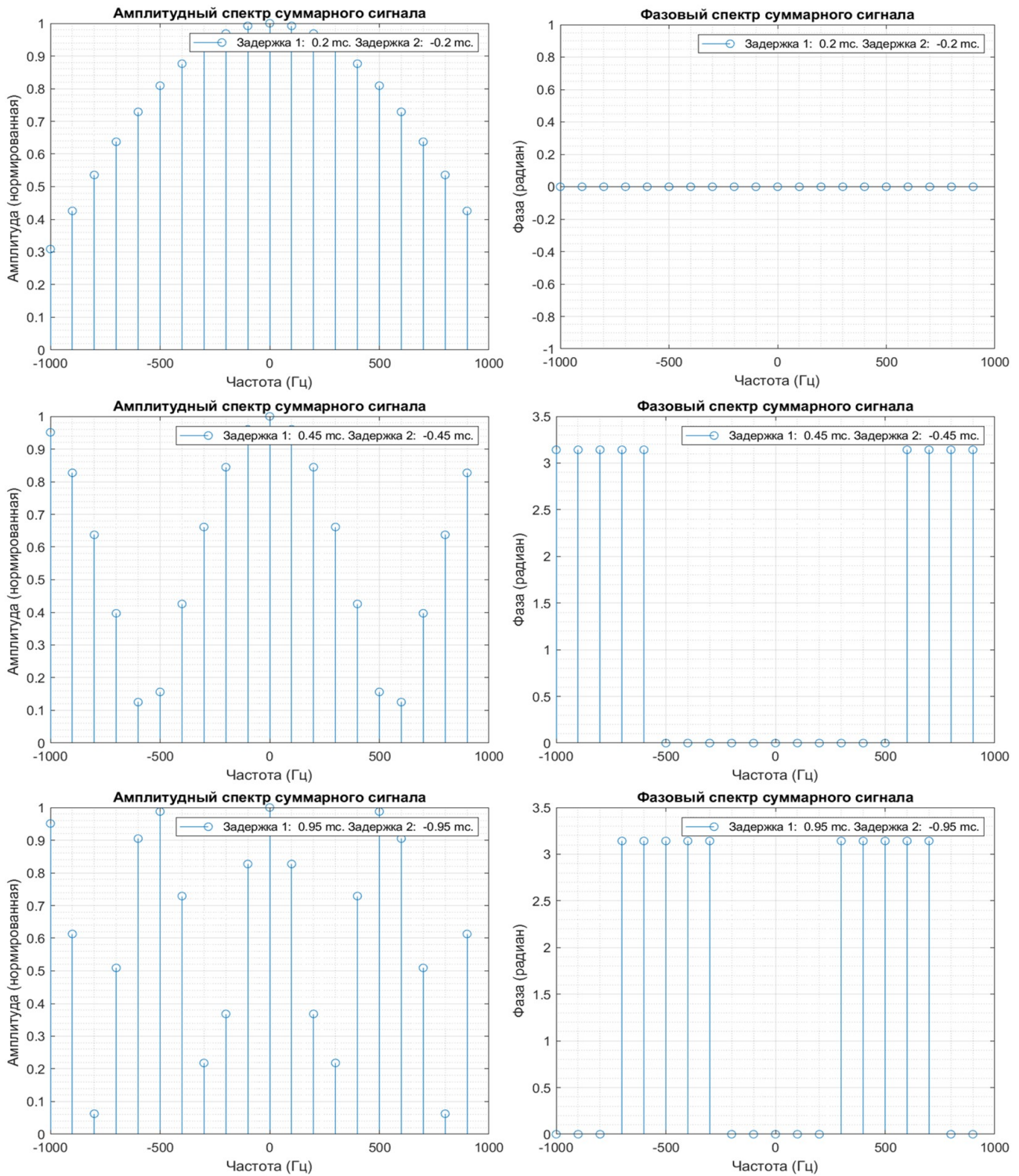


Рис. 4. Амплитудный и фазовый спектры суммарного сигнала при условии $\tau_1 = -\tau_2$, и $k = 1$

4. Амплитуды субчастот имеет нелинейную зависимость от разности задержек в лучах приёма, и могут быть вычислен в соответствии с теоремой косинусов:

$$a_i = \sqrt{a_i^1 + a_i^2 + 2a_i^1 a_i^2 \cos(\pi - 2\pi f_i (\tau_1 - \tau_2))} , \tag{2}$$

где i – номер субчастоты, a_i^1 и a_i^2 – амплитуды субчастот для первого и второго луча, соответственно, f_i – номинал субчастоты, τ_1 и τ_2 – задержки сигнала для первого и второго луча, соответственно.

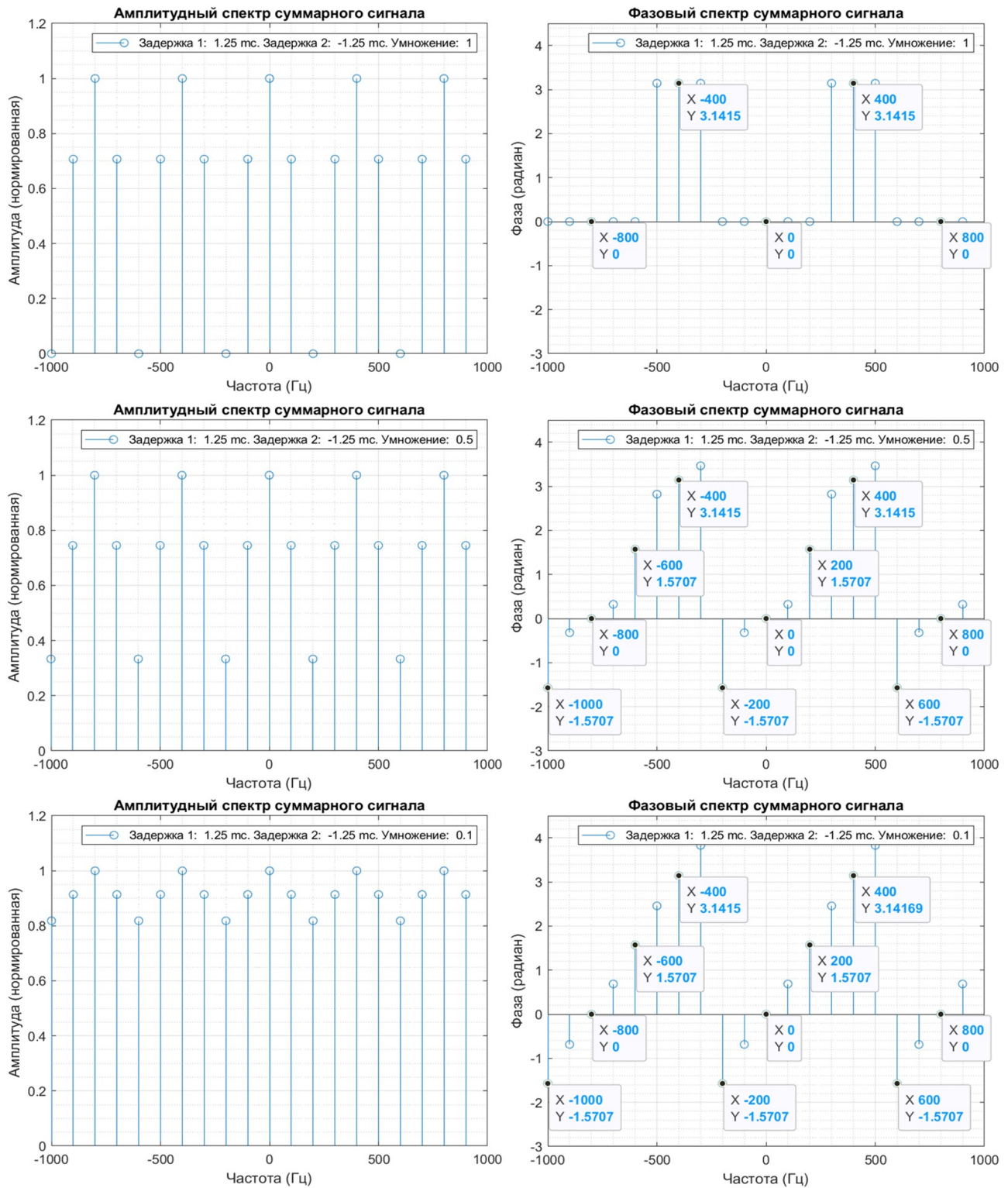


Рис. 5. Амплитудный и фазовый спектры суммарного сигнала при условии $\tau_1 = \tau_2$, и $k < 1$

5. Если допустить, что $a_i^1 = a_i^2 = 1$, тогда выражение (2) может быть упрощено:

$$a_i = \cos(\pi f_i (\tau_1 - \tau_2)). \tag{3}$$

Фаза субчастот также имеет нелинейную зависимость от задержки в лучах приёма, которая выражается в скачкообразном изменении фазы на π . Значение фазы в точках переворота равно $\pi/2$. Точки переворота фазы (значение частоты) могут быть определены в соответствии с выражением:

$$f_{\frac{\pi}{2}} = \pm \left(\frac{0,5+n}{\tau_1-\tau_2} \right), \quad (4)$$

где n – номер точки переворота фазы, $f_{\frac{\pi}{2}}$ – номинал частоты, где происходит переворот фазы, τ_1 и τ_2 – задержки сигнала для первого и второго луча, соответственно.

Применяя выражение (4) необходимо помнить, что оно определяет переворот фазы на величину π относительно предыдущего интервала.

6. Фаза субчастот имеет точки, где всегда равна π :

$$f_{\pi} = \pm \left(\frac{0,5+2n}{\tau_1-\tau_2} \right), \quad (5)$$

где $n = 0, 1, 2, 3, \dots$ – номер точки равенства фаз π , f_{π} – номинал частоты, где фазы равны π , τ_1 и τ_2 – задержки сигнала для первого и второго луча, соответственно.

7. Фаза субчастот имеют точки, где всегда равны 0:

$$f_0 = \pm \frac{4n}{\tau_1-\tau_2}, \quad (6)$$

где $n = 0, 1, 2, 3, \dots$ – номер точки равенства фаз 0, f_0 – номинал частоты, где фазы равны 0, τ_1 и τ_2 – задержки сигнала для первого и второго луча, соответственно.

Исходя из полученного результата, можно предложить функциональную схему амплитудного и фазового корректора, представленную на рис. 6.

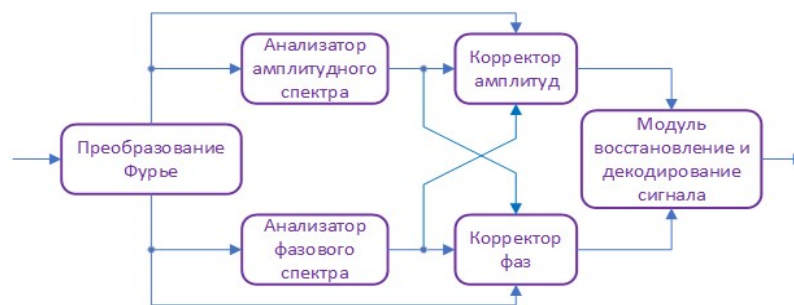


Рис. 6. Функциональная схема амплитудного и фазового корректора

Сигнал, представляющий сумму двух лучей, поступает на преобразователь Фурье, который формирует амплитудный и фазовый спектры.

Амплитудный спектр поступает на корректор амплитуд и анализатор амплитудного спектра. Анализатор, на основании выявленных точек минимума на частотной оси, определяет величину разности задержек и передаёт это значение на корректоры амплитуды и фазы.

Фазовый спектр поступает на корректор фаз и анализатор фазового спектра. Анализатор на основании фазовых соотношений между субчастотами определяет величину задержки и передаёт её корректору фаз, кроме этого, определяются значение частот, где фазы равны 0, π и $\pi/2$ и передаются в корректор амплитуд.

Корректор амплитуд, на основании полученного значения разности задержек в лучах приёма, восстанавливает амплитуды субчастот и полученный амплитудный спектр передаёт модулю восстановления и декодирования сигнала.

Корректор фаз, на основании полученных значений задержки и разности задержек, восстанавливает фазы субчастот и полученный фазовый спектр передаёт модулю восстановления и декодирования сигнала.

Модуль восстановления и декодирования сигнала, получив восстановленные амплитудный и фазовый спектры, формирует и декодирует сигнал.

Схема, показанная на рис. 6, является наполнением модуля «Получатель», показанного на рис. 1. Возможный вариант реализации корректора, построенного в соответствии с представленной функциональной схемой, предполагается рассмотреть в следующей статье.

Литература

1. Шаптала В. С. Построение эквалайзера для радиомодема в диапазоне коротких волн // Техника средств связи. 2022. № 3. С. 15-20.
2. ITU-R F.1487: Testing of HF modems with bandwidths of up to about 12 kHz using ionospheric channel simulators, 2000.

References

1. Шаптала В.С. Построение эквалайзера для радиомодема в диапазоне коротких волн // Техника средств связи. 2022. № 3. С. 15-20.
2. ITU-R F.1487: Testing of HF modems with bandwidths of up to about 12 kHz using ionospheric channel simulators, 2000.

Статья поступила 12 ноября 2023 г.

Информация об авторах

Гук Игорь Иосифович – Ведущий инженер ПАО «Интелтех», кандидат технических наук. Область научных интересов: цифровая обработка сигналов в телекоммуникационных системах. E-mail: gukii@inteltech.ru.

Адрес: 197342, г. Санкт-Петербург, Кантемировская ул., д.8, тел. 8(812)448-19-01.

Amplitude and phase distortions in the two-beam channel

I. I. Guk

Annotation: For ionospheric communication in the decameter range, amplitude and phase distortions are characteristic, caused by the presence of several rays at the receiving point that have passed different distances, that is, having different delay times. Their summation at the receiving point causes distortion. **The article sets the task** of considering the causes of amplitude and phase distortions caused by multipath. **The aim of the work** is to develop recommendations for the construction of amplitude and phase correctors when constructing decameter communication modems. The modeling **uses methods** of digital signal processing, computer modeling and communication theory. **The novelty lies** in the fact that for the implementation of correctors, it is proposed to use the revealed dependencies of phase and amplitude distortions on the delay time during signal propagation, as well as on the difference in delay times for the received beams. The **results** of the work include a software modeling stand for the computing environment of technical calculations MATLAB. **The practical significance** of the work lies in the fact that the results obtained make it possible to implement phase and amplitude correctors based on the analysis of the received information signal, without the need to transmit additional test sequences. The results of the work can be used in the development of data transmission equipment for decameter radio communication.

Keywords: ionospheric propagation of radio waves, corrector, multipath, subfrequencies, relative phase modulation.

Information about authors

Guk Igor Iosifovich – Leading Engineer of “Inteltech”, Ph.D. of Engineering Sciences. Scientific interests: digital signal processing in telecommunication systems. E-mail: shaptalavs@inteltech.ru.

Address: Russia, 197342, Saint-Petersburg, Kantemirovskaya street 8, Tel.: 8(812) 448-19-01.

Для цитирования: Гук И. И. Амплитудные и фазовые искажения в двухлучевом канале // Техника средств связи. 2023. № 4 (164). С.25-32. DOI:10.24412/2782-2141-2023-4-25-32.

For citation: Guk I. I. Amplitude and phase distortions in the two-beam channel. Means of communication equipment. 2023. No.4 (164). Pp. 25-32. DOI:10.24412/2782-2141-2023-4-25-32 (in Russian).

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

УДК 623.618.5

DOI:10.24412/2782-2141-2023-4-33-38

**Риски при выполнении гарантийных обязательств
предприятиями оборонной промышленности**

Прищенко В. Н., Мегера Ю. А., Бурлаков А. А.

Аннотация. Обоснование (расчет, оценка) числовых значений показателей гарантийных сроков является сложной методической задачей, однозначного единого решения которой не может быть, учитывая существенные особенности в моделях отказов и моделях эксплуатации изделий. Рассмотрены риски необоснованных затрат на выполнение гарантийных обязательств предприятием-поставщиком. **Актуальность:** как показывает практика, при внедрении и практическом применении нормативно-правовых актов Российской Федерации и документов по стандартизации оборонной продукции существуют риски, связанные с недостаточной определенностью некоторых терминов, процедур, не регламентированным порядком назначения гарантийных сроков и т.д., при исполнении предприятиями оборонной промышленности гарантийных обязательств при выполнении Государственного оборонного заказа. **Цель работы:** для объективной оценки качества процесса рекламационной деятельности необходимо определить причины, приводящие к неоправданным затратам на ведение рекламационной работы, которые могут быть уменьшены или сведены к минимуму. **Используемые методы:** метод выбора определяющего показателя, визуальный анализ графической схемы процесса, анализ времени выполнения процесса, анализ потерь, возникающих при выполнении процесса, анализ потенциала автоматизации процесса. **Новизна:** обоснование (расчет, оценка) числовых значений показателей гарантийных сроков. Оценка результативности рекламационной деятельности предполагает рациональность применения логических правил, соответствующего математического аппарата моделирования результатов рекламационной работы и их сравнение с поставленной целью. **Результат:** полученные оценки результативности должны быть проанализированы и положены в основу соответствующих управленческих решений, направленных на улучшение процесса рекламационной деятельности и взаимосвязанных процессов системы менеджмента качества. **Практическая значимость:** определены причины, приводящие к неоправданным затратам на ведение рекламационной работы, которые могут быть уменьшены или сведены к минимуму тремя основными способами.

Ключевые слова: гарантийные обязательства, контроль качества, подсистема технического обеспечения, рекламационная работа, стандартизация.

Введение

Основу нормативного обеспечения формирования и исполнения гарантийных обязательств, устанавливаемых в контрактах на поставку товара (выполнение работ, оказание услуг) по государственному оборонному заказу (ГОЗ), составляют нормативные правовые акты Российской Федерации (РФ) и документы по стандартизации оборонной продукции (ДСОП). В настоящее время ДСОП, определяющие организационно-методические аспекты обоснования и задания показателей гарантийных обязательств и осуществления рекламационной работы, существенно обновлены (ГОСТ РВ 15.306-2003 с изм. № 1 от 2021 г., ГОСТ РВ 0015-703-2019, ГОСТ РВ 1900-011-2021, ГОСТ РВ 51030-97 с изм. № 1 от 06.08.2018 г. и др.) [1].

Однако, как показала практика, при внедрении и практическом применении этих документов по стандартизации существуют риски, связанные с недостаточной определенностью некоторых терминов, процедур, не регламентированным порядком назначения гарантийных сроков и т.д., при исполнении предприятиями оборонной промышленности гарантийных обязательств при выполнении ГОЗ.

В данной статье будут рассмотрены риски необоснованных затрат на выполнение гарантийных обязательств предприятием-поставщиком.

Причины, приводящие к неоправданным затратам на ведение рекламационной работы

Рассмотрим основные несоответствия, приводящие к увеличению затрат показанные на рис.

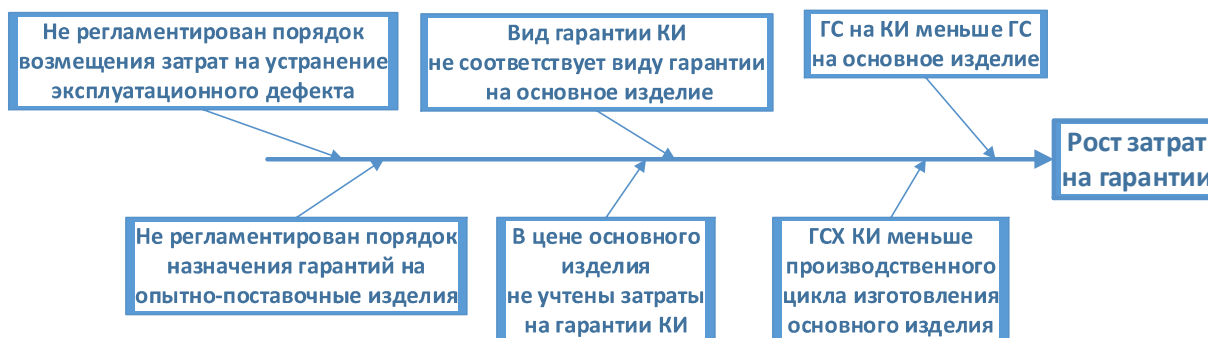


Рис. Риск роста затрат на гарантии

1. Виды и сроки гарантий на покупные комплектующие изделия (КИ) не коррелированы с видами и сроками гарантий основного изделия.

Данная причина особенно проявляется в случае, когда конечное изделие представляет собой комплекс (комплект), состоящий в том числе, из покупных комплектующих изделий (КИ) [2]. В соответствии с требованиями ГОСТ РВ 15.306 гарантийные сроки на составные части (СЧ) и КИ считаются равными гарантийным срокам на образцы, комплексы (системы) и истекают одновременно с истечением гарантийных сроков на образцы, комплексы (системы), если иное не предусмотрено техническими условиями и (или) стандартом, контрактом на поставку образцов комплексов (систем) с учетом продолжительности транспортирования, хранения на складе и (или) хранения в составе образца, комплекса (системы) в процессе хранения и изготовления в соответствии с требованиями ГОСТ В 9.003. Поставщик КИ должен гарантировать соответствие их качества гарантийным обязательствам, установленным равными с изделиями, в которых они используются (п. 4.5 ГОСТ РВ 15.306). Гарантийные сроки на отдельные СЧ и КИ, отличные от гарантийных сроков на образцы, комплексы (системы), должны быть отражены в технической документации.

В тактико-техническом задании (ТТЗ) на разработку изделия ТТЗ, как правило, указываются требуемые вид, продолжительность и дата исчисления гарантийных обязательств на изделие в целом, без учета реальных гарантийных обязательств поставщиков на покупные комплектующие изделия. При этом могут наблюдаться следующие случаи:

- вид гарантии на КИ не соответствует виду гарантии на основное изделие. Например, на основное изделие установлены гарантийные сроки (ГС) хранения и эксплуатации, а на КИ может быть только ГС эксплуатации;
- гарантийные сроки, в том числе ГС хранения и эксплуатации на КИ, имеют меньшую продолжительность, чем на основное изделие;
- гарантийный срок хранения КИ меньше производственного цикла изготовления основного изделия.

В случае, когда на основное изделие установлены ГС хранения и эксплуатации, а на КИ установлен только ГС эксплуатации, возникает вопрос: несет ли поставщик КИ гарантийные обязательства, если основное изделие в эксплуатацию не введено. В ГОСТ РВ 15.306 и ГОСТ РВ 0015-703 данная ситуация не рассматривается, что может привести к разногласиям

между потребителем (изготовителем основного изделия) и поставщиком КИ. Особенно это проявляется, когда производственный цикл изготовления основного изделия имеет большую продолжительность. За чей счет будет устраняться дефект не понятно. Конечной заинтересованной стороной своевременного восстановления дефектного КИ является изготовитель основного изделия, являющийся потребителем (получателем) КИ.

В случае, когда ГС на КИ истекает раньше ГС на основное изделие, затраты на восстановление дефектного КИ несет изготовитель основного изделия. Как правило, такой ремонт производится на договорной основе.

В случае, когда ГС хранения КИ меньше производственного цикла изготовления основного изделия, целесообразно предусмотреть процедуру продления ГС хранения КИ. В соответствии с п. 6.10а ГОСТ РВ 0015-703 решение о целесообразности продления действия гарантийных обязательств принимают в каждом конкретном случае совместно с военным представительством Министерства обороны Российской Федерации (далее – ВП), закрепленным за организацией, а в случае отсутствия ВП – совместно с государственным заказчиком. При этом ГОСТ РВ 0015-703 содержит спорное положение, что решение о целесообразности продления действия гарантийных обязательств принимает изготовитель образца изделия (в данном случае основного изделия) совместно с ВП, закрепленным за ним, в отношении продления истекающего ГС хранения КИ для дальнейшей возможности установки КИ на образец.

Так же спорные ситуации содержатся и в Положении о военных представительствах МО РФ (утверждено Постановлением Правительства РФ от 11.08.1995 г. № 804), согласно которым руководители организаций обеспечивают своевременное планирование и выполнение организацией работ по замене составных частей эксплуатируемых изделий военной продукции, имеющих меньшие ГС, чем указанные изделия (п. 13 Положения). В данном случае уместно говорить о сроках эксплуатации (ресурсе), по достижении которого составная часть должна быть заменена. Продление назначенного ресурса, срока службы, срока хранения осуществляют в порядке, установленном ГОСТ РВ 0015-703.

Кроме этого, не однозначным является вопрос обеспечения условий хранения КИ после установки в основное изделие в процессе его изготовления. Например, комплектующее изделие «XXX» в соответствии с эксплуатационной документацией (ЭД) до ввода в эксплуатацию должно храниться в заводской упаковке, т.е. в законсервированном виде. Период от расконсервации КИ и до ввода в эксплуатацию основного изделия не относится ни к хранению, ни к эксплуатации. В явном виде налицо нарушение правил хранения, установленных в ЭД. Интенсивность отказов в данном режиме «хранения» близка к интенсивности отказов при эксплуатации. Формально поставщик КИ может признать изделие не гарантийным. В ГОСТ РВ 15.306 и ГОСТ РВ 0015-703 данная ситуация не рассматривается.

В идеале гарантийные сроки на КИ должны быть назначены с учетом продолжительности производственного цикла изготовления основного изделия, а также с учетом видов и сроков гарантий на основное изделие. В соответствии с п. 6.7 ГОСТ РВ 15.306 в контракте по соглашению сторон могут устанавливаться повышенные гарантийные обязательства по сравнению с предусмотренными техническими условиями и (или) стандартами.

2. Затраты на гарантийные обязательства не учитываются в стоимости изделия.

Известно, что количество и частота возникновения дефектов (отказов) напрямую зависит от надежности изделия, и в первую очередь от уровня безотказности. Требуемые показатели надежности для изделий, разработанных в рамках ГОЗ, как правило, устанавливаются заказчиком в тактико-техническом задании на разработку изделия. Так как надежность изделия конечна, то с определенной интенсивностью могут происходить отказы комплектующих электрорадиоизделий (ЭРИ) и (или) составных частей изделия.

Исходя из вышесказанного можно утверждать, что чем ниже уровень надежности изделия, тем выше затраты на устранение дефектов и наоборот. Но при этом необходимо учитывать, что с ростом уровня надежности растет стоимость изделия.

Согласно п. 6.12 ГОСТ РВ 15.306 продолжительность гарантийных сроков устанавливает заказчик либо разработчик изделия по согласованию с заказчиком на основе расчетных, экспериментальных и эксплуатационных показателей надежности в соответствии с методиками, разработанными для конкретных видов изделий, согласованными с заказчиком. При этом целесообразно учитывать и экономические составляющие. При выполнении опытно-конструкторской работы (ОКР), как правило, такой расчет не проводится.

Кроме этого, в цену изделия не включены затраты на гарантийный ремонт КИ, имеющих ГС меньше гарантийного срока основного изделия.

Обоснование (расчет, оценка) числовых значений показателей гарантийных сроков является сложной методической задачей, однозначного единого решения которой не может быть, учитывая существенные особенности в моделях отказов и моделях эксплуатации изделий.

3. Не установлен порядок возмещения затрат на командирование специалистов предприятия в случаях, когда дефект не подтвердился.

В ГОСТ РВ 0015-703 не рассматривается случай, когда дефект не подтвердился. Компенсация затрат предприятию-поставщику потребителем за «ложный вызов» в ГОСТ РВ 001-703 не предусмотрена. Практика показывает, что потребитель крайне редко идет на добровольное возмещение таких затрат. Как правило, в данной ситуации применяется взыскание затрат через суд.

4. Не установлен порядок исчисления или прекращения гарантийного срока в случае установления эксплуатационного характера дефекта, а также возмещения расходов поставщику за выявление и устранение эксплуатационного дефекта.

Эксплуатационные дефекты могут носить различный характер по объему восстановления изделия и последствиям для технического состояния изделия, поэтому требуется правило для однозначного определения, в каких случаях следует прекращать исполнение гарантийных обязательств в отношении дефектного изделия, а в каких исполнение гарантийных обязательств может быть возобновлено [3].

В ГОСТ РВ 0015-703 не приведен порядок исчисления гарантийного срока или прекращения ГС в случае возникновения дефекта эксплуатационного характера.

Возмещение расходов поставщику изделия и расчетов между заказчиком и поставщиком изделия за выявление эксплуатационного дефекта, устранение причин его возникновения, ремонт (восстановление исправного состояния) изделия (его комплектности) или замену дефектного изделия на новое, проведение подготовительных и заключительных операций (мероприятий), связанных с устранением эксплуатационного дефекта, определяется, в соответствии с п. 5.5.2 ГОСТ РВ 0015-703, в контракте поставки или совместным решением заказчика и поставщика изделия, а в случае возникновения разногласий в оценке происхождения дефекта – в соответствии с п. 5.4.2 ГОСТ РВ 0015-703. На практике данная процедура трудно реализуема, поскольку такие оплаты, как правило, не предусмотрены контрактом на поставку [4].

5. Не регламентирован (стандартизован) порядок назначения гарантийных обязательств на опытно-поставочные изделия или изделия, изготовленные по конструкторской документации с литерой «О».

Указанная причина возникает в случае, когда основное изделие создается (разрабатывается) и изготавливается в процессе выполнения ОКР по ГОСТ РВ 15.203 с последующим переводом опытного образца изделия в штатную эксплуатацию. При этом производственный цикл изготовления опытного образца с проведением всех видов испытаний затягивается до десяти и более лет. В течение этого периода заканчиваются ГС на КИ, а также расходуется ресурс у вновь разработанных и изготовленных составных частей изделий.

Эта проблема требует особого внимания и будет рассмотрена более подробно в отдельной статье.

Выводы

Рассмотренные причины, приводящие к неоправданным затратам на ведение рекламационной работы, могут быть уменьшены или сведены к минимальным тремя основными способами.

Первый и наиболее реализуемый способ снижения рисков заключается в учете условий обеспечения гарантийных обязательств поставщиков в договорах на поставку.

Второй способ предполагает разработку необходимого методического аппарата по обоснованию видов и продолжительности гарантийных сроков с учетом предполагаемой модели эксплуатации основного изделия [5].

Третий способ – учет затрат на гарантийный ремонт КИ в структуре цены основного изделия.

Литература

1. Гарантийные обязательства и организация рекламационной работы при выполнении государственного оборонного заказа. Методическое пособие для специалистов организаций ОПК. Под ред. А. В. Рабышева. М.: ООО «НТЦ «Оборонстандарт», 2022. С.180.
2. Ермаков В. Е., Бачинский А. Г. Теории менеджмента качества Филиппа Кросби и Джозеф Джуран // Форум молодых ученых. 2020. № 10 (50). С. 188–192.
3. Приказ Министра обороны Российской Федерации от 05 октября 2022 г. № 590. Об утверждении Руководства по организации рекламационной работы в Вооруженных Силах Российской Федерации. URL: [http:// garant.ru/products/ipo](http://garant.ru/products/ipo) (дата обращения: 25.10.2023)/
4. Ахрамович И. Л., Когут С. А., Терещенко Ф. В. Методика определения ожидаемой стоимости гарантийных обязательств предприятия-изготовителя // Надежность. 2013. № 3 (46). С. 76-87.
5. Мегера Ю. А. Математическая модель ремонта техники связи и автоматизированных систем управления // Известия ТулГУ. Технические науки. 2021. Вып. 9. С. 34 – 37.

References

1. Warranty obligations and organization of claims work when fulfilling a state defense order. Methodological manual for specialists of defense industry organizations. Ed. A. V. Rabysheva. Moscow, 2022. P. 180 (in Russian).
2. Ermakov V. E., Bachinsky A. G. Theories of quality management by Philip Crosby and Joseph Juran. Forum of Young Scientists. 2020. No. 10 (50). Pp. 188–192 (in Russian).
3. Order of the Minister of Defense of the Russian Federation dated October 5, 2022 No. 590. On approval of the Guidelines for organizing claims work in the Armed Forces of the Russian Federation. Available at: <http://garant.ru/products/ipo> (accessed 25 October 2023) (in Russian).
4. Akhramovich I. L., Kogut S. A., Tereshchenko F. V. Methodology for determining the expected cost of manufacturer's warranty obligations. Reliability. 2013. No. 3 (46). Pp. 76-87 (in Russian).
5. Megara Yu. A. Mathematical model of repair of communication equipment and automated control systems. Izvestia of Tula State University. Technical science. 2021. V. 9. Pp. 34 – 37 (in Russian).

Статья поступила 12 декабря 2023 г.

Информация об авторах

Прищенко Василий Николаевич – Кандидат технических наук, доцент. Заместитель генерального директора по качеству ПАО «Интелтех». Область научных интересов: управление техническим обеспечением связи и автоматизации. Тел.: +7(812)448-96-36. E-mail: PrishenkoVN@inteltech.ru. Адрес: 197342, г. Санкт-Петербург, ул. Кантемировская, д.8.

Мегера Юрий Анатольевич – Кандидат военных наук. Заместитель начальника отдела ПАО «Интелтех». Область научных интересов: управление техническим обеспечением связи

и автоматизации. Тел.: +7(812)448-96-36. E-mail: yamegera1971@mail.ru. Адрес: 197342, г. Санкт-Петербург, ул. Кантемировская, д.8.

Бурлаков Андрей Анатольевич – Кандидат военных наук, доцент. Доцент кафедры технического обеспечения связи и автоматизации Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного. Область научных интересов: управление техническим обеспечением связи и автоматизации. Тел.: +7(812)247-98-42, e-mail: burlakov38@gmail.com. Адрес: г. Санкт-Петербург, Тихорецкий проспект, д. 3.

Risks when fulfilling guarantee obligations defense industry enterprises

V.N. Prishchenko, Yu.A. Megera, A.A. Burlakov

Annotation. Justification (calculation, evaluation) of numerical values of warranty period indicators is a complex methodological task, for which there cannot be an unambiguous single solution, taking into account the significant features in failure models and product operation models. The risks of unreasonable costs for fulfilling warranty obligations by the supplier are considered. **Relevance:** As practice, shows, in the implementation and practical application of regulations of the Russian Federation and documents on standardization of defense products, there are risks associated with the lack of certainty of some terms, procedures, the unregulated procedure for assigning warranty periods, etc., when performed by enterprises defense industry guarantee obligations for the implementation of the state defense order. **Purpose of the work:** to objectively assess the quality of the claims process, it is necessary to identify the reasons leading to unjustified costs of carrying out claims, which can be reduced or minimized. **Methods used:** method for selecting a defining indicator, visual analysis of a graphical process diagram, analysis of process execution time, analysis of losses arising during process execution, analysis of process automation potential. **Novelty:** justification (calculation, evaluation) of numerical values of warranty period indicators. Assessing the effectiveness of claims activities presupposes the rational application of logical rules, the appropriate mathematical apparatus for modeling the results of claims work and their comparison with the set goal. **Result:** the resulting performance assessments should be analyzed and formed the basis for appropriate management decisions aimed at improving the process of claims activities and interrelated QMS processes. **Practical significance:** the reasons leading to unjustified costs of conducting claims work have been identified, which can be reduced or minimized in three main ways.

Keywords: standardization, warranty obligations, claims work, quality control, technical support subsystem.

Information about authors

Prishchenko Vasily Nikolaevich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor. Deputy General Director for Quality of PJSC «Inteltech». Tel.: +7(812)448-96-36. E-mail: PrishchenkoVN@inteltech.ru. Address: 197342, St. Petersburg, st. Kantemirovskaya, 8.

Megera Yuri Anatolyevich – Candidate of Military Sciences. Deputy Head of the Department of PJSC «Inteltech». Tel.: +7(812)448-96-36. E-mail: yamegera1971@mail.ru. Address: 197342, St. Petersburg, st. Kantemirovskaya, 8.

Burlakov Andrey Anatolyevich – Candidate of Military Sciences, Associate Professor. Associate Professor of the Department of Technical Support of Communications and Automation of the Military Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union S. M. Budyonny. Tel.: +7(812)247-98-42. E-mail: burlakov38@gmail.com.

Address: St. Petersburg, Tikhoretsky Prospekt, 3.

Для цитирования: Прищенко В. Н., Мегера Ю. А., Бурлаков А. А. Риски при выполнении гарантийных обязательств предприятиями оборонной промышленности // Техника средств связи. 2023. №4(164). С. 33-38. DOI:10.24412/2782-2141-2023-4-33-38.

For citation: Prishchenko V. N., Megera Yu. A., Burlakov A. A. Risks in fulfilling warranty obligations by defense industry enterprises. Means of communication equipment. 2023. №4(164). Pp. 33-38. DOI:10.24412/2782-2141-2023-4-33-38 (in Russian).

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

УДК 303.732: 637.072

DOI:10.24412/2782-2141-2023-4-39-65

**Выбор модели упорядочения большой размерности данных
в оценке качества сложной системы**

Севастьянов С. И.

Аннотация. В целях разрешения проблемы оценки качества сложных систем, характеризующихся большими объемами исходных данных, разработана и предложена модель упорядочения большой размерности данных оценивания – булеональная иерархия качества, которая является основным элементом метода анализа сложных систем. В обоснование выбора данной модели проведен обобщенный анализ подходов к упорядочению данных в оценке качества сложных систем. Выделены наиболее характерные методы экспертных оценок, применяющие парные сравнения, и проведен их анализ на предмет возможности работы с неограниченными объемами данных оценивания сложных систем. Дана сравнительная оценка рассмотренных моделей (методов) упорядочения данных и модели булеональной иерархии качества в части их сложности (простоты) и трудоемкости по числу элементарных парных сравнений в экспертных процедурах. **Целью работы** является повышение эффективности управления качеством сложных систем в задачах оценки и выбора наилучшего варианта управленческого решения. **Задачей** статьи является выбор и обоснование модели упорядочения большой размерности данных в оценке качества сложных систем. Критериями выбора модели упорядочения являются учет полной группы событий, возможность работы с большими размерностями данных и минимизация количества и влияния факторов, не поддающихся измерению и снижающих достоверность и надежность оценок качества сложных систем. **Новизна** состоит в обосновании выбора булеональной модели иерархии качества для упорядочения больших объемов исходных данных оценивания сложных систем, в которой экспертными методами производится разбиение совокупности показателей на универсальные (булеональные) существенные и несущественные группы важности (качества) путём определения принадлежности/непринадлежности каждого показателя системы к одной из булеональной группы важности (качества) системы (объекта). Предложена расчетная формула оценки трудоемкости экспертной процедуры булеонального подхода по числу элементарных (единичных) парных сравнений в экспертных процедурах. **Результат:** проведен анализ подходов и методов упорядочения альтернатив (показателей), применяющих парные сравнения, на предмет работы с большими размерностями данных оценивания. Показано, что трудоемкость выбранной булеональной модели в работе с большими размерностями данных значительно меньше в сравнении с другими моделями и методами, применяющими парные сравнения. **Практическая значимость:** Преимущество булеональной модели иерархии качества, сравнительно с существующими моделями упорядочения, состоит в возможности работы с большими размерностями данных, в ясности, наглядности и простоте применения, в сокращении количества элементарных парных сравнений в экспертных процедурах, а также в обеспечении возможности, после перехода к практической реализации, оперативно, без существенных затрат, менять аспекты и условия оценки качества объектов.

Ключевые слова: большие размерности данных, булеональная иерархия качества, метод анализа сложных систем, модель упорядочивания, «проклятье размерности».

Введение

Задачи выбора, упорядочения [1] большой размерности данных в оценке качества сложной системы относятся к классу «неформализованных задач анализа систем». Научное направление решения данного класса задач относится к экспертным оценкам.

Достоинствами экспертных оценок являются:

- низкая стоимость и относительная быстрота получения результата;
- наличие разработанных и апробированных методик проведения экспертиз, обработки их результатов и компьютерная поддержка;

- отсутствие необходимости в предоставлении точной информации;
- возможность получения количественных оценок в случаях, когда нет статистики (необходимого объёма статистики);
- возможность выработки количественных оценок, работая с показателями, которые имеют качественную природу, в условиях нечетких данных;
- ориентация на нечеткие оценки.

Недостатки: достоверность и надежность зависит от квалификации эксперта и его объективности (субъективность экспертных процедур); трудоемкость процедуры исследования; наличие ряда факторов, влияющих на результаты экспертных оценок.

К таковым факторам относятся:

- необходимость учёта полной группы событий;
- количество групповых экспертных процедур;
- количество индивидуальных непосредственных оценок эксперта;
- численность задействованных экспертов и их квалификация;
- объём сложных, снижающих ясность физического смысла экспертных процедур.

Известны следующие наиболее распространенные методы решения экспертных задач: метод Дельфи, метод анализа иерархий, метод расстановки приоритетов. В своей основе эти методы опираются на «единичные» [2], «элементарные» [3], индивидуальные оценки экспертов, которые затем для повышения надежности экспертиз переводятся в «групповые» [1], «коллективные» [4] оценки. При этом в работе [4], в общем виде, без уточнения исходных условий, отмечается, что вероятность истинности коллективного экспертного мнения приблизительно равна 0,8. В этой же работе [4] считается, что наиболее распространенными методами коллективных экспертных оценок являются: метод анкетирования, метод комиссий и метод «мозговых атак» или «коллективной генерации идей». В ряде работ дополнительно отмечаются методы сценариев, «Дельфи», дерева целей, морфологические.

Большое количество методов экспертных оценок не снимает актуальность задачи повышения надежности, объективности результатов экспертиз. Чем сложнее оцениваемая система, тем больше у нее взаимосвязанных характеристик (параметров, показателей), тем выше должна быть надежность эвристических методов. При этом роль экспертных оценок не в замене математических расчетов или решений, а лишь в упорядочении информации, облегчающей принятие решений и обеспечивающей лучшее понимание сложных проблем в ситуации неопределенности [1]. Таким образом, задача повышения точности и надежности оценок качества сложных систем заключается не в получении каждой из них с помощью аналитических расчетов, а в сокращении числа факторов, не поддающихся измерению [1, 5-10].

С другой стороны, при оценивании объектов необходимо повышать степень полноты учитываемых альтернатив (параметров, показателей, свойств, факторов и т. п.), тем самым обеспечивая полную группу событий в решаемой задаче. Это особенно важно для оценки сложных систем, характеризующихся большими совокупностями характеристик (альтернатив, параметров, показателей). Однако, при наличии большого числа альтернатив эксперту, как и любому человеку, трудно без значительной ошибки выносить решение, а именно, когда приходится учитывать более семи альтернатив, например, назначая весомость более чем семи параметрам [5]. Это число в [1, 5, 6] определено в качестве психологического ограничения эксперта. В ряде источников, проанализированных в работе [7], в экспертных процедурах допускается варьирование количеством альтернатив от 7 до 15. Например, рекомендуется от 7 (7±2) до 9 альтернатив в работе [11], от 4-6 до 10 в [2], от 10 до 12 в Методических указаниях «Комплексная оценка технического уровня продукции». РД 45.091.000-90 и от 10 до 15 в Методических указаниях по оценке технического уровня систем и аппаратуры связи, передачи и обработки информации (Москва, 1985 г.). Данные рекомендации по количеству параметров (основных параметров) применяются при оценке эффективности, качества и технического уровня изделий. Для этих целей разработаны

достаточно хорошо апробированные модели и методики. Но в задачах оценки качества сложных систем рекомендованного количества показателей (критериев, альтернатив) крайне недостаточно. Чтобы задача оценки качества, технического уровня (ТУ) объектов была решена достоверно, полно, объективно необходимо учитывать не только большое количество показателей (параметров) системы (объекта), но и достаточное количество критериев и свойств надсистемы (субъекта), в обеспечение которой функционирует система (объект). Помимо этого, для упорядочения большой размерности данных в оценке качества сложной системы явным существующим методологическим недостатком является слабая формализация этапа формирования (доупорядочивания) исходных данных (объектов, альтернатив, целей, решений и т. п.). С целью устранения перечисленных недостатков разработаны соответствующие модели и методики [7, 8]. В частности, разработана модель упорядочения большой размерности данных в оценке качества сложной системы – модель булеональной иерархии качества [8, 12].

В статье проводится анализ подходов к выбору модели упорядочения данных в оценке качества сложной системы. Результаты анализа приводят к выводу, что для сложных систем с неограниченными размерностями исходных данных оценивания целесообразно рассмотреть разнородные методы парных сравнений, как наиболее подходящие поставленной в статье задаче.

Анализ подходов и методов упорядочения альтернатив, применяющих метод парных сравнений, ориентированных на нечеткие оценки с целью их возможного применения для упорядочения больших множеств параметров ТУ СТС, позволил в данном вопросе выделить наиболее характерные из них и определить три подхода упорядочения альтернатив. Сравнение этих подходов по простоте применения, трудоемкости и самой возможности работы с неограниченной размерностью данных указывает на выбор в пользу третьего подхода, применяющего булеональную модель упорядочения показателей качества сложных систем. К достоинствам данной модели можно прибавить учет полной группы событий, ясный физический смысл, а также учет индивидуальных представлений лица, принимающего решение.

В статье приводятся условные примеры, где в качестве сравниваемых по техническому уровню альтернатив (объектов, систем) рассматриваются комплексы средств автоматизации (КСА) информационно-телекоммуникационных систем (ИТКС), а в качестве показателей ТУ – характеристики КСА ИТКС, за критерии – свойства ИТКС, в обеспечение которой предъявляются требования к КСА ИТКС (объекту), выраженные в требованиях к значениям показателей ТУ КСА.

1. Анализ подходов к выбору модели упорядочения данных в оценке качества сложной системы

Общий анализ моделей, методов упорядочения альтернатив [1], с целью выбора одного из них для решения поставленной задачи в статье, показал следующее:

Метод «ранжирования», в основе которого лежит присвоение *рангов* оцениваемым альтернативам (показателям), ранговые оценки, на практике «в чистом виде» используется редко [1, 2]. Результаты данного метода отличаются грубой оценкой и не дают ответа на вопрос – как далеко отстоят друг от друга исследуемые объекты [1], помеченные соответствующими рангами. Для упорядочения объектов (альтернатив) метод использует шкалу порядка. Чаще всего он применяется в сочетании с другими методами упорядочения, обеспечивающими более четкую различимость сравниваемых объектов [1]. К методу «ранжирования» можно отнести и *метод «ранга»* [1, 4, 5]. Достоинством метода является простота проводимых процедур. Так при методе ранга [4] каждому оцениваемому показателю (объекту, альтернативе) присваивается ранг (число натурального ряда) в соответствии со степенью его важности. Самому значимому показателю (*p*) присваивается 1,

наименее важному – номер R (при наличии R показателей). Если, по мнению эксперта, некоторые показатели равнозначны, то для каждой группы равнозначных показателей берется сумма их порядковых номеров, делится на число показателей, входящих в группу. Затем каждому показателю группы присваивается один и тот же ранг (β), равный полученному среднему арифметическому. Сумма рангов всех показателей, в любом случае, [4] составляет

$$\sum_{r=1}^R \beta r = r(r+1)/2.$$

Наиболее важное преимущество методов ранжирования, рангов заключается в их простоте. Другими достоинствами этих методов являются гибкость по выбору и взвешиванию критериев, наглядность и обозримость процесса оценки в деталях.

Явным недостатком перечисленных методов, при применении их для упорядочения показателей качества, является то, что точность и надежность ранжирования в значительной степени зависит от количества показателей (объектов, альтернатив) [1]. Наблюдается явная зависимость результатов ранжирования от психологического ограничения экспертов. Основным недостатком методов ранжирования, ранга – невозможность на практике применять данные методы для упорядочения большой размерности данных оценки качества сложных систем.

Метод «непосредственной оценки» [1] применяется чаще. Представляет собой упорядочение оцениваемых (исследуемых) объектов в зависимости от их важности путем *присваивания* баллов каждому из них, балльные оценки [2]. Метод применим в сочетании с другими методами упорядочения, в частности с *методом ранжирования* [1]. Метод непосредственной оценки в простейшем случае, для показателей (объектов, альтернатив) выраженных качественно, когда на вопросы анкетирования эксперт должен дать ответ «да» или «нет», «ноль» или «единица», реализуется в *шкале наименований* [1]. Для количественных показателей их диапазон изменения разбивается на несколько интервалов, каждому из которых присваивается определенная оценка в баллах, например от 0 до 10. В случае применения многоступенчатой шкалы, заданной в виде баллов, применяется *шкала порядка* [1]. Для этой шкалы можно баллы возводить в квадрат или куб, функции шкалы не изменятся [1]. Оценки, получаемые с помощью метода непосредственной оценки, более точны, представляют собой средние оценки. В них также наблюдается зависимость результатов упорядочения от психологического ограничения экспертов. К методу непосредственной оценки можно отнести и *методы «предпочтения»* [5] и *«шкальных оценок»* [4]. В методе шкальных оценок показатели оцениваются по заранее выбранной шкале. Выбор шкалы (10-балльная, 100-балльная) определяется количеством оцениваемых показателей. Результаты оценки всех экспертов сводятся в единую таблицу. Определяется сумма баллов по каждому показателю (критерию, фактору). Далее полученные суммы располагаются в порядке убывания, им присваиваются ранги в порядке возрастания. [4].

Балльные оценки требуют транзитивности – логичности предпочтений, а именно: если d лучше b , а b лучше z , то и d лучше z [2]. Данное требование значительно затрудняет работу эксперта с неограниченной размерностью данных.

Метод «последовательных сравнений» [1] применяется реже, чем метод непосредственной оценки. Он используется для оценки предпочтения, когда необходимо более точно установить взаимосвязь между сопоставляемыми показателями (альтернативами, объектами, характеристиками) [1], полученными от экспертов методом непосредственных оценок [6]. При наличии большого числа показателей (альтернатив более семи) применение метода последовательных сравнений становится чрезмерно трудоемким. Тогда для определения предпочтительности альтернатив обычно предлагается (используется) *метод парных сравнений* [1], хотя и он, в целом, не устраняет вышеуказанный

недостаток. Метод последовательных сравнений реализуется в шкале интервалов (проверка осуществляется следующим образом – если численные значения на всех шкалах умножить на постоянную величину (не равную единице) и к ним можно прибавить некоторое число, то функции шкалы не изменятся [1] $x^1=c*x +b$). К методу «последовательных сравнений» [1] можно отнести методы «последовательных сопоставлений» [5] и «последовательных предпочтений» [6].

Метод «парных сравнений» [1] является наиболее распространенным методом упорядочения. Так на его основе реализуются известные методы анализа иерархий [11] и расстановки приоритетов [2], а также разработаны руководящие документы и рекомендации. В методе расстановки приоритетов, в отличие от других методов, отсутствует требование транзитивности отношений между объектами [2].

Метод парных сравнений использует шкалу отношений [11] (проверка осуществляется следующим образом – если численные значения на всех шкалах умножить на постоянную величину (не равную единице), то изменится только величина единицы шкалы $x^1=c*x$) [1]. Оценки, получаемые с помощью матриц парных сравнений [1], относительно точны. Однако, надежность результатов метода, как и у предыдущих методов, зависит от количества сравниваемых показателей (альтернатив). При этом с увеличением показателей (альтернатив) непропорционально возрастает трудоемкость, непропорционально быстро растет число единичных парных сравнений [2], что является главным недостатком методов парных сравнений.

Нередко математическая постановка задачи парных сравнений осуществляется в виде графа парных сравнений [2], например, в виде графа I , иллюстрированного на рис. 1.

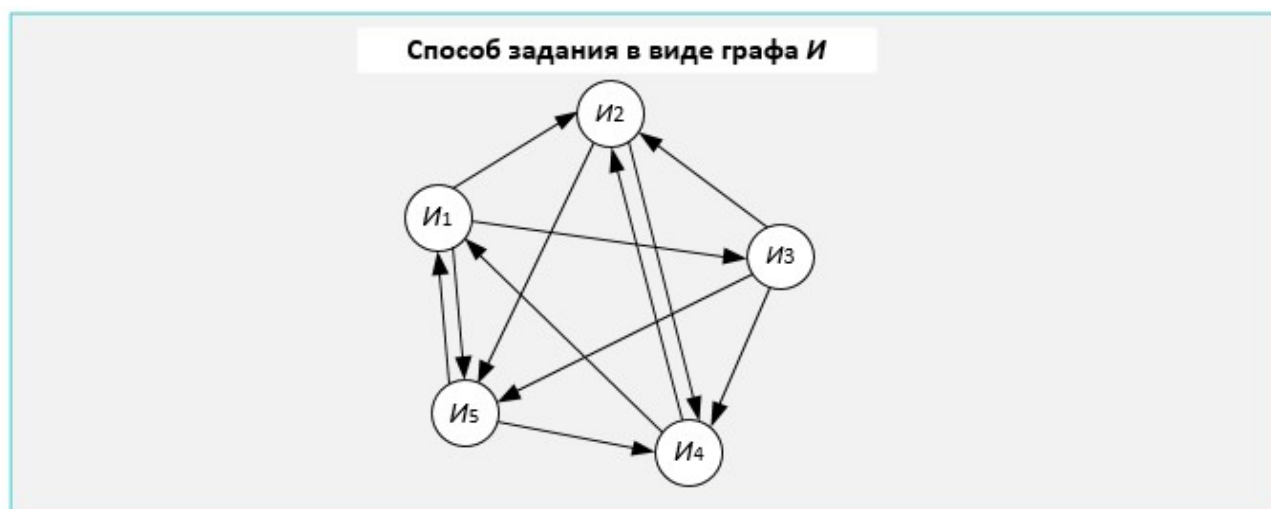


Рис. 1. Граф результата турнира пяти игроков

Данный граф включает в себя: вершины – пять игроков ($I_1 - I_5$); однонаправленные дуги, направления которых исходят от игрока (вершины), выигравшего в парной встрече, в сторону игрока проигравшего турнирную встречу, по одной дуге между вершинами; две дуги разнонаправленные между двумя игроками (вершинами), сыгравшими в ничью. Известно, что граф как математический объект есть совокупность двух множеств – множества самих объектов, называемого множеством вершин, и множества их парных связей, называемого множеством рёбер (дуг). Элемент множества рёбер есть пара элементов множества вершин. Расчетные формулы для данного графа разработаны в методе расстановки приоритетов [2]. Отталкиваясь от рис. 1, далее в статье для анализа излагаемых сравнительных подходов (методов, видов)

парных сравнений, приводятся направленные, не имеющие циклы графы и соответствующие этим графам матрицы смежности.

Путем обобщения к методам *парных сравнений* [1], можно отнести «*три вида парных сравнений*» [4]:

вид А – «*последовательное парное сравнение*» [4], *метод последовательных сопоставлений* и «*первый метод попарного сопоставления*» [5].

В методе *последовательного парного сравнения* применен принцип нахождения максимума последовательным перебором пар факторов (показателей). Определенному таким образом самому важному фактору присваивается 1 и далее оцениваются факторы без выбранного. Каждому выбранному фактору присваивается ранг на единицу больший, чем предыдущему, и так до тех пор, пока не останется один фактор [4].

В *первом методе попарного сопоставления* эксперт получает матрицу, в которой по горизонтали и вертикали обозначены все сравниваемые свойства (показатели). В каждой клетке (пересечение столбца и строки), относящейся к двум сравниваемым свойствам, ему необходимо проставить номер того (из каждой пары) свойства, которое он считает более важным. Затем применяются расчетные формулы согласно [5].

вид Б – «*частичное парное сравнение*» [4] и «*второй метод попарного сопоставления*» [5];

При *частичном парном сравнении* готовится таблица (матрица), где строки и столбцы – оцениваемые факторы (показатели), расположенные слева направо и сверху вниз в одном и том же порядке. Эксперт записывает 1 (единицу) в том случае, если фактор, записанный в столбце, более важный, чем фактор, записанный в строке, и 0 (нуль) в противном случае. Суммирование по строкам дает возможность ранжировать факторы в порядке убывания сумм [4].

Во *втором методе попарного сопоставления* эксперт сравнивает пары свойств (показателей) и определяет преимущество одного из них не с помощью матрицы, а просто подчеркивая предпочтительное свойство в каждой из представленных ему комбинаций вида:

свойство 1 – свойство 2;

свойство 7 – свойство 15 и т. д.

Расчетные формулы применяются те же, что и для первого метода попарного сопоставления [5].

вид В – «*полное парное сравнение*» [4] и «*метод полного попарного сопоставления*» [5].

В методе *полного парного сравнения* перечень факторов (критериев, показателей) удваивается за счет появления каждой пары факторов дважды: один раз в последовательности А – В, другой раз в последовательности В – А. Оценка и суммирование по строкам и столбцам выявляет ошибку в оценке факторов. Последовательность сумм по строке и столбцу должна совпадать [5]. В методе полного попарного сопоставления проводится сравнение свойств (показателей) в прямом и обратном порядке, чтобы избежать возможных ошибок, связанных с оценкой преимущества одного свойства над другим, и не потому, что оно более важное, а в результате случайной постановки первым в паре сравниваемых свойств [5].

В целом, рассмотренные методы имеют множество модификаций. Для всех методов упорядочения альтернатив (показателей) надежность результатов зависит от количества оцениваемых альтернатив (показателей). В процессе упорядочения (доупорядочения) большой размерности данных в оценках качества сложной системы явным недостатком является слабая формализация этапа, когда из бесчисленного множества данных формируется конечное множество исходных данных оценивания (объектов, альтернатив целей, решений, показателей и т. п.). Если для малых множеств показателей (альтернатив) на этапе доупорядочивания исходных данных эксперты часто применяют существующие наставления, руководящие документы и указания в конкретных областях деятельности. То для данных неограниченной размерности эксперты вынужденно применяют ряд условных

ограничений по их объёму, полагаясь только на логическое мышление и интуицию, а также на свои знания и опыт.

Для выбора модели упорядочения, применимой для работы с неограниченными размерностями исходных данных оценивания, целесообразно проанализировать разнообразные методы и модели упорядочения, применяющих парные сравнения и утвердившихся в данной области.

2. Анализ подходов и методов упорядочения альтернатив, применяющих парные сравнения

Анализ подходов и методов упорядочения альтернатив (показателей, параметров, характеристик, критериев), применяющих парные сравнения и ориентированных на нечеткие оценки, с целью их возможного применения для упорядочения больших размерностей исходных данных оценивания сложных систем (объектов), позволил в данном вопросе выделить наиболее характерные из них и определить три условных подхода упорядочения альтернатив (показателей).

2.1. Первый подход парных сравнений

Первый подход парных сравнений характерен процедурой парных сравнения каждого показателя (альтернативы) с каждым по всему множеству показателей. В нем применяются как способ задания бинарного отношения на конечном множестве в виде графа [13], так и общий матричный [13] способ (матрицы). Заданное отношение обладает свойством антирефлексивности, так как ни один элемент (показатель) из конечного множества не находится в бинарном отношении с самим с собой [14].

В общем виде в данном подходе реализуется отношение $\langle C, P \rangle$ заданное выражениями (1) и (2)

$$C \subset P \times P, \quad (1)$$

где P – множество показателей ($P = \{p_1, \dots, p_R\}$), на котором определено отношение, а C – множество пар показателей, для которых это отношение выполнено [13]. Иными словами, C – отношение на множестве P , представляющее собой подмножество C множества $P \times P$ [13].

$$(p, p) \notin C \text{ для каждого } p \in P. \quad (2)$$

Выражением (2) задается свойство антирефлексивности.

Или отношение C на множестве P называется антирефлексивным, если из $p_1 C p_2$ следует, что $p_1 \neq p_2$. Все диагональные элементы матрицы являются нулевыми; при задании отношения графом ни один элемент не имеет петли – нет дуг вида (p, p) .

В первом подходе условная задача (пример) оценки ТУ КСА ИТКС иерархически представляется первым уровнем иерархии (цель, предмет исследований – оценка ТУ) и вторым уровнем (показатели КСА – условно это показатели P_1 - P_5). Оценка ТУ КСА ИТКС каждой альтернативы (КСА) производится после упорядочивания показателей КСА на втором уровне.

В первом подходе количество показателей не ограничено какими-либо рекомендациями. Подход не требует предварительного разбиения множеств сравниваемых показателей (характеристик) на блоки, группы. При больших множествах показателей он ориентирован на решение *только однокритериальных задач*. Применяются квадратные матрицы, в которых число строк равно числу столбцов. Проводится сравнение показателей в прямом и обратном порядке, чтобы избежать возможных ошибок, связанных с оценкой преимущества одного показателя над другим, и не потому, что оно более важное, а в результате случайной постановки первым в паре сравниваемых показателей [5].

На рис. 2 иллюстрируется первый подход парных сравнений (вариант). Показаны способ задания бинарного отношения на конечном множестве в виде графа и общий

матричный в парных сравнениях показателей. Иллюстрируется также трудоемкость данного подхода, определяемая в статье количеством элементарных парных сравнений (э).

В данном подходе первым шагом является экспертная процедура проведения парных сравнений показателей (P_1-P_5) в прямом порядке. В результате проведенных парных сопоставлений, на рис. 2 в верхней матрице и в соответствующем графе (над дугами), проставлены элементарные экспертные оценки (целые числа) – условные величины (допустим только целые числа от 2 до 9). Трудоемкость для пяти показателей составила 10 элементарных парных сравнений (э).

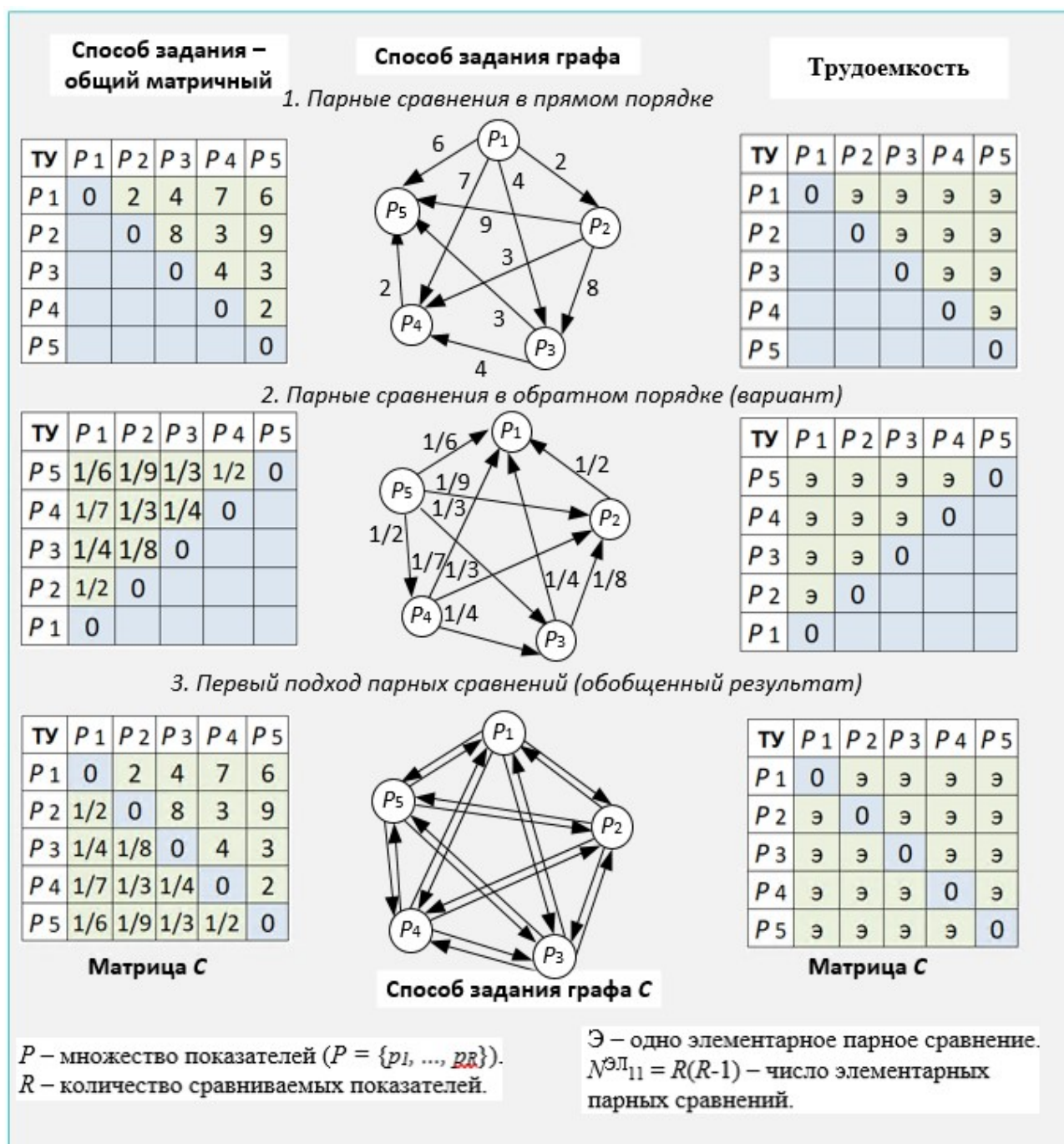


Рис.2. Первый подход парных сравнений, матрица и граф С. Антирефлексивность

Вторым шагом проводятся парные сравнения показателей в обратном порядке. В результате проведенных парных сопоставлений, на рис. 2 в средней матрице (вариант) и в

соответствующем графе над дугами, проставлены элементарные экспертные оценки, равные обратным величинам экспертных оценок (целых чисел), полученных в результате парных сравнений в прямом порядке. Обратная величина – величина, получающаяся от деления единицы на данную величину. Условно, в данном примере будем считать, что эксперты провели в обратном порядке безошибочные экспертные оценки и, соответственно, каждой экспертной оценке (числа) парных сравнений в прямом порядке от 2 до 9 соответствуют обратные величины от $1/2$ до $1/9$ (показано в нижней матрице).

Трудоемкость парных сравнений в обратном порядке также составляет 10 элементарных парных сравнений (э).

Третьим шагом, на рис. 2 в нижней матрице и соответствующем нижнем графе, приводится обобщенный результат парных сравнений. Общая трудоемкость составляет 20 элементарных парных сравнений (э).

Далее применяются математические расчетные выражения согласно [4, 5].

Основным недостатком первого подхода является его сложность, а также существенная трудоемкость (соответственно – низкая эффективность подхода).

В подходе существенная трудоемкость определяется тем, что в нем бинарные (парные) сравнения непропорционально быстро возрастают с привлечением каждого нового учитываемого показателя (характеристики). Расчет числа элементарных (единичных) парных сравнений первого подхода ($N^{эл}_1$) производится с помощью [5] выражения (3).

$$N^{эл}_1 = R(R-1), \quad (3)$$

где R – количество сравниваемых показателей.

В условном примере для пяти показателей $N^{эл}_1 = 5(5-1) = 20$.

Первый подход характерен методом *полного парного сравнения* [4], *«полного попарного сопоставления»* [5], применяется в работе [15] и в отдельных процедурах в части *алгоритмов построения линейных доупорядочений* [14] альтернатив. Но, даже для упорядоченных множеств, диаграммы которых содержат несколько альтернатив, как отмечено в самой работе, построение всех их линейных доупорядочений является довольно громоздкой задачей, число которых достигает факториала R ($R!$). Решение задачи с помощью графа увеличивает сложность и трудоемкость упорядочения показателей (альтернатив).

Сложность первого подхода описательно можно рассмотреть на примере работы [15]. В ней результаты оценивания определяются с помощью графа – графа связности параметров системы связи [15], являющимся геометрическим изображением рассматриваемого отношения. Надо заметить, что геометрический язык полезен, когда граф достаточно прост. Наоборот, изучать и описывать сложные графы с большим числом вершин удобнее в терминах отношений [13]. Граф в работе [15] сложен для восприятия и обработки. Поэтому, для удобства расчетов, по его исходным данным в работе строится матрица непосредственных путей графа связности, а затем на основе и графа, и матрицы строится круговая диаграмма, названная круговой граф-матрицей. Применяемая матрица – квадратная, а в ней, для подсчета количества взаимосвязей применяются отдельные подматрицы. Для ранжирования совокупности параметров, помимо подсчета экспертами взаимосвязей (в графе связности) параметров друг с другом, необходимо проводить и дополнительный подсчет для каждого параметра через непосредственно взаимосвязанные с ним параметры «транзитных» взаимосвязей с «транзитными» параметрами. Что в целом весьма сложный процесс экспертной работы. И неоправданно трудоёмкая задача при смене аспекта и условий оценивания объектов (систем).

Таким образом, первый подход является весьма сложным, трудоемким. Для упорядочения (ранжирования) большого множества показателей (характеристик) сложных

систем с учетом разнообразных многокритериальных задач этот подход является нецелесообразным.

2.2. Второй подход парных сравнений

Второй подход парных сравнений, для малого множества параметров, характерен для: «первого и второго методов попарного сопоставления» [5] «последовательного и частичного парных сравнений» [4], а также для методов, приведенных в работах [2, 11].

Во втором подходе парных сравнений, обычно, применяется общий матричный способ задания бинарного отношения на конечном множестве [13]. В частном случае задание бинарных отношений может быть реализовано с помощью булевых матриц [14]. Заданные отношения обладают свойством рефлексивности равносильное тому, что по главной диагонали матриц, идущей из ее левого верхнего угла в правый нижний, стоят только символы 1 (единицы) [14], а на графе, в каждой его вершине, образованы петли. Применяемые матрицы – квадратные, в которых количество показателей определяет порядок этих матриц.

На рис. 3 иллюстрируется второй подход парных сравнений. Показаны способы задания бинарного отношения на конечном множестве в виде графа и общий матричный в парных сравнениях показателей.

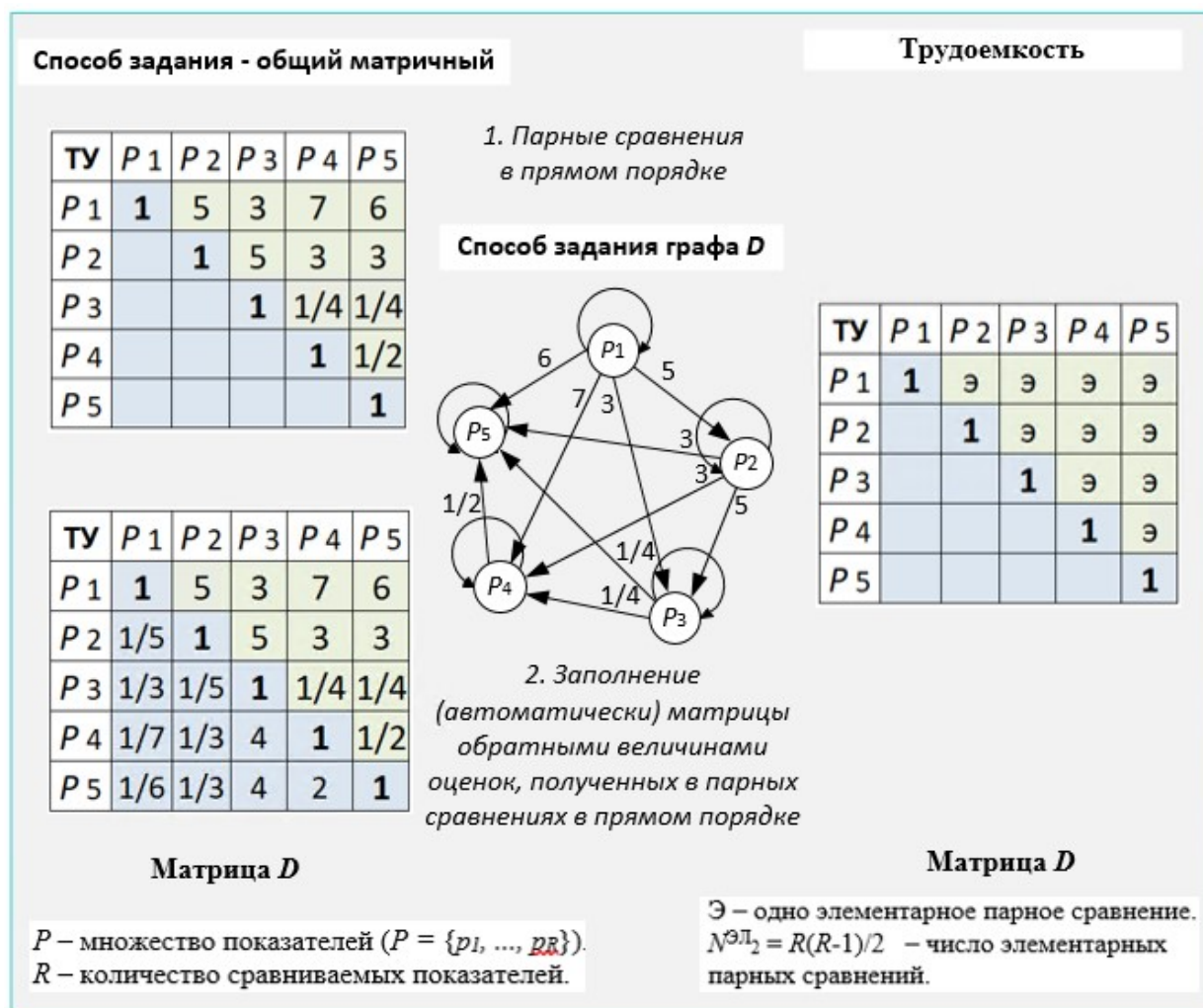


Рис. 3. Второй подход парных сравнений, матрица и граф D. Рефлексивность

Во втором подходе первым шагом является экспертная процедура проведения парных сравнений показателей (P_1-P_5) в прямом порядке. В результате проведенных парных

сопоставлений, на рис. 3 в верхней матрице и в единственном графе (над дугами), проставлены элементарные экспертные оценки.

Трудоемкость для пяти показателей составляет 10 элементарных парных сравнений (э).

Второй шаг, как в первом подходе парных сравнений, не проводится. Эксперты автоматически проставляют в нижней матрице (рис. 3) соответствующие обратные величины (числа) экспертных оценок, полученных в результате парных сравнений в прямом порядке. Обратная величина – величина, получающаяся от деления единицы на данную величину.

Таким образом, уже на первом шаге второго подхода на рис. 2 в нижней матрице приводится обобщенный результат – способ задания второго подхода парных сравнений. Общая трудоемкость составляет 20 элементарных парных сравнений (э).

Способ задания данных исследований может быть реализован в виде графа. На рис. 3 иллюстрируется граф D – ориентированный граф. В обратном направлении дуги не обозначены, так как в данном случае веса обратным направлениям подразумеваются в обратных величинах.

Далее роль экспертных оценок упорядочения информации (показателей) сводится к минимуму и применяются математические расчеты согласно [2, 5, 11].

Недостатками являются: отсутствие системной взаимозависимости со свойствами субъекта (надсистемы), ограниченное количество учитываемых критериев – не более 9.

Во втором подходе, для небольшого множества альтернатив (параметров, показателей), производятся парные сравнения каждого показателя (параметра, альтернативы) с каждым [2], количество элементарных парных сравнений ($N_{21}^{эл}$) определяется выражением (4).

$$N_{21}^{эл} = R(R-1) / 2. \quad (4)$$

В сравнении с первым подходом (3) трудоемкость второго подхода (4) по количеству элементарных парных сравнений уменьшена в два раза.

В подходе рекомендуется учитывать психологическое ограничение экспертов, критерием которого, чаще всего, является число семь (7 ± 2).

Для небольшой совокупности показателей (альтернатив) реализуется отношение $\langle D, P \rangle$ заданное выражениями (5) и (6)

$$D \subseteq P \times P, \quad (5)$$

$$(p, p) \in D \text{ для каждого } p \in P. \quad (6)$$

Выражением (6) задается свойство рефлексивности.

Большое множество параметров во втором подходе обрабатывается методами указанных в работах [2, 11], в этих работах задается требование, что большое множество параметров должно быть предварительно разбито на одинаковые блоки (группы) другими способами качественного ранжирования параметров. И уже из этих упорядоченных блоков в данном подходе формируются матрицы парных сравнений. Количество параметров в блоках и соответствующих матрицах (r^b) не должно превышать число семь ($r^b \leq 7$). В подходе отсутствует требование транзитивности системы сравнений и эксперт производит сопоставление альтернатив независимо от результатов других сопоставлений [2].

Достоинством второго подхода является то, что он направлен на решение однокритериальных и многокритериальных задач. С этой целью производится структурирование задачи исследования в виде иерархии. В наиболее элементарном виде [11] применяется трехуровневая иерархия:

- 1-й уровень – цель исследования объекта,
- 2-й уровень – критерии (показатели и параметры объекта, свойства и факторы субъекта),
- 3-й уровень – альтернативы (объекты).

В общем виде для трехуровневой иерархии [11] второй подход в однокритериальной задаче:

– на первом уровне в элементарном виде строится с вершины целей – с точки зрения управления;

– на втором уровне, включая промежуточные уровни, к самому низкому уровню строятся критерии (показатели, параметры, свойства), от которых зависят последующие уровни, и обобщается отношением $\langle D, P \rangle$ (второй уровень);

– на третьем уровне – альтернативы (объекты), в отношении которых применяется управленческое решение или выбор на основе проведенных оценок

$$D \subseteq P \times P, \quad (7)$$

где

$$(p, p) \in D \text{ для каждого } p \in P; \quad (8)$$

P – множество параметров (критериев), на котором определено отношение [13] по их воздействию на общую для них цель (фактор) [11];

D – множество пар параметров (критериев), для которых это отношение выполнено [13];

Третий уровень иерархии представляется отношением $\langle U_x, A \rangle$ (третий уровень) (9),

$$U_x \subseteq A \times A, \quad (9)$$

где

$$(a, a) \in U_x \text{ для каждого } a \in A; \quad (10)$$

A – множество альтернатив (объектов, в условном примере – КСА), $A = \{a_g, \dots, a_G\}$, на котором определено отношение [13] по степени выраженности на общий для них критерий (параметр, показатель) p_r ;

$$P = \{p_r / r = \overline{1, R}\};$$

U_x – множество пар альтернатив, для которых это отношение выполнено [13].

Выражением (10) для критериев задается свойство рефлексивности.

Если $I \leq 7$, то применяется трехуровневая иерархия, если $I > 7$ (от 7 до 9), то строится n -уровневая иерархия. При этом иерархия считается полной, если каждый элемент заданного уровня функционирует как фактор (критерий) для всех элементов нижестоящего уровня [11].

В статье для данного подхода условная задача оценки ТУ КСА ИТКС иерархически представляется следующим образом:

– первый уровень иерархии – это цель (предмет исследований – оценка ТУ КСА ИТКС);

– второй уровень иерархии – это уровень, на котором производится упорядочивание показателей (допустим P_1 - P_5) КСА ИТКС (возможны и отдельные свойства ИТКС). Порядок матрицы равен числу показателей КСА ИТКС. На рис. 4 приведены элементарные экспертные оценки парных сравнений показателей – условные величины (целые числа и их обратные величины) проставлены экспертами в клетки матрицы D слева, исходя из ответа (вариант) на вопрос – насколько один показатель в парном сравнении с другим больше вносит вклад (больше весомый) в повышение технического уровня (ТУ) КСА ИТКС. Если, исходя из суждений эксперта, показатель P_1 (строка) более весомый (в 5 раз больший вклад), чем показатель P_2 (столбец), то клетка матрицы данной строки P_1 и соответствующего столбца P_2 заполняется целым числом пять. А клетка матрицы, соответствующая строке P_2 и столбцу P_1 автоматически заполняется обратной величиной $1/5$. Таким образом, происходит заполнение матрицы по всем парным сравнениям показателей КСА ИТКС.

– третий уровень иерархии – альтернативы a_1 - a_3 , то есть сами объекты – три сопоставляемых КСА ИТКС. На этом уровне приведены пять матриц, каждая соответствующая одному из показателей (P_1 - P_5). Порядок матрицы равен числу КСА ИТКС – 3×3 , а сравниваемые попарно элементы – это КСА (a_1, a_2, a_3). Для каждого упорядоченного показателя (P_1 - P_5) второго уровня в соответствующих пяти квадратных

матрицах (U_x) производится сравнение КСА ИТКС (a_1, a_2, a_3) по степени их выраженности на соответствующий показатель КСА. Иначе говоря, в этих пяти матрицах иллюстрируется сравнительная предпочтительность выбора каждого из трех КСА по отношению к одному из пяти критериев второго уровня – показателям P_1 - P_5 . Таким образом, во втором подходе может быть осуществлен матричный способ задания оценки ТУ КСА ИТКС.

Далее роль экспертов по упорядочения информации (данных, показателей) сводится к минимуму и проводятся математические расчеты согласно [2, 11]. Даются оценки ТУ рассматриваемых КСА и осуществляется расстановка приоритетов или выбор одного из них с более высоким (предпочтительным) техническим уровнем.

Подход не устраняет недостаток – большую трудоемкость. А для многокритериальной задачи трудоемкость существенно увеличивается.



Рис. 4. Второй подход парных сравнений. Матрицы 2-го и 3-го уровня

Число элементарных парных сравнений для малого числа показателей (альтернатив) [2] рассчитывается по выражению (4). В методах расстановки приоритетов под «малыми совокупностями» альтернатив понимаются фиксированные числа, а именно 4-6 в [2] и 5-9 (7 ± 2) в [11].

Для больших множеств выражение (4) не подходит, так как в данном подходе [11] для большого множества (конечного множества) показателей (альтернатив) необходимо провести иерархическую декомпозицию, суть которой сводится к разбиению конечного множества показателей на смежные блоки (классы) по семь (7 ± 2) показателей в каждом. Таким образом, показатели (элементы) группируются (в качестве первой оценки) в сравниваемые блоки (классы) приблизительно из семи элементов в каждом. Элемент с наивысшим весом в блоке (классе) также включается в следующий класс элементов с большими весами и как своеобразный стержень между двумя блоками (классами) придает однородность шкале. Процедура повторяется от одного блока (класса) к смежному классу, пока все элементы не будут взвешены соответствующим образом [11].

Здесь и проявляется один из серьезных недостатков данного второго подхода, в том, что прежде чем упорядочить матричным способом большую размерность исходных данных

(показателей) в оценке качества сложных систем, необходимо применить некий механизм доупорядочивания, то есть подключить другие способы ранжирования большого количества показателей (большого множества), чтобы представить это множество в некий ранжированный ряд, а потом правильно («в качестве первой оценки»), по весу элементов, разбивать его на смежные блоки (классы). Конечно, это явно неучтенная в данном подходе дополнительная экспертная трудоемкость и отчасти проявление известной проблемы «проклятье размерности».

В результате проведенных исследований в [7] разработан математический аппарат, позволяющий определять количественные значения критерия размерности множеств альтернатив (показателей). Разработана система критериев размерности для малых, средних и больших множеств альтернатив и формулы расчета количества элементарных парных сравнений во втором подходе ($N^{эл}_{22}$) для больших множеств показателей (параметров) в однокритериальной задаче (11), (12) и многокритериальной (13). Данные формулы отражают механизм проводимых парных сравнений во втором подходе.

$$N^{эл}_{22} = Z^* (r^b (r^b - 1)/2) + r^{об*} (r^{об*} - 1) / 2, \quad (11),$$

где в матрицах парных сравнений учитывается только

$$r^{об} (r^{об*}) \geq 2; \quad (12),$$

$Z (Z^*)$ – количество целых блоков (групп) учитываемых (сравниваемых) показателей (параметров) объекта (сложной системы, КСА ИТКС) исследований;

r^b – количество показателей (параметров) в целом блоке (группе, матрице);

$r^{об} (r^{об*})$ – количество учитываемых (сравниваемых) показателей (параметров), не вошедших в целые смежные блоки.

Выражение (11), для многокритериальных задач, приводится к выражению (13)

$$N^{эл}_{23} = [Z^* (r^b (r^b - 1)/2) + r^{об*} (r^{об*} - 1) / 2] I + I(I-1) / 2, \quad (13),$$

где I – количество критериев (свойств) в многокритериальной задаче. Добавлены экспертные процедуры и для критериев (свойств) субъекта (ИТКС).

В приведенных выражениях (11) – (13) учтено то, что большое множество показателей (параметров) должно быть упорядочено в диапазоне заданной шкалы, и наибольший показатель в одном блоке (группе) сравниваемых показателей должен применяться в качестве наименьшего в следующем блоке (группе) более «весомых» показателей [11].

Но, наряду с относительно большой трудоемкостью, основным недостатком второго подхода остается нерешенный вопрос предварительного группирования (доупорядочивания) множества параметров в некий ранжированный ряд параметров, чтобы затем по весу элементов, разбивать этот ряд на смежные блоки (классы). Это относится к работе [2], в которой предлагается проводить блочный метод решения задачи расстановки приоритетов, и к работе [11], в которой предлагается всё же иерархическая декомпозиция.

Методы, в которых задача предварительного ранжирования (доупорядочивания) большого множества альтернатив на блоки отводится другим способам качественного ранжирования параметров, имеют меньшую ценность и практическую значимость для работы с большими размерностями данных.

2.3. Третий подход парных сравнений

Третий подход парных сравнений также можно отнести к направлению «задач упорядоченной классификации», а именно, к «задачам ранжирования исходных данных» [4], в которых проводятся как качественное, так и количественное разбиение исходных данных (альтернатив).

В нем для однокритериальной задачи исследования проводятся парные сравнения каждого показателя (параметра) объекта (КСА ИТКС) со свойством (критерием, фактором)

субъекта (ИТКС). Для многокритериальной задачи – проводятся парные сравнения каждого показателя объекта с каждым свойством субъекта.

Применяется следующая трехуровневая иерархия:

- 1-й уровень – цель исследования объекта (предмет исследований – оценка ТУ КСА ИТКС);
- 2-й уровень – свойства (критерии, факторы, свойства ИТКС) субъекта;
- 3-й уровень – показатели (параметры, характеристики) объекта (КСА ИТКС).

Второй уровень третьего подхода определяется отношением $\langle L_X, F \rangle$:

$$L_X \subseteq F \times F; \quad (14)$$

$$(f, f) \in L_X \text{ для каждого } f \in F; \quad (15)$$

где f_i – фактор (критерий) общей цели исследования;
 $i = \overline{1, I}$;

L_X – множество пар свойств (факторов), для которых это отношение выполнено [13];

F – множество свойств (факторов) $F = \{f_i \mid i = \overline{1, I}\}$, на котором определено отношение по их воздействию на цель более высокого порядка надсистемы (для ИТКС это может быть система связи или АСУ, выраженные в их требованиях к свойствам ИТКС),

На 2-ом уровне третьего подхода экспертами проводится упорядочивание (ранжирование) f_i – свойств ИТКС (критериев, факторов). Также упорядочивание свойств ИТКС может быть проведено другими экспертными методами, например, методом средневзвешенных, так как количество свойств (факторов) обычно укладывается в малое множество (количество) свойств. В редком случае для большого количества f_i – свойств ИТКС (критериев, факторов), может быть применена модель булеональной иерархии качества [12], в которой в качестве субъекта для СТКС рассматривается надсистема более высокого уровня (система связи (СС) или АСУ), а также их требования (критерии) к ИТКС.

Весомость свойств ИТКС может определяться по степеням принадлежности к свойствам (требованиям) системы связи или АСУ, например, своевременности, достоверности и безопасности. Перечень требований системы связи и АСУ к ИТКС может быть расширен.

Третий подход в общем виде, на 3-ем уровне представляется отношением $\langle T_X, F, P \rangle$ [12] или отношением (16)

$$T_X \subseteq F \times P, \quad (16),$$

где P – множество показателей КСА ИТКС (характеристик, параметров объекта) в условной задаче оценки ТУ КСА ИТКС, $P = \{p_r \mid r = \overline{1, R}\}$, $|P| = \text{card } P = R$;

F – конечное множество свойств ИТКС (критериев, факторов субъекта), на котором определено отношение;

T_X – множество пар свойств и показателей, для которых это отношение выполнено. [12].

Иными словами T_X – отношение на множествах F и P , представляющее собой подмножество T_X множества $F \times P$, где

$$F = \{f_i \mid i = \overline{1, I}\}, \quad |F| = \text{card } F = I, \quad f_i - i\text{-ый фактор (критерий) субъекта.} \quad (17)$$

Для однокритериальной задачи критерием ИТКС может быть одно свойство – f_1 , например, свойство устойчивость.

Третий (булеональный) подход, представленный отношением (16), можно поставить в один ряд с предыдущими подходами, способами упорядочения показателей ТУ, в которых применяются методы парных сравнений и представленными отношениями (1), (5), так как в основе этих подходов лежит элементарный экспертный акт – сравнение двух альтернатив (показателей) единственным экспертом, который в простейшей ситуации должен выбрать (оценить, сопоставить) одну из них. Третий подход, то есть отношение $P \times F$ ($P \times f_1$) выражения (16), можно представить, как отношение $P \times P^I$. Это условное отношение, касающееся пары, представляющее собой один и тот же показатель, но с

разными значениями (качественными или количественными). При этом экспертом действительный показатель (p) сравнивается с «идеальным» показателем ($p^И$), степень принадлежности (выраженности) которого к заданному свойству (фактору) множества F максимальная (идеальная), где $P^И$ – множество идеальных показателей ТУ объекта. Максимальная степень принадлежности задается выбранной шкалой сравнения: качественной («принадлежит» заданному свойству, фактору) и количественной (максимальное значение выбранной количественной шкалы, например, равное единице). Предлагаемый способ задания парных отношений можно представить в виде диагональных матриц для каждого f_i (i -го свойства, фактора), где действительные показатели прописываются по столбцу, а «идеальные» показатели (ПК), «подменяющие» собой i -ое свойство (фактор), соответственно по строке.

Тогда выражение (16), можно представить отношениями $\langle T_{Xi}, P^И, P \rangle$ или формализовать в виде

$$T_{Xi} \subseteq P^И \times P, \tag{18}$$

где

$$(p^И, p) \in T_{Xi} \text{ для каждой пары } (p \in P, p^И \in P^И); \tag{19}$$

P – множество действительных показателей (p), на котором определено отношение по соответствию $P^И$ – множеству идеальных показателей ($p^И$), идеализирующих принадлежность свойству (фактору) f_i , а отношение на множестве $P^И \times P - T_{Xi}$ определяет множество пар $p \times p^И$, для которых это отношение выполнено;

f_i – i -ое свойство (фактор, критерий) надсистемы (субъекта, общей цели исследования), $i = \overline{1, I}$.

Выражение (18) может быть описано математическим аппаратом «приведения матрицы линейного преобразования к диагональному виду», рис. 5. При этом отношение T_{Xi} суть отношения T_X , применительно к критерию (свойству) f_i .

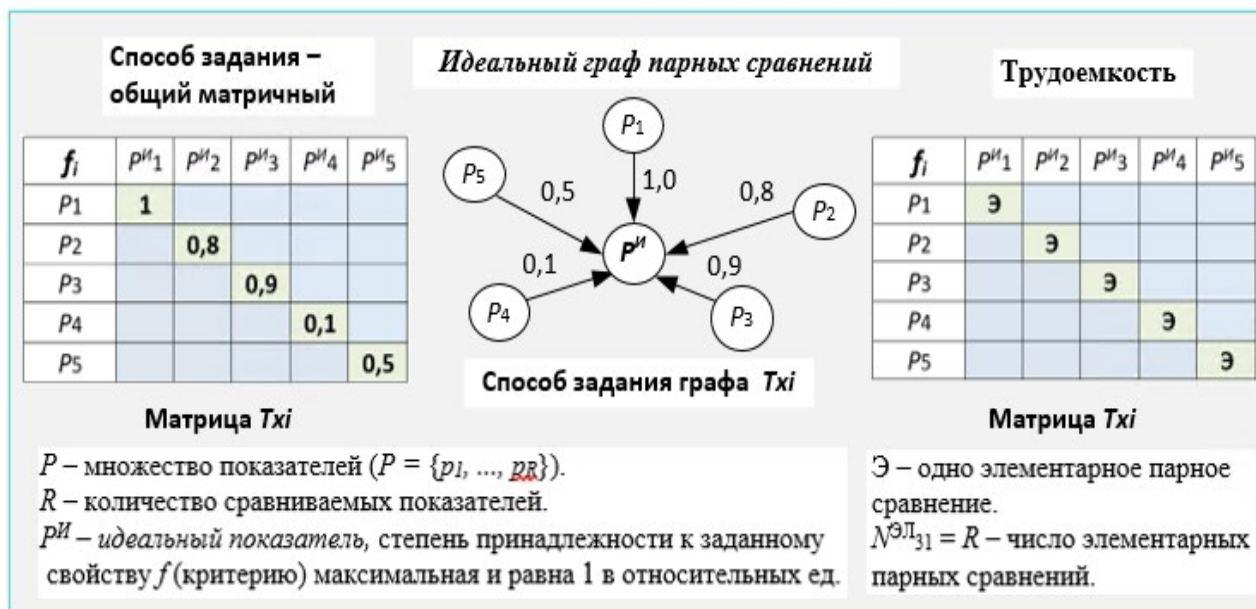


Рис. 5. Третий (булеональный) подход парных сравнений, матрица и граф T_{Xi} .

В третьем (булеональном) подходе парных сравнений на рис. 5 показано приведение матрицы T_{Xi} к диагональному виду, в которой в столбце приведены пять действительных показателей множества P ($p_1 - p_5$) (показателей КСА ИТКС), а в первой строке – пять идеальных показателей множества $P^И$ ($p^И_1 - p^И_5$), степень принадлежности которых свойству f_i (например, свойству *устойчивость* ИТКС) максимальная, равная в

относительных единицах – 1, которые ($p^{II}_1 - p^{II}_5$) заменяют данное свойство f_i в парных сравнениях с действительными показателями $p_1 - p_5$. В результате экспертных сравнений, применяя отношение $P \times P^{II}$, получаем количественные значения степеней принадлежности (влияния, взаимосвязи) пяти показателей КСА ИТКС по отношению к свойству ИТКС (однокритериальная задача). Результаты внесены в главную диагональ данной квадратной матрицы T_{Xi} , идущей из левого верхнего угла в правый нижний ее угол.

Данной экспертной процедуре соответствует так называемый «идеальный граф», в середине которого размещена идеальная вершина («сток» – P^{II}). Данная вершина является смежной вершиной каждой действительной вершине $p_1 - p_5$, соединена направленными дугами. Каждой дуге данного взвешенного графа экспертами приписывается вес (на графе прописан вес каждой дуги). Веса в графе и матрице T_{Xi} соответствуют и равны друг-другу. После проведения известных экспертных проверок, эти количественные оценки применяются в дальнейшем расчетах качества (технического уровня) объектов (КСА ИТКС), согласно алгоритма метода анализа сложных систем [8, 10].

Трудоемкость третьего подхода (рис. 5) по количеству элементарных парных сравнений ($N^{ЭЛ}_3$, определяется выражением (20)

$$N^{ЭЛ}_3 = R \cdot I, \tag{20}$$

где R – количество учитываемых показателей КСА ИТКС,

I – количество свойств (критериев, факторов) ИТКС,

знак «Э» – означает одно элементарное парное сравнение.

В данном примере для пяти показателей ($p_1 - p_5$) и одного свойства (f_1) $N^{ЭЛ}_3 = 5 \cdot 1 = 5$.

Для многокритериальной задачи в третьем (булеональном) подходе парных сравнений применяется матрица T_X и граф T_X , которые приведены на рис. 6.

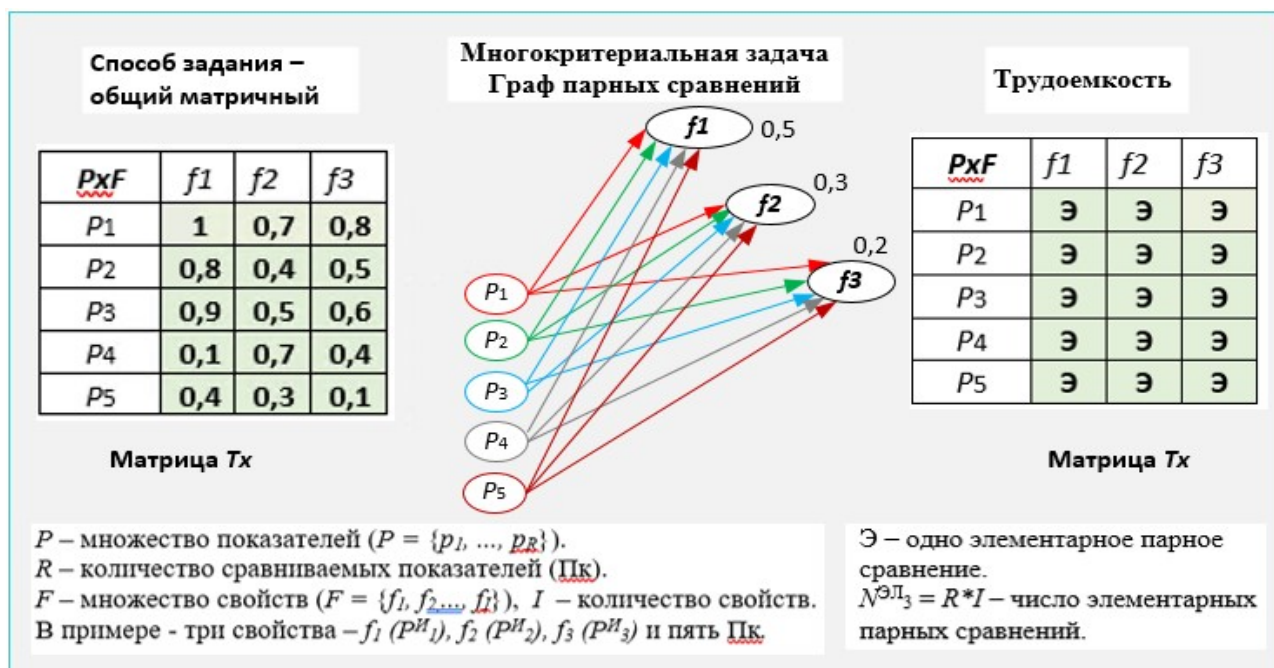


Рис. 6. Третий подход парных сравнений, матрица и граф T_X

На рис. 6 показано, каким образом матрицы диагонального вида T_{Xi} сведены в матрицу T_X . При этом применяется прямоугольная матрица размерностью (порядка) $R \times I$. В редком случае исследований данная матрица может быть квадратной ($R = I$).

В данном условном примере оценки ТУ КСА ИТКС, рассмотрим (допустим) три свойства ИТКС: устойчивость (f_1), готовность (f_2), пропускная способность (f_3). В задаче оценки качества объекта, как правило, число свойств ИТКС (критериев субъекта) гораздо меньше, чем показателей КСА ИТКС (объекта). В зависимости от количества задействованных свойств ИТКС в оценке качества КСА ИТКС меняется мощность булеана и, соответственно, количество (B) булеональных групп (Q_b) важности (качества) показателей объекта (КСА ИТКС). Для двух свойств ИТКС количество булеональных групп КСА ИТКС и мощность булеана множества свойств надсистемы $\beta(F)$ равны четырем ($B = \beta(F)$). Для двух свойств ИТКС $\beta(F) = 2^2 = 4$, для трех – $\beta(F) = 2^3 = 8$, для четырех – $\beta(F) = 2^4 = 16$ и т. д.

В целом третий (булеональный) подход не уступает другим подходам (способам) в достоверности экспертных процедур. Применение в модели булеональной иерархии качества теории нечетких (размытых) множеств позволяет повысить достоверность экспертных методов. В реальной ситуации управления качеством сложных систем многое (цели, ограничения, критерии выбора) существенно субъективны и точно не определены. Поэтому при построении моделей принятия решения или оценки сложных систем возникает необходимость использования нечеткой логики, нечетких множеств и отношений. Нечеткие отношения позволяют моделировать плавное постепенное изменение свойств, а также неизвестные функциональные зависимости, выраженные в виде качественных связей. При этом нечеткое множество образуется путем введения обобщенного понятия принадлежности, то есть расширения двухэлементного множества значения характеристической функции принадлежности $\{0,1\}$ до континуума $[0,1]$, работа [16]. На рис. 6 для трех свойств ИТКС и пяти показателей КСА ИТКС (матрица T_X) приведены значения характеристической функции принадлежности в интервале континуума $[0,1]$.

В рассматриваемом условном примере, следует отметить преимущество модели булеональной иерархии качества, в сравнении с вышерассмотренными моделями упорядочения, в том, что она, как элемент метода анализа сложных систем, позволяет упорядочить неограниченные объемы исходных данных (показателей) в булеональные группы важности (качества), применяя теории множеств, нечетких (размытых) множеств [10]. Методология, методы этих теорий позволяют определять состав показателей в группах важности (качества) на основе введенных предварительных оценок степеней принадлежности показателей p_r множества P нечетким множествам $\tilde{P}_i = \{(p_r, \mu_{f_i}(p_r))\}$, $i = \overline{1, I}$, принадлежащих i -ым свойствам надсистемы f_i множества F , с учетом множества M_i и критериев нечеткости β_i , где $\mu_{f_i}(p_r)$ – характеристическая функция принадлежности r -го показателя (p_r) i -ому свойству (f_i), значения которой принадлежат множеству принадлежностей – \mathfrak{B} в интервале $[0,1]$. А M_i – количество классов принадлежности или состояний принадлежности показателей качества системы свойству f_i надсистемы; β_i – критерий нечеткости характеристической функции $\mu_{f_i}(p_r)$, определяющий принадлежность p_r в среде нечетких подмножеств \tilde{P}_i к четким подмножествам P_{im} множеств P_i , где $i = \overline{1, I}$, $m = \overline{1, M_i}$.

Если в рассматриваемом примере, обращаясь к рис. 6, задать критерию нечеткости (β_i) количественное значение $\beta_i \geq 0,5$, то, показатель КСА ИТКС – P_1 , который имеет оценки степеней принадлежности $\mu_{f_i}(p_1)$ свойствам ИТКС (в матрице T_X) равными: 1 для f_1 ; 0,7 для f_2 ; 0,8 для f_3 , – попадает в первую группу Q_1 , (111 – в двоичной системе счисления), наиболее весомую группу. Данное весомое положение P_1 определяют его высокие значения $\mu_{f_i}(p_1)$. Показатель P_3 (рис. 6) также попадает в группу Q_1 , (111); а показатель P_5 попадает в группу Q_8 , (000), с нулевой весомостью группы, так как для него все значения $\mu_{f_i}(p_5) < 0,5$ (0,4 для f_1 ; 0,3 для f_2 ; 0,1 для f_3). Приведем все булеональные группы важности показателей качества

для трех свойств ИТКС по порядку и в двоичной системе счисления по основанию 2. Это группы Q_1 (111); Q_2 (110); Q_3 (101); Q_4 (100); Q_5 (011); Q_6 (010); Q_7 (001); Q_8 (000)). Рассматривая степени принадлежности остальных двух показателей КСА ИТКС (P_2 и P_4), можно определить их по оценкам степеней принадлежности к свойствам ИТКС таким образом: P_2 принадлежит группе Q_3 (101), а P_4 принадлежит группе Q_6 (010). Остальные группы – пусты. Из приведенного примера следует, что наличие 1 (единицы) в позиции (разряде) двоичной системы счисления означает высокую степень принадлежности показателя свойству, соответствующему данной позиции (разряду) и наоборот, 0 (нуль) – низкую степень принадлежности.

Предложенная двоичная система счисления нумерации булеональных групп качества (групп важности) может быть использована при исследовании различных объектов, в разработках моделей управления качеством сложных систем с помощью искусственного интеллекта, так как именно двоичная система используется практически во всех современных компьютерах и разнообразных вычислительных электронных устройствах.

Предложенная модель булеональной иерархии качества [12], позволяет работать с неограниченной размерностью данных объекта (сложной системы), обеспечивает до начала процедур оценки качества объектов (сложных систем) проводить упорядочивание (формирование и систематизацию, разбиение) выбранного множества показателей (характеристик) объектов в булеональные группы качества (классы принадлежности) путем выявления взаимосвязей (принадлежности) показателей (p) объекта оценивания со свойствами субъекта (f), на основе введенного множества отношений принадлежности (эквивалентности) и критериев принадлежности (свойствам, классификационным признакам) субъекта.

В части модели булеональной иерархии качества следует отметить, что она отвечает всем заданным критериям её выбора и обеспечивает:

- полную группу событий процедуры доупорядочивания данных оценивания (все события, доопределяющие проблемную задачу);
- возможность работы с большими размерностями данных;
- решение как однокритериальных, так и многокритериальных задач;
- возможность упорядочения больших (сверхбольших) конечных множеств альтернатив (показателей) с учетом психологического ограничения для эксперта на количество сравниваемых альтернатив;
- минимизацию количества и влияния факторов, не поддающихся измерению и снижающих достоверность и надежность оценок качества сложных систем;
- уменьшение трудоемкости и сложности задач упорядочения альтернатив (показателей) относительно упомянутых выше подходов.

Применение модели булеональной иерархии качества повышает достоверность результатов моделирования сложных систем, обеспечивает их точность и полноту учета показателей моделируемого объекта и свойств моделируемого субъекта. Имея в виду под полнотой – способность модели обнаруживать и применять все существенные и несущественные свойства (критерии) надсистемы и показатели (альтернативы) качества сложной системы (объекта), а под точностью – способность модели обеспечивать высокую степень совпадения модельных результатов с действительными.

Полнота исходных данных оценивания объекта (сложной системы) обеспечивает возможность лицу, принимающему решение, менять аспекты и условия оценки качества сложной системы, без существенных затрат и переработки конфигурации структуры свойств и показателей оценки объекта, изначально заданных на этапе моделирования.

На рис. 7 показано практическое применение модели булеональной иерархии качества, включающей в себя основные три уровня иерархии:

- первый уровень – цель системы (предмет исследования). На рисунке предметом исследований является оценка технического уровня КСА ИТКС;
- второй уровень – свойства (критерии) ИТКС (надсистемы, субъекта). На рисунке – это три свойства ИТКС, допустим: устойчивость (f_1), готовность (f_2), пропускная способность (f_3);
- третий уровень – показатели качества КСА ИТКС (p) и группы важности показателей качества ИТКС (объекта) (Q_b). На рисунке показатели КСА ИТКС (условно 37 показателей), упорядочены в булеональные группы важности $Q_1 - Q_8$. Для наглядности примера упорядоченные показатели вынесены из вершин соответствующих булеональных групп вниз рисунка, где иллюстрируется их количество по группам.

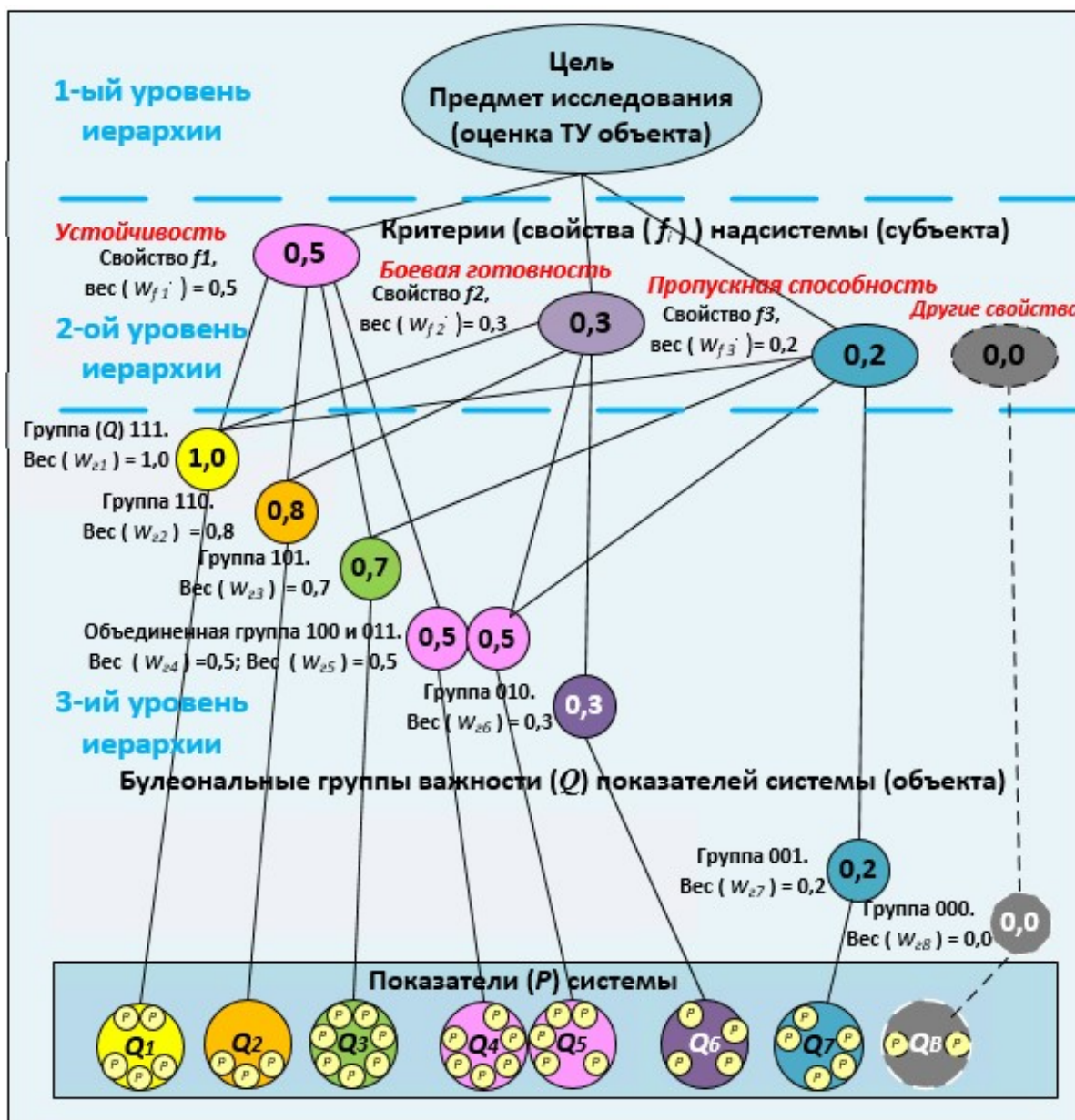


Рис. 7. Третий (булеональный) подход парных сравнений. Условный пример многокритериальной задачи оценки ТУ КСА ИТКС

Количество булеональных групп важности равно булеану множества свойств надсистемы (ИТКС). То есть группы важности показателей качества системы (КСА ИТКС) являются множеством всех подмножеств множества свойств (критериев) надсистемы (ИТКС).

Для ИТКС (в условной задаче оценки технического уровня КСА ИТКС) множество свойств $F = \{f_1, f_2, f_3\}$, $I = 3$. Мощность булеана множества свойств надсистемы $\beta(F) = 2^I$, то есть $\beta(F) = 2^3 = 8$. Это восемь подмножеств $\beta(F) = \{\{f_1, f_2, f_3\}, \{f_1, f_2\}, \{f_1, f_3\}, \{f_1\}, \{f_2, f_3\}, \{f_2\}, \{f_3\}, \emptyset\}$, в том числе и пустое множество \emptyset , которое в данном условном примере соответствует несущественной группе Q_8 с нулевой весомостью, в которую на рис. 7 условно вошли только два показателя (p).

На 2-ом уровне иерархии, рис.7, показаны определяемые экспертами веса свойств надсистемы (ИТКС), а на 3-ем уровне иерархии – веса булеональных групп важности (качества) показателей системы (КСА ИТКС). Вес каждой булеональной группы, обозначенный числом в вершине группы, равен сумме весов свойств ИТКС, с вершинами которых соединена каждая из вершин групп. Так, для группы 111, вес $w_{Г1} = 1$, как сумма весов свойств, с которыми данная вершина группы соединена, $w_{Г1} = 0,5 + 0,3 + 0,2 = 1$. Иными словами, для количественного ранжирования (упорядочивания) булеональных групп важности, классификационным (свойствам) и групповым признакам (сочетаниям свойств) присваиваются коэффициенты весомости, сочетания которых суммируются для соответствующих групп важности (качества) показателей, а затем нормируют и масштабируют. К учету принимаются только группы важности, в которых есть хотя бы один параметр (показатель) [12].

Таким образом, булеональные группы важности (качества) ранжируются по весу. Показатели (параметры) КСА ИТКС в группах важности ранжируются по суммам значений степеней принадлежности каждого показателя (параметра) каждому свойству ИТКС (рис. 6). При этом предполагается, что в результате образования групп показателей в каждой не пустой булеональной группе важности, среди показателей, обладающих одними и теми же классификационными и групповыми признаками (свойствами), могут быть линейно зависимые между собой. Из данных показателей (параметров) к учету оставляется один – комплексный показатель (параметр), так как частный показатель выводим из линейной формулы.

Далее все булеональные группы важности и показатели (параметры), вошедшие в эти группы, приобретают соответствующие значения коэффициентов весомости и упорядочивают по весу и нормируют в соответствии с алгоритмом выбора исходных данных оценки качества (технического уровня) сложных систем [8].

Продолжая условный пример оценки ТУ КСА ИТКС, в таблице приведены все подмножества множества трёх свойств ИТКС (устойчивость, готовность, пропускная способность). Условно показаны 37 показателей (конечное множество показателей) разбитые в группы на этапе перехода (доупорядочивание) этих показателей из состава нечетких множеств в конечные множества. Приведены весомости (экспертные оценки) булеональных групп, определенные экспертами, и нормирование весомостей этих групп. Отдельное внимание следует обратить на нумерацию булеональных групп в двоичной системе счисления с основанием 2.

В данной таблице для $i = 3$, $F = \{f_1, f_2, f_3\}$, пронумерованы восемь подмножеств $\beta(F)$ (верхняя первая строка таблицы) и восемь соответствующих булеональных групп важности Q (вторая строка таблицы).

Для данного примера, в модели булеональной иерархии качества приведены (таблица) три разряда. Старший разряд (позиция) означает принадлежность группы показателей свойству (f_1) с большей весомостью. Младший разряд – свойству с наименьшей весомостью (f_3). Эти свойства предварительно упорядочены по весомости: $f_1 = 0,5$; $f_2 = 0,3$; $f_3 = 0,2$. Наличие единиц или нулей в разрядах означает наличие взаимосвязи или отсутствие взаимосвязи булеональной группы и свойств. Весомость булеональной группы есть сумма весомостей свойств, с которыми они взаимосвязаны.

Таким образом, во всех разрядах (позициях) нумерации групп возможна лишь одна цифра – нуль, или единица. Это удобно тем, что наличие единицы (нуля) в разряде двоичной нумерации групп наглядно показывает, где есть (нет) связь (принадлежность) группы с данным свойством. Так проще и нагляднее в двоичной системе счисления отображать наличие/отсутствие взаимосвязей /принадлежностей свойств и групп показателей. Такая информация хорошо подлжет обработке в ЭВМ.

Таблица – Нумерация и весомости булеональных групп важности (качества)

Подмножества множества свойств ($F=\{f_1, f_2, f_3\}$) ИТКС.	f_1, f_2, f_3	f_1, f_2	f_1, f_3	f_1	f_2, f_3	f_2	f_3	\emptyset
Нумерация Q_b булеональных групп	Q_1	Q_2	Q_3	Q_4	Q_5	Q_6	Q_7	Q_8
Номера групп Q_b в двоичной системе счисления	111	110	101	100	11	10	1	0
Весомость Q_b булеональных групп	1	0,8	0,7	0,5	0,5	0,3	0,2	0
Нормирование весомости Q_b	0,25	0,2	0,175	0,125	0,125	0,075	0,05	0
Количество показателей в Q_b	5	3	7	6	5	4	5	2

Алгоритмически определено, что старшему разряду (позиции) всегда соответствует свойство с большей весомостью, и наоборот, младшему разряду – свойство с наименьшей весомостью.

Следует отметить дополнительные преимущества третьего (булеонального) подхода:

– простота и наглядность экспертных процедур. Не требуется предварительное упорядочивание (ранжирование) показателей на блоки, так как эта процедура прописана в данном булеональном (третьем) подходе;

– единственность процедуры бинарного сравнения каждого показателя с каждым свойством (критерием, фактором), делает его привлекательным для экспертов. При этом субъективность оценок эксперта в элементарных бинарных сравнениях устраняется применением известных методов групповых экспертных оценок. Надо отметить, что другие подходы, также требуют применения методов групповых экспертных оценок;

– количество показателей (параметров) не ограничивается какими-либо рекомендациями, элементарное отношение выражено между показателем (параметром) и свойством (классификационным признаком, фактором) или, при необходимости, идеальным «абстрактным» показателем (параметром), который символизирует собой идеальную принадлежность (степень выраженности равной единице) свойству (классификационному признаку, фактору);

– отсутствует требование транзитивности системы парных сравнений показателей (альтернатив);

– при переходе от качественного ранжирования объектов (КСА) к количественному в подходе учитывается не только то, что на выбор наиболее предпочтительной альтернативы

(объекта) оказывает влияние несколько качественно различных факторов, но и также и неравнозначность самих факторов.

– в части доупорядочивания с помощью модели производится предварительное качественное упорядочение большого числа показателей в шкале наименований в классы принадлежности (эквивалентности) для последующего группирования (сшивки) этих классов в подклассы принадлежности, то есть в булеональные группы важности (качества) показателей. Затем в группах важности реализуется количественное упорядочение показателей в шкале порядка или шкалах интервалов и отношений.

– для практической реализации в информационно-технических системах и нумерации булеональных групп качества (групп важности) в булеональной модели иерархии качества удобнее применять двоичную систему счисления с основанием 2.

3. Результаты сравнений подходов упорядочения большого количества показателей сложных систем

Практическое сравнение третьего и первого подходов было проведено на примере ранжирования параметров мобильных объектов системы связи (СС) [15] и стационарных объектов СС корпорации [8]. Результаты оказались приемлемые. Различия в порядке (важности) параметров СС (10 %) отнесено к тому, что в работе [15] ранжирование параметров СС проводилось как для стационарных, так и для мобильных объектов СС, а в [8] – только для стационарных.

Эффективность третьего подхода парных сравнений, относительно двух других подходов, можно рассмотреть на примере максимального количества объектов, рассмотренных экспертами в работе [2] – 16 объектов. Допустим в однокритериальной задаче (один фактор, свойство) требуется оценить объект по 16 показателям ($R=16$). Исходя из поставленной задачи для **первого подхода**, представленного выражением (3), количество элементарных парных сравнений равно:

$$N_{11}^{эл} = R(R-1) = 16(16-1) = 240,$$

где $N_{11}^{эл}$ – количество элементарных (единичных) парных сравнений в первом подходе упорядочения показателей ТУ;

Для **второго подхода (первый вариант)**, представленного выражением (4)

$$N_{21}^{эл} = R(R-1)/2 = 16(16-1)/2 = 120,$$

где $N_{21}^{эл}$ – количество элементарных (единичных) парных сравнений в первом варианте второго подхода упорядочения показателей ТУ.

Для **второго подхода (второй вариант)**, представленного выражением (11) при $r^{об}(r^{об*}) \geq 2$ и выражением (12),

$$N_{22}^{эл} = Z^* (r^b (r^b - 1)/2) + r^{об*} (r^{об*} - 1) / 2 = 45,$$

где $N_{22}^{эл}$ – количество элементарных (единичных) парных сравнений во втором варианте второго подхода упорядочения показателей ТУ.

Результат – 45 элементарных (единичных) парных сравнений в первом варианте второго подхода упорядочения показателей ТУ получается следующим образом. В соответствии с математическим аппаратом [7] при количестве учитываемых показателей $R = 16$ и, допустим, при количестве показателей в целом блоке (группе, матрице) $r^b = 6$, осуществляем следующие шаги. Первое, в результате деления нацело $16/6$, получаем количество целых учитываемых блоков $Z = 2$. При этом учитываемый остаток показателей $r^{об} \neq 0$.

Тогда для данного второго варианта второго подхода количество сравниваемых показателей $R^* = 18$, в соответствии [7] и нижеследующем выражением

$$R^* = \{(R + Z | r^{об} \neq 0) \vee (R + (Z - 1) | r^{об} = 0)\},$$

Количество целых сравниваемых блоков $Z^* = 3$, так как $R^*/r^b = 18/6 = 3$, $r^{об*} = 0$.

$$N_{22}^{эл} = 3[6(6-1)/2] = 45.$$

R^* – количество сравниваемых показателей, получаемое путем учета в R^* дважды одного и того же учитываемого показателя – p_r ($r = \overline{1, R}$), которого, согласно алгоритма [11], включают в смежные сравниваемые полные блоки (b^*). При этом в ряду сравниваемых показателей этот учитываемый показатель (p_r) на стыке смежных блоков числится как два сравниваемых показателя, но с разными индексами – p_r^* и p_{r+1}^* , где $r = \overline{1, R^*}$ [7];

$N^{эл}_{22}$ зависит от количества показателей в целом блоке (группе, матрице) r^b . Для $R=16$, в соответствии с расчетными формулами [11, 12], если: $r^b=7$, то $N^{эл}_{22}=48$; $r^b=8$, то $N^{эл}_{22}=57$; $r^b=9$, то $N^{эл}_{22}=64$.

Чем больше показателей в целом блоке (группе, матрице) r^b , тем больше трудоемкость экспертных оценок.

Для **третьего подхода**, представленного выражением (20)

$$N^{эл}_3 = RI = 16 \cdot 1 = 16,$$

где $N^{эл}_3$ – количество элементарных (единичных) парных сравнений в третьем подходе упорядочения показателей.

Эффективность третьего булеонального подхода в сравнении с первым и вторым подходами по количеству элементарных экспертных сравнений сравниваемых показателей, а, следовательно, вероятности экспертных ошибок, определяется отношениями

$N^{эл}_{11}/N^{эл}_3, N^{эл}_{21}/N^{эл}_3, N^{эл}_{22}/N^{эл}_3$, которые представлены выражениями (21-23)

$$\mathfrak{J}_{1/3} = R(R-1) / R = R-1; \quad (21)$$

$$\mathfrak{J}_{21/3} = (R(R-1) / 2) / R = (R-1) / 2; \quad (22)$$

$$\mathfrak{J}_{22/3} = [Z^* (r^b (r^b - 1) / 2) + r^{об*} (r^{об*} - 1) / 2] / R, \quad (23)$$

где \mathfrak{J} – эффективность подходов по количеству элементарных экспертных сравнений показателей ТУ (альтернатив).

Представленное сравнение 1 и 2 подходов с третьим подходом упорядочения альтернатив уже в однокритериальной задаче, в части количества проводимых элементарных парных сравнений, подтверждает преимущество третьего булеонального подхода.

Выводы

Задача выбора и обоснования модели упорядочения большой размерности данных в оценке качества сложных систем в статье решена.

Предлагается модель булеональной иерархии качества, основного элемента метода анализа сложных систем, которая соответствует следующим критериям выбора:

- возможность работы с большими (неограниченными) размерностями данных;
- учет полной группы событий;

– минимизация количества и влияния факторов, не подающихся измерению и снижающих достоверность и надежность оценок качества сложных систем.

Модель булеональной иерархии качества позволяет упорядочивать нечеткие множества данных оцениваемого объекта в конечные множества показателей (характеристик), применяя экспертные процедуры разбиения множества показателей (характеристик) объектов в булеональные группы качества (классы принадлежности) путем выявления взаимосвязей свойств субъекта и показателей объекта оценивания на основе введенного множества отношений принадлежности (эквивалентности) классификационным признакам (свойствам, критериям) и групповым признакам (сочетаниям свойств, критериев) субъекта.

Сравнение модели булеональной иерархии качества с другими моделями (методами) упорядочения данных оценивания, применяющих парные сравнения, показывает её преимущества:

- учёт полной группы событий;
- простота и наглядность работы с неограниченной размерностью данных;

- более низкая трудоемкость (высокая эффективность) по количеству проводимых элементарных (единичных) парных сравнений в экспертных процедурах;
- учет индивидуальных представления лица, принимающего решение, и непосредственного исследователя;
- возможность применения двоичной системы счисления в моделях булеональной иерархии качества для упорядочивания (нумерации) булеональных групп качества и оптимизации работы экспертов с ЭВМ;
- применение теории нечетких (размытых) множеств, процедуры которой повышают достоверность экспертных оценок;
- обеспечивается точность и полнота учета показателей моделируемого объекта и свойств моделируемого субъекта, что указывает на способность модели обеспечивать высокую степень совпадения модельных результатов с действительными (точность), а полнота исходных данных оценивания объекта (сложной системы) обеспечивает возможность лицу принимающему решение, менять аспекты и условия оценки качества сложной системы, без существенных затрат и переработки конфигурации структуры свойств и показателей оценки объекта, изначально заданных на этапе моделирования.

Литература

1. Бешелев С. Д., Гурвич Ф. Г. Экспертные оценки. М.: Наука, 1973. 158 с.
2. Блюмберг В. А., Глушенко В. Ф. Какое решение лучше?: Метод расстановки приоритетов. Л.: Лениздат, 1982. 160 с.
3. Дэвид Г. Метод парных сравнений: пер. с англ. М.: Статистика, 1978. с 144 с.
4. Саркисян С. А., Ахундов В. М., Минаев Э. С. Анализ и прогноз развития больших технических систем. М.: Наука, 1982. 282 р.
5. Азгальдов Г. Г., Райхман Э. П. О квалиметрии. М.: Издательство стандартов, 1972. 172 с.
6. Денисов А. А., Колесников Д. Н. Теория больших систем управления. Л.: Энергоиздат, 1982. 288 с.
7. Севастьянов С. И. Критерий размерности множеств альтернатив в экспертных оценках, проводимых методом парных сравнений // Техника средств связи. 2020. № 3 (151). С. 80-90.
8. Севастьянов С. И. Обобщенная методика оценки технического уровня комплексов средств автоматизации системы обмена данными. СПб.: ЦНИИ связи, 2004. 260 с.
9. Севастьянов С. И. Ранжирование совокупности показателей научно-технического уровня элементов системы связи // ЦВНИ МО. 2000. № 3. С. 5-10.
10. Севастьянов С. И. Подход к выбору и упорядочению внешних критериев оценки качества комплексов средств автоматизации подсистемы обмена данными // ЦВНИ МО. 2003. № 2. С. 5-21.
11. Саати Т., Кернс К. Аналитическое планирование. Организация систем. М.: Радио и связь, 1991. 224 с.
12. Севастьянов С. И. Булеональная иерархия качества метода анализа сложных систем // Техника средств связи. 2023. № 4 (163). С. 50-66. DOI: 10.24412/2782-2141-2023-3-50-66.
13. Шрейдер Ю. А. Равенство, сходство, порядок. М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1971. 256 с.
14. Розен В. В. Цель – оптимальность – решение (математические модели принятия оптимальных решений). М.: Радио и связь, 1982. 168 с.
15. Дорошенко В. И., Коваленко С. Д., Полубок А. Н., Смелов А. В., Чащин В. Г. Подход к оценке влияния различных параметров на эффективность системы связи. СПб: Сборник ЦНИИ, 1996. Вып. 2 (138).
16. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств. М.: Радио и связь, 1991. 432 с.

References

1. Beshelev S. D., Gurvich F. G. *E`kspertny`e ocenki* [Expert assessments]. Moscow. Nauka Publ., 1973. 158 p. (in Russian).

2. Blumberg V. A., Glushchenko V. F. *Kakoe reshenie luchshe? Metod rasstanovki prioritetov* [Which solution is better? The method of prioritization]. Leningrad. Lenizdat Publ., 1982. 160 p. (in Russian).
3. David G. The method of paired comparisons: trans. from English. Moscow. Statistics Publ., 1978. 144 p. (in Russian).
4. Sarkisyan S. A., Akhundov V. M., Minaev E. S. *Analiz i prognoz razvitiya bol'shikh tekhnicheskikh sistem* [Analysis and forecast of the development of large technical systems]. Moscow. Nauka Publ., 1982. 282 p. (in Russian).
5. Azgaldov G. G., Reichman E. P. *O kvalimetrii* [On qualimetry]. Moscow. Publishing House of Standards, 1972. 172 p. (in Russian).
6. Denisov A. A., Kolesnikov D. N. *Teoriya bol'shikh sistem upravleniya* [Theory of large control systems]. Leningrad. Energoizdat, 1982. 288 p. (in Russian).
7. Sevastyanov S. I. Criterion of the dimensionality of sets of alternatives in expert assessments conducted by the method of paired comparisons. Means of communication equipment. 2020. No. 3(151). Pp. 80-90 (in Russian).
8. Sevastyanov S. I. *Obobshhennaya metodika ocenki texnicheskogo urovnya kompleksov sredstv avtomatizatsii sistemy` obmena danny`mi* [Generalized methodology for assessing the technical level of automation complexes of the data exchange system]. St. Petersburg: Central Research Institute of Communications, 2004. 260 p. (in Russian).
9. Sevastyanov S. I. Ranking of the totality of indicators of the scientific and technical level of the elements of the communication system. *CzVNI MO* [TSVNI MO]. 2000. No. 3. Pp. 5-10 (in Russian).
10. Sevastyanov S. I. Approach to the selection and ordering of external criteria for assessing the quality of automation complexes of the data exchange subsystem. *CzVNI MO* [TSVNI MO]. 2003. No. 2. Pp. 50-66 (in Russian).
11. Saati T., Kearns K. *Analiticheskoe planirovanie. Organizatsiya sistem* [Analytical planning. Organization of systems]. Moscow. Radio and Communications Publ., 1991. 224 p. (in Russian).
12. Sevastyanov S. I. Boolean hierarchy of quality of the method of analysis of complex systems. Means of communication equipment. 2023. No. 4 (163). Pp. 50-66. DOI: 10.24412/2782-2141-2023-3-50-66 (in Russian).
13. Schrader Yu. A. *Ravenstvo, skhodstvo, poryadok* [Equality, similarity, order]. Moscow. Nauka Publ., Main editorial Office of Physical and Mathematical literature, 1971. 256 p. (in Russian).
14. Rosen V. V. *Cel' - optimal'nost' - reshenie (matematicheskie modeli prinyatiya optimal'nykh reshenij)* [Goal – optimality – solution (mathematical models of optimal decision-making)]. Moscow. Radio and Communications Publ., 1982. 168 p. (in Russian).
15. Doroshenko V. I., Kovalenko S. D., Polubok A. N., Smelov A. V., Chashchin V. G. *Podhod k ocenke vliyaniya razlichnykh parametrov na effektivnost' sistemy svyazi* [An approach to assessing the influence of various parameters on the effectiveness of a communication system]. St. Petersburg: Collection of Central Research Institute, 1996. Is. 2 (138). (in Russian).
16. Kofman A. *Vvedenie v teoriyu nechetkikh mnozhestv* [Introduction to the theory of fuzzy sets]. Moscow: Radio and Communications, 1991. 432 p. (in Russian).

Статья поступила 18 ноября 2023 г.

Информация об авторе

Севастьянов Степан Иванович – Кандидат технических наук. Главный специалист публичного акционерного общества «Информационные телекоммуникационные технологии» (ПАО «Интелтех»). Область научных интересов: моделирование сложных организационно-технических систем. Тел.: +7(812)295-74-07. E-mail: SevastyanovSI@inteltech.ru.

Адрес: 197342, г.Санкт-Петербург, ул. Кантемировская, д. 8.

Choosing a model for ordering large data dimensions in assessing the quality of a complex system

S. I. Sevastyanov

Annotation. In order to solve the problem of assessing the quality of complex systems characterized by large volumes of source data, a model for ordering large-dimensional evaluation data - the boolean hierarchy of quality, which is the main element of the method of analyzing complex systems, has been developed and proposed. To justify the choice of this model, a general analysis of approaches to data ordering in assessing the quality of complex systems was carried out. The most characteristic methods of expert assessments using paired comparisons are highlighted, and their analysis is carried out for the possibility of working with unlimited amounts of data for evaluating complex systems. A comparative assessment of the considered models (methods) of data ordering and the model of the boolean hierarchy of quality is given in terms of their complexity (simplicity) and labor intensity in terms of the number of elementary paired comparisons in expert procedures. **The aim of the work** is to improve the effectiveness of quality management of complex systems in the tasks of evaluation and selection of the best management solution. The objective of the article is to select and substantiate a model for ordering large data dimensions in assessing the quality of complex systems. The criteria for choosing an ordering model are taking into account a complete group of events, the ability to work with large data dimensions and minimizing the number and influence of factors that cannot be measured and reduce the reliability and reliability of quality assessments of complex systems. **The novelty** consists in substantiating the choice of a boolean quality hierarchy model for ordering large volumes of initial data for evaluating complex systems, in which expert methods divide a set of indicators into universal (boolean) essential and non-essential groups of importance (quality) by determining whether or not each indicator of the system belongs to one of the boolean group of importance (quality) of the system (object). A computational formula for estimating the complexity of the expert procedure of the boolean approach based on the number of elementary (single) paired comparisons in expert procedures is proposed. **Result:** the analysis of approaches and methods of ordering alternatives (indicators) using paired comparisons for working with large dimensions of evaluation data is carried out. It is shown that the complexity of the chosen boolean model in working with large data dimensions is significantly less in comparison with other models and methods using paired comparisons. **Practical significance:** The advantage of the boolean quality hierarchy model, compared with existing ordering models, is the ability to work with large data dimensions, clarity, clarity and ease of use, in reducing the number of elementary paired comparisons in expert procedures, as well as in providing the opportunity, after the transition to practical implementation, quickly, without significant costs, to change the aspects and conditions of assessing the quality of objects.

Keywords: large dimensions of data, boolean hierarchy of quality, method of analysis of complex systems, ordering model, "curse of dimension".

Information about author

Sevastyanov Stepan Ivanovich – Candidate of Technical Sciences. Chief Specialist of PJSC «Inteltech». Research interests: modeling of complex organizational and technical systems. Tel.: +7(812) 295-74-07. E-mail: SevastyanovSI@inteltech.ru.

Address: 197342, St. Petersburg, Kantemirovskaya str., 8.

Для цитирования: Севастьянов С. И. Выбор модели упорядочения большой размерности данных в оценке качества сложной системы // Техника средств связи. 2023. № 4 (164). С. 39-65. DOI:10.24412/2782-2141-2023-4-39-65.

For citation: Sevastyanov S. I. Choosing a model for ordering large data dimensions in assessing the quality of a complex system. Means of communication equipment. 2023. No. 4 (164). Pp. 39-65. DOI:10.24412/2782-2141-2023-4-39-65 (in Russian).

УДК 004.8

DOI:10.24412/2782-2141-2023-4-66-71

Подходы к применению технологий искусственного интеллекта для решения задач автоматизированного управления в сложных организационно-технических системах

Губенко А. М.

***Аннотация.** В статье рассмотрены подходы к применению технологий искусственного интеллекта для решения задач автоматизированного управления в сложных организационно-технических системах. Раскрыто понятие информационное содержание сложных технических систем, описаны этапы в реализации процесса автоматизированного управления, проведено сравнение организации цикла управления при использовании подходов адаптивного управления и предсказательной аналитики.*

***Ключевые слова:** технология искусственного интеллекта, сложные организационно-технические системы, адаптивное управление, предсказательная аналитика.*

Введение

Развитие мирового сообщества демонстрирует, что принципиально важным государственным ресурсом, обеспечивающим национальную безопасность стран, становится информация, циркулирующая в сложных организационно-технических системах. Информационно-телекоммуникационные системы на сегодняшний день представляют неотъемлемый компонент инфраструктуры любой организации.

Развитие технологий построения таких систем является одним из приоритетных направлений при решении задач обеспечения национальной безопасности Российской Федерации.

Конвергенция информационных и телекоммуникационных технологий

На сегодняшний день необходимо отметить, что основным движущим фактором развития современных технологий во всех сферах деятельности, является процесс конвергенции (сближения, а зачастую взаимопроникновения) информационных и телекоммуникационных технологий друг в друга. Представим себе информационно-телекоммуникационную систему в виде пирамиды, в основании которой находятся главные задачи функционирования, данной сложной организационно-технической системы, мультисервисные услуги должны быть предоставлены: всегда, везде, в требуемом объёме, и с необходимым (заданным) качеством. На вершине пирамиды находится пользователь, в интересах которого функционирует система. Технологии построения беспроводных систем пытаются достичь вершины пирамиды (совершенствуясь) по своей грани, технологии построения проводных сетей по своей грани, стремясь к достижению тех же целей, технологии систем абонентского доступа по своей, компьютерные (информационные) технологии по своей, и так далее, и все стремятся к достижению одних целей.

Так вот, процесс конвергенции, это когда, находясь далеко от основания, ближе к вершине, мы обнаруживаем, что грани пирамиды уже плохо различимы. Разные подходы, способы, информационные технологии и виды связи, сливаются в единый процесс и уже нельзя уверенно сказать где технология радиосвязи, а где построение проводных глобальных сетей, как например происходит с технологиями сотовой связи поколений 3G, 4G, 5G. Технология предоставления услуг сотовой связи абоненту по сути своей, начиная с 3-го поколения становится универсальной мультисервисной технологией, основанной на использовании как радиointерфейсов, на линии «абонент – базовая станция», так и технологий построения проводных транспортных сетей, связывающих базовые станции между собой, не говоря уже о взаимодействующих информационных технологиях, призванных предоставить абоненту весь перечень современных информационно-телекоммуникационных услуг. Если в начале 80-х годов кто-нибудь

сказал бы первым пользователям стандартов аналоговой сотовой связи, что они смогут отправлять сообщения электронной почты со своих телефонов, ему бы не поверили, как минимум, а как максимум покрутили бы пальцем у виска. Сегодня это совершенно естественный процесс, как и видеотелефонный звонок с компьютера. Это и есть конвергенция.

Естественно, нельзя сказать, что сегодня, мы достигли вершины, тогда, мы связисты, скорее всего не были бы нужны в принципе, люди смогли бы совершенно спокойно передавать мысли напрямую друг другу, вот настоящая конвергенция, но и от основания пирамиды мы уже точно заметно удалились. Это накладывает особый отпечаток на развитие и совершенствование систем связи.

Следует отметить, что пользователей, в принципе, не интересует, какие именно технологии реализованы в сети. Пользователям нужен результат деятельности сети в виде услуг по связи, предоставляемых сложной организационно-технической системой в определенных условиях и за определенную оплату ресурсов.

В то же время постоянно увеличивается информационное содержание функционирующих и создаваемых систем, изменяются функциональные особенности сетевого оборудования, возрастает количество форм и способов внедрения и применения информационно-телекоммуникационных технологий в различных сочетаниях.

Информационно-телекоммуникационные сети с интеллектуальным распределением ресурсов

Понятие «информационное содержание» характеризует современные информационно-телекоммуникационные сети (ИКС) как сложные интеллектуальные системы, способные изменять свое состояние в пределах огромного множества возможных состояний (степеней свободы) всех сетевых элементов.

Выбор очередного состояния каждого сетевого элемента все больше и больше доверяется компьютерным средствам автоматизированного сетевого управления, способным оперативно отслеживать изменения внешних воздействий и эффективно перераспределять сетевые ресурсы.

Подобное построение информационно-телекоммуникационных сетей знаменует переход от идеологии построения пассивных сетей с фиксированным закреплением ресурсов к идеологии построения активных коммутируемых сетей с интеллектуальным перераспределением ресурсов.

То есть осуществляется переход функционирования сети от обеспечения устойчивости маршрутизации к устойчивости предоставления услуг, за счёт переориентации от управления компонентами сети связи к управлению функциональностью информационно-телекоммуникационной сети в целом.

Сегодня можно утверждать, что с информационной точки зрения управление и связь в сложных организационно-технических системах являются составляющими единого интеллектуально-информационного процесса, связанного со сбором, обработкой, хранением и передачей больших объемов разнородной информации.

В условиях современного глобализованного мира и бурного развития сетевых технологий сбора и передачи информации на лицо, принимающее решение (ЛПР), в процессе такого управления, непрерывно обрушивается такой «девятый вал» информации, что ее осмысление для него становится нереальным. Часть информации необходимо, предварительно обрабатывать и сжимать, представляя в таком виде, что бы позволить должностному лицу принять решение с учетом его личных профессиональных и психологических качеств. Особенно это важно в условиях дефицита или избытка данных при ограниченном ресурсе времени.

Такая постановка задачи, на применение технологий искусственного интеллекта как никогда актуальна при создании автоматизированных систем управления сложных

организационно-технических систем, вынужденных действовать зачастую в условиях активных дестабилизирующих воздействий.

Однако нельзя не отметить тот факт, что принятие решения для ЛПР, не может быть в целом отдано на откуп интеллектуальным системам. Принятие решения – это волевой акт выбора наилучшего варианта действий в той или иной обстановке, с теми или иными ограничениями. Однако одной только воли для принятия эффективных решений недостаточно. Требуются еще соответствующие процедуры рационального мышления – как от лица, принимающего решение, так и от тех систем, которые готовят ему проекты и варианты. Процесс рационального мышления – это, по сути, известная пирамида когнитивного познания, позволяющая системно взглянуть на основополагающие подходы к процессу выработки решений.

Технологии искусственного интеллекта при реализации автоматизированного управления сложными организационно-техническими системами

Разберем поэтапно применение технологий искусственного интеллекта при реализации автоматизированного управления сложными организационно-техническими системами.

Первым этапом в реализации процесса автоматизированного управления является этап наблюдения (сбора информации о состоянии контролируемых элементов).

Существующие информационно-телекоммуникационные системы представляют из себя конгломерат огромного количества технологий.

Конкретные сетевые технологии (технологии построения сети) фактически определяют правила, по которым работает сеть в течение заданного (внешней системой управления) времени, расходуя соответствующие данным технологиям ресурсы и выполняя текущие требования пользователей (абонентов) по связи в определенных (как правило, мешающих) условиях воздействия внешней среды.

Процесс сбора данных и наблюдения за такими системами, как правило, сопряжен с большими трудностями, заключающимися в том, что реализация общепринятых стандартов функционирования в конкретном оборудовании зачастую является проприетарной.

Проведенные исследования показали, что одним из путей решения существующих проблем в ИКС является виртуализация сетевых функций (от англ. *Network Function Virtualization, NFV*) на основе централизованного управления телекоммуникационным ресурсом.

Виртуализация сетевых функций (*NFV*) возможна по всей сети, или в тех местах, где она наиболее эффективна и экономически оправдана: в центрах обработки данных, сетевых узлах и объектовых сетях.

Следующим этапом развития данной концепции является создание унифицированных программно-определяемых платформ, а в дальнейшем программно-определяемых сетей. Реализация данной концепции в первую очередь позволит унифицировать процедуры информационного обмена служебной информацией, существенно упростить реализацию оборудования, процедуры наблюдения за состоянием объектов информационного взаимодействия.

Реализация такого подхода требует применения технологий обработки огромных массивов данных, фактически приводя к необходимости создания системы систем.

В системе систем (*System of Systems, SoS*) отдельные системы могут существовать автономно, поскольку были разработаны и функционируют независимо друг от друга, и при этом представлять собой полноценную целевую систему.

Базовой проблемой на этапе обработки информации в свете формирования системы систем является обеспечение взаимодействия независимо созданных систем.

Взаимодействие в общем обеспечивается путем сопряжения, согласованности и совместимости систем. Причем сопряженность понимается как взаимное соответствие

граничных элементов, позволяющих соединить систему объединением их входов и выходов, а согласованность – как возможность функционирования системы в условиях, обеспечивающих их объединение в единую интеграционную совокупность. Процесс интеграции различных систем проявляется в обмене данными (информацией), выступающими как результат решения задач управления в них.

В процессе интеграции систем важное место занимает понятие «интероперабельность».

Интероперабельность – способность двух или более информационных систем или компонентов к обмену информацией и к использованию информации, полученной в результате обмена. Интероперабельность играет значимую роль при создании систем автоматизации и их интеграции и, наряду со свойством переносимости, является важнейшей составляющей понятия «открытые системы». Во взаимодействующих системах существует необходимость не просто в обмене данными, но и в эффективном использовании информации. И здесь как никогда важна роль новых информационных технологий.

Так, недостаточный уровень автоматизации процессов управления некоторых ИКС уже сегодня стал их ключевой проблемой, решить которую можно только путем перехода от повсеместно применяемого принципа управления, отдельно взятым сетевым элементом, предложенного ведущими производителями телекоммуникационного оборудования, к принципу единого сетевого управления, которая рассматривает сеть связи как совокупность различных сетевых ресурсов, а это возможно исключительно реализацией процессов перехода от баз данных к общей картине действия посредством моделирования системы систем. Это создает возможности перехода от баз данных к базам знаний для реализации процессов овладения и понимания ситуации, что позволяет перейти к реализации следующего этапа, *этапа принятия решения*.

Моделирование функционирования системы при реализации процесса принятия решения позволяет осуществлять выбор варианта действий на основании глубокого понимания ситуации.

Теоретически неограниченные возможности сетей *SDN* к расширению позволяют строить «облака», масштабируемые в зависимости от решаемых задач. При этом сеть обладает требуемой «интеллектуальностью», необходимой, в частности, для управления работой обширных групп коммутаторов.

Помочь в решении данной задачи могут технологии построения искусственных нейронных сетей.

Нейронные сети используются для решения сложных задач, которые требуют аналитических вычислений подобных тем, что делает человеческий мозг. Самыми распространенными применениями нейронных сетей является:

- *классификация* – распределение данных по параметрам;
- *предсказание* – возможность предсказывать следующий шаг. Например, рост или падение интенсивности трафика, основываясь на ситуации, складывающейся на сети on-line;
- *распознавание* – в настоящее время, самое широкое применение нейронных сетей.

Ключевым моментом в работе нейронной сети является ее *обучение*. Сейчас есть множество инструментов, с помощью которых можно создать сложные модели машинного обучения.

Эффективность решения задач классификации огромного объема данных и распознавания закономерностей в режиме реального времени позволяет осуществлять балансировку нагрузки улучшая при этом воспринимаемое качество обслуживания. Решение задачи маршрутизации в ИКС традиционно во многом зависит от адекватности математических моделей и методов, используемых при разработке соответствующих алгоритмов управления.

Известно, что протоколы маршрутизации в информационно-телекоммуникационных сетях основаны преимущественно на графовых моделях, в рамках которых заложена адаптация лишь к изменению топологии сети. Однако в рамках подобных моделей не учитывается потоковый характер трафика, циркулирующего в современных сетях, поэтому перспективным является переход к потоковым моделям маршрутизации, в рамках которых наряду с расчетом множества путей определяется порядок распределения по ним трафика пользователей.

В случае функционирования в условиях дестабилизирующих воздействий зачастую отсутствуют статистические данные о реакции элементов сети. Это требует разработки специального подхода к решению потоковых задач, позволяющих распределять и перераспределять информационные потоки, учитывая при этом информацию о реакции элементов сети к внешним и внутренним дестабилизирующим воздействиям, для вероятностного описания характеристик которых недостаточно имеющегося статистического материала.

С другой стороны, строительство «масштабируемых облачных пространств» с точки зрения решения задачи автоматизированного управления связью требует реализации алгоритмов прогнозирования сетевой активности.

Реализация алгоритмов прогнозирования возможна с учетом необходимости анализа колоссального объема данных в режиме реального времени, как условие сокращения цикла управления. Это создает предпосылки к переходу от создания адаптивных систем к предиктивным системам.

Адаптивное управление – совокупность методов, позволяющих синтезировать системы управления, которые имеют возможность изменять параметры регулятора или структуру регулятора в зависимости от изменения параметров объекта управления или внешних возмущений, действующих на объект управления. Цикл управления при реализации такой системы, классический: наблюдение; оценка; решение; действие.

Предсказательная аналитика (*прогнозная аналитика, предиктивная аналитика от aHra.predictive analytics*) – класс методов анализа данных, концентрирующийся на прогнозировании будущего поведения объектов и субъектов с целью принятия оптимальных решений.

Предсказательная аналитика использует статистические методы, методы интеллектуального анализа данных, теории игр, анализирует текущие и исторические факты для составления предсказаний о будущих событиях. В системе управления прогнозные модели используют паттерны, найденные в исторических и выполняемых данных, чтобы идентифицировать риски и возможности. Модели фиксируют связи среди многих факторов, чтобы сделать возможной оценку рисков или потенциала, связанного с конкретным набором условий, руководя принятием решений.

При выборе данной парадигмы управления цикл управления, по результатам накопленных данных, смещен: предсказание-решение, наблюдение, анализ данных, корректировка.

Вывод

Устранить недостатки указанных подходов, возможно созданием гибридной системы, реализующей обе парадигмы. Однако необходимо заметить, что согласно теории сложных систем, усложнение системы, может быть осуществлено, исключительно после обоснования выигрыша. Пока выигрыш такого решения не доказан, подобный подход может привести к сложностям проектирования и реализуемости, а также многочисленным отказам и несогласованности в работе.

Литература

1. Subramanian S., Voruganti S. Software-Defined Networking (SDN) with OpenStack. Packt Publishing. 2016. ISBN: 9781786465993.
2. Шматко А. Современные подходы построения SDN сетей. LAP LAMBERT Academic Publishing. 2017. 84 p.
3. Стюарт Р., Питер Н. Искусственный интеллект. Современный подход. М.: Вильямс, 2019. 1408 с.
4. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс, 2-е изд.: Пер. с англ. – М.: ООО «И.Д. Вильямс», 2016. 1104 с. ISBN 978-5-8459-2069-0.

References

1. Subramanian S., Voruganti S. Software-Defined Networking (SDN) with OpenStack. Packt Publishing. 2016. ISBN: 9781786465993.
2. Shmatko A. Modern approaches to building SDN networks. LAP LAMBERT Academic Publishing. 2017. 84 p. (in Russian).
3. Stewart P., Peter H. Artificial intelligence. A modern approach. Moscow. Williams Publ., 2019. 1408 p. (in Russian).
4. Khaykin S. Neural networks: a complete course. Moscow. Williams Publ., 2016. 1104 p. ISBN 978-5-8459-2069-0 (in Russian).

Статья поступила 23 сентября 2023 г.

Сведения об авторе

Губенко Андрей Михайлович – Главный эксперт. Филиал публичного акционерного общества «Информационные телекоммуникационные технологии» (ПАО «Интелтех» «Корунд»). Область научных интересов: автоматизация управления сложными организационно-техническими системами. Адрес: 197342, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Кантемировская д. 8. Тел.: +7-977-765-92-80. E-mail: intelteh@inteltech.ru.

Approaches to the application of artificial intelligence technologies to solve automated control problems in complex organizational and technical systems

A. M. Gubenko

Annotation. The article considers approaches to the application of artificial intelligence technologies to solve automated control problems in complex organizational and technical systems. The concept of the information content of complex technical systems is disclosed, the stages in the implementation of the automated control process are described, and the organization of the management cycle is compared using adaptive management and predictive analytics approaches.

Keywords: artificial intelligence technology, complex organizational and technical systems, adaptive management, predictive analytics.

Information about authors

Gubenko Andrey Mikhailovich is the Chief expert. A branch of the public Joint Stock Company "Information Telecommunication Technologies" (PJSC "Inteltech" "Corundum"). Research interests: automation of management of complex organizational and technical systems. Address: 197342, Russia, St. Petersburg, Kantemirovskaya str. 8. Tel.: +7-977-765-92-80. E-mail: intelteh@inteltech.ru.

Для цитирования: Губенко А. М. Подходы к применению технологий искусственного интеллекта для решения задач автоматизированного управления в сложных организационно-технических системах // Техника средств связи. 2023. №4 (164). С. 66-71. DOI:10.24412/2782-2141-2023-4-66-71.

For citation: Gubenko A. M. Approaches to the application of artificial intelligence technologies to solve automated control problems in complex organizational and technical systems. Means of communication equipment. 2023. №4 (164). Pp 66-72. DOI:10.24412/2782-2141-2023-4-66-71. (in Russian).

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ И ТЕХНОЛОГИИ.
СБОР, ХРАНЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ**

УДК 65.011.56

DOI:10.24412/2782-2141-2023-4-72-80

Развитие методов производственного планирования и контроля

Моисеев Д. А., Смирнов А. Н.

Аннотация. *Постановка задачи:* В статье проводится анализ используемых автоматизированных информационных систем на предприятии. Констатируется автономное использование различных решений продукта фирмы «1С» и множества дополнительных источников данных из таблиц продукта Excel. В процессе исследования ставятся задачи, связанные с развитием и построением системы производственного планирования и контроля на предприятии, учитывающие интеграцию информационных потоков предприятия в единое информационное поле. При этом **целью работы** является разработка функционала «Паспорт контракта» для решения задачи развития существующих методов производственного планирования и контроля на предприятии. **Новизной работы** является то, предлагаемый функционал не является специальным сторонним инструментом бизнес-аналитики, а представляет собой инструмент, встроенный в имеющуюся и действующую на предприятии информационную систему. Предлагаемое решение интегрирует данные, размещенные в автоматизированной информационной системе, с аналитической системой данных, поступающих от инженерно-технических работников предприятия, представляет полученную свертку информации из разнотипных информационных потоков как единое информационное поле, с учетом заявленных когнитивных требований к отображению информации, для решения задач управления, аудита и производственного планирования. **К основным результатам** работы можно отнести результаты и выводы, сделанные при тестовой эксплуатации разработанного функционала, определяющие, что использование «Паспорта контракта» обеспечивает лицу, принимающему решение, получение более наглядных и расширенных данных, сокращение времени на поиск информации, упрощение работу с информационными активами. **Практическая значимость** работы заключается в апробации предложенного функционала на внедренной информационно-аналитической системе. Предложенный функционал также может найти практическое применение при развитии методов планирования производства на предприятиях контура ГК «Ростех».

Ключевые слова: автоматизированная система управления, бизнес-аналитика, паспорт контракта, производственное планирование и контроль, система мониторинга, «1С:Управление Производственным Предприятием».

Введение

Конкурентоспособность любого предприятия невозможна без эффективного управления и качественной организации производственного планирования. Задача повышения эффективности производства неразрывно связана с задачей повышения и развития новых методов производственного планирования и контроля на предприятиях различных организационно-правовых форм и форм собственности [1]. Главная цель производственного планирования состоит в том, чтобы на предприятии имелся действенный инструмент для определения и выбора факторов, способствующих достижению целей, генерации альтернатив и выявления рисков [2]. Планирование направлено на достижение объёмных (количество и состав продукции) и временных (срок изготовления) показателей производственной программы предприятия.

Существенно повышает оперативность и эффективность планирования использование информационных систем предприятия. Широкое внедрение современных информационных технологий, баз данных, автоматизированных систем обеспечивает создание единого

информационного пространства на предприятии. Практически на всех предприятиях различных масштабов и видов деятельности нашел применение и успешно используется программный продукт фирмы «1С» с конфигурацией «1С:Управление Производственным Предприятием». Этот программный продукт позволяет автоматизировать контуры [3]:

- управление производством;
- управление закупками;
- управление продажами;
- управление отношениями с клиентами (*CRM*);
- управление финансами;
- управление персоналом и расчет зарплаты;
- учет основных средств;
- бухгалтерский учет и документы международных стандартов финансовой отчетности;
- финансовое управление;
- бюджетирование в «1С:Управление производственным предприятием».

Однако, начиная с 2018 г. «1С:УПП» и отраслевые конфигурации на ее основе сняты с продажи. Компании, все еще работающие в «1С:УПП» постепенно переходят на усовершенствованный продукт «1С:ERP Управление предприятием» [4]. Прикладное решение «1С:ERP Управление предприятием» является решением, охватывающим более широкие контуры управления и учета, такие как [5]:

- учет кредитов, депозитов и займов;
- эквайринг (платежные карты);
- гибкие инструменты для ведения платежного календаря;
- расширенные возможности управления текущими платежами и платежными документами на будущие даты;
- маршруты согласования заявок;
- аналитическая отчетность по движению денежных средств, инвентаризация расчетных счетов;
- настраиваемый план счетов финансового учета по международным стандартам;
- использование шаблонов проводок;
- создание документов по типовым операциям;
- аудируемость данных;
- генератор финансовых отчетов.

На многих организациях, реализующих проектную деятельность и использующих в своей работе понятия «проект», «портфель проектов», «программа проектов» применяется продукт «1С:PM Управление проектами». Это совместный продукт компании *ITLand* и фирмы «1С», при разработке которого учитывались мировые стандарты управления проектами [6]. «1С:PM Управление проектами» охватывает контуры, отражающие полный жизненный цикл проекта, начиная от инициации до завершения проекта:

- мониторинг проекта по ключевым показателям эффективности. Предоставление оперативных данных по ключевым показателям для достижения стратегических и тактических (операционных) целей;
- мониторинг хода выполнения проекта, выявление отклонений на самых ранних стадиях проекта. Обеспечение управляющего персонала компании необходимой информацией о возникающих проблемах и нарушениях планов;
- разделение зон ответственности между руководителями проектов, руководителями проектных групп и функциональными менеджерами при планировании работ и контроля над их исполнением;

– фиксация условий первоначальных договорных отношений, фиксация изменений и дополнительных соглашений. Установка связей между календарным планом работ по договору и календарным планом проектных работ;

– управление загрузкой и рабочим временем по проектам, анализ оперативной загрузки специалистов, управление документами проекта, формирование диаграммы Ганта по портфелям проектов;

– сбор и анализ истории работ по проектам, совершенствование технологий предприятия. Аккумуляция и анализ исторических и статистических данных, выделение «Лучших практик».

Актуальность

Вышеперечисленные продукты фирмы «1С» являются самостоятельными комплексными решениями, автоматизирующими основные процессы учета и управления сферы производства. Но зачастую интеграция всех этих контуров управления в единый мощный инструмент бизнес-анализа на предприятиях отсутствует. Оперативное обеспечение руководящего персонала компании актуальной и достоверной информацией за счет доступа к единому информационному пространству, к проектным, финансовым, первичным документам и данным не организовано. Пользователи продолжают параллельно работать в нескольких системах, что приводит к дублированию действий персонала, увеличению количества реплицированных данных, увеличению непродуктивно затраченного рабочего времени и снижению операционной эффективности функционирования предприятия в целом. Таким образом возникают «бункеры данных», то есть условия, когда данные хранятся в разрозненных системах и их трудно интегрировать [7]. При этом организации испытывают трудности с эффективным управлением и извлечением ценности из своей же информации. В современной цифровой бизнес-среде, основанной на данных, эти препятствия могут стать решающим фактором при принятии оперативных решений и сохранении конкурентного преимущества.

Но, кроме этого, на предприятиях продолжается формирование таблиц типа *Excel* вручную с данными, специализированными под конкретный отдел/подразделение с присущими только этому отделу/подразделению информацией и аналитикой. Даже на уровне команды отдельные сотрудники могут использовать десятки различных инструментов для работы с ежемесячными отчетами, показателями результативности деятельности и в других областях своей сферы. Например, инженер одного отдела курирует вопросы, связанные с ремонтом технических средств по определенному проекту (заказу). При этом отслеживает такие контрольные данные, как: исполнитель работы, наименование изделий, способ отгрузки, дата заключения договоров и планируемый срок исполнения. А инженер другого отдела курирует вопросы, связанные с поставкой контрагентами технических средств по этому же проекту (заказу). При этом формирует контрольные данные уже в другом, удобном именно для него виде. Финансисты и экономисты надстройкой к информации, полученной от инженеров, формируют информацию по финансированию проекта (заказа) и проводят мониторинг типа: сумма договора, дата выплаты аванса, суммы выплаченного аванса или его частичной оплаты, процент выплаченного аванса. Кроме того, на постоянном контроле суммы, запланированные к оплате и период их выплат на будущие периоды.

Зачастую данные из огромного количества таблиц дублируются и поэтому сотрудники изобретают колесо снова и снова. Увеличение количества источников данных приводит к возникновению серьезных информационных разрывов, что увеличивает нагрузку на лицо, принимающее решение (ЛПР). Хотя ЛПР традиционно контролируют большинство аспектов управления данными по проекту, сейчас они с трудом поспевают за командами и

отделами и нуждаются в более быстрых и удобных способах доступа, обмена и подключения к важнейшим массивам информации [8].

Таким образом, многие организации при решении задач управления и качественной организации производственного планирования по-прежнему продолжают использовать и поддерживать разрозненные источники информации, базы данных, АСУ, информационные системы и прикладные продукты типа *Excel*. Это связано с тем, что длительный период использования информации, представленной в таком виде, делает извлечение информации из подобных разнородных источников привычным и в некоторой степени удобным, поскольку поддерживают устоявшуюся бизнес-логику и обеспечивают рутинное извлечение данных для повседневных бизнес-операций [9].

При этом возникает ситуация принципиальной непознаваемости, непрогнозируемости и недоступности для непосредственных наблюдений за процессами предприятия в объеме, необходимом для достоверной оценки их состояния. Это означает, что в результате изменения данных по срокам, суммам, объемам, процентам и другим измеряемым параметрам, оцениваемым при управлении предприятием и при организации производственного планирования, ЛПР не могут быть получены своевременные точные значения или выводы.

Постановка задачи

Специалистами предприятия ПАО «Интелтех» ГК «Ростех» был произведен анализ существующей на предприятии информационной ситуации и сделан вывод, что возникла необходимо иметь такой функционал по созданию бизнес-обоснования управления данными и аналитикой, который помогал бы приблизить ЛПР к фактическим данным и привести его к более быстрому и точному принятию решений на основе четкого производственного планирования проектами. Но это должен быть не специальный сторонний инструмент бизнес-аналитики во избежание финансовых и временных потерь на его внедрение, а инструмент, встроенный в имеющуюся и действующую на предприятии информационную систему.

Исходя из этих положений было принято решение о создании функционала единого интегрального показателя исполнения проекта (заказа). В качестве платформы для апробации функционала единого интегрального показателя исполнения проекта (заказа) была выбрана уже внедренная на предприятии система «1С:УПП».

Специалистами ПАО «Интелтех» предстояло разработать конфигурацию и определить состав, связи, схему сборки интегрального показателя исполнения проекта (заказа). На следующем этапе разработать процедуру синхронизации и сформировать базу данных как из информационной базы самой системы «1С:УПП», так и исходящего информационного потока от инженерного-технических специалистов проектов (заказов). Далее – разработать формы предоставления информации, содержание вкладок для основной и дополнительной информации, когнитивных графических образов для возможности визуальной демонстрации состояния различных факторов и других видов знаний.

Методика производственного планирования «Паспорт контракта»

Для практической реализации нового метода производственного планирования был создан функционал, имеющий условный шифр «Паспорт контракта». На рис. 1 представлен фрагмент вкладки «Паспорт контракта», открывающийся при выборе номера контракта из списка. В нашем случае для примера был выбран заказ № 1078322.

Исследование характеристик требуемой информации для анализа и управления проектом (заказом) показало, что в функционал «Паспорт контракта» для мониторинга

текущего состояния выполнения проекта необходимо внести такую общую информацию по проекту, как:

- наименование Заказчика,
- номер договора,
- наличие дополнительных соглашений к договору,
- сумма договора с налогом на добавленную стоимость (НДС) и без НДС,
- шифр контракта,
- планируемый срок поставки,
- ответственное подразделение,
- тип цены.

А также поля для дополнительных сведений, которые намеренно не выведены в первую вкладку во избежание рассеивания информации, но открываются при нажатии соответствующей кнопки.

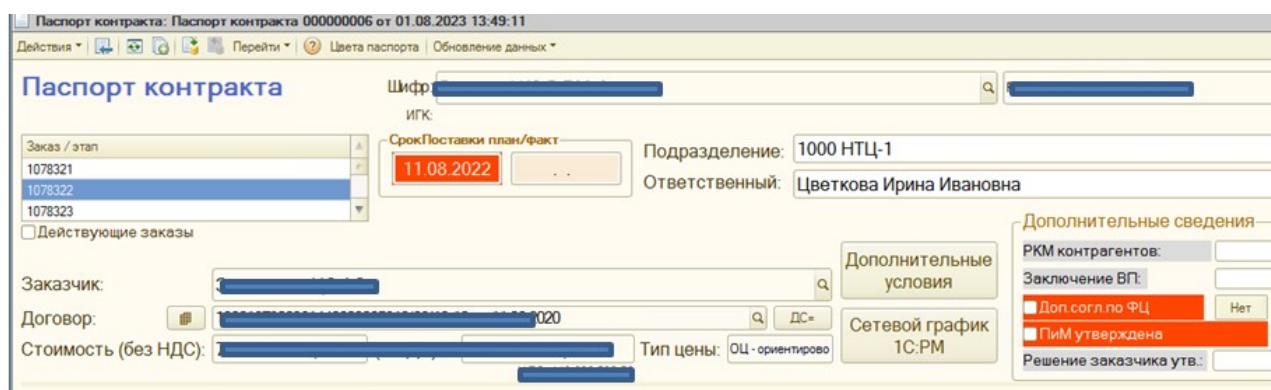


Рис. 1. Фрагменты работы функционала «Паспорт контракта»

На рис. 2 представлен календарь событий по проекту с основными вехами проекта: дата заключения договора, получение авансирования, дата закрытия предыдущих этапов работ и получения расчета по завершенным этапам работ.

Календарь событий			
	Дата	Заказ	Событие
11	дата: 03.02.2023	1078323 от 01.01.2020	Получение аванса
10	дата: 03.02.2023	1078322 от 11.08.2020	Получение аванса
9	дата: 26.12.2022	1078322 от 11.08.2020	Получение аванса
8	дата: 23.11.2022	1078323 от 01.01.2020	Получение аванса
7	дата: 23.11.2022	1078322 от 11.08.2020	Получение аванса
6	дата: 27.01.2022	1078321 от 01.09.2019	расчет по этапу
5	дата: 24.12.2020	1078321 от 01.09.2019	Получение аванса
4	срок: 10 (дней)	1078323 от 01.01.2020	Получение аванса
3	срок: 10 (дней)	1078322 от 11.08.2020	Получение аванса
2	срок: 10 (дней)	1078321 от 01.09.2019	Получение аванса
1	дата: 02.07.2020		Дата подписания договора

Рис. 2. Фрагменты работы функционала «Паспорт контракта»

Для мониторинга текущего состояния выполнения проекта необходима информация о работах, выполняемых контрагентами и поставщиками продукции или услуг. Для этого необходима лаконичная и наглядная информация как по заключенным договорам, так и по договорам, только планируемым к заключению, в том числе: наименование исполнителя, номер и дата договора, предмет и сумма договора, выплата авансирования или окончательного

расчета за выполненные исполнителями работы. Как показал опыт, при современных динамично меняющихся условиях, в некоторых случаях необходимо отклониться от срока поставки или выполнения работ, установленного в договоре, и изменить срок поставки или выполнения работы на требуемый новый. Для этого был добавлен интересный для анализа и мониторинга параметр «Требуемый срок поставки». Также имеется более подробная аналитика по договорам поставщиков и исполнителей, в которой, кроме финансового блока о сумме договоров, процента выплаченного аванса и суммы к окончательному расчету, включена аналитическая текстовая информация с комментариями по требуемым документам, условиям окончательного расчёта, текущего состояния работы, текущего статуса договора, наименованию и объём выпуска продукции, планируемому месту поставки.

Стоит отметить, что в «Паспорте контракта» для возможности визуальной демонстрации состояния различных факторов представлена когнитивная графика в виде цветовой интерпретации существующей ситуации. Описанная выше информация представлена на рис. 3.

The screenshot displays two main sections of the software interface:

Заклучённые договоры (всего: 140 / по Заказу покупателя: 120)

Контрагент	Договор контра.	О.	Предмет договора	Сумма	Дата полной вып.	К.	Срок постав.	Требуемый срок п.	Дата завер.	З.	Контракт	Поступления	БК	П.	РКМ контраг.	Заклучение ВП
	18221873029614	<input type="checkbox"/>	Изг. контрагентами И.		28.12.2022		30.06.2023	30.06.2023	30.06.2023	1.		2290 от 27.06.2023 (П.			Нет	Нет
	18221873029614	<input type="checkbox"/>	Собств. изготовл. АПК		29.02.2024		29.02.2024	29.02.2024	29.02.2024	1.					Нет	Нет
АО	18221873029614	<input type="checkbox"/>	Ремонт ТС. РК-25 €		21.03.2023		30.06.2023	30.06.2023	30.06.2023	1.					Нет	Нет
АО	18221873029614	<input type="checkbox"/>	Ремонт ТС. ЗИП авт.		24.03.2023		30.09.2023	30.09.2023	30.09.2023	1.					Нет	Нет
АО	18221873029614	<input type="checkbox"/>	1822187302961442209		31.12.2024		31.12.2024	31.12.2024	31.12.2024	1.		2482 от 30.06.2023 (П.			Нет	Нет
АО	18221873029614	<input type="checkbox"/>	Ремонт ТС. АТ-3002М.		20.11.2022		20.11.2022	20.11.2022	20.11.2022	1.					Нет	Нет
АО	18221873029614	<input type="checkbox"/>	Ремонт ТС. Циклода.		20.11.2022		20.11.2022	20.11.2022	20.11.2022	1.					Нет	Нет
АО	18221873029614	<input type="checkbox"/>	ФН-04 собственое и		31.03.2023		31.12.2023	31.12.2023	31.12.2023	1.					Нет	Нет
АО	18221873029614	<input type="checkbox"/>	Изготовление контра.		31.10.2023		31.10.2023	31.10.2023	31.10.2023	1.					Нет	Нет

Планируемые к заключению договоры (всего: 2 / по Заказу покупателя: 2)

Контрагент	Предмет договора	Сумма	Дата полной выплаты ав.	Колво дней поставки от ...	Срок поставки по догово.	Требуемый срок поставки	Дата завершения	Заказ покупателя	Дата
в НПО АО	Закупка СЧ АКС Защищ.			90				1078322	
	Закупка СЧ АКС ДСВ А.							1078322	

Рис. 3. Фрагменты работы функционала «Паспорт контракта»

При тестовом режиме эксплуатации функционала «Паспорт контракта», интегрирующего в одно русло потоки информации и аналитических данных, была отмечена возможность использования данного функционала для решения задач управления. ЛПР были сделаны выводы, что разработанный функционал позволяет получать более наглядные и расширенные данные для эффективного производственного планирования и контроля. Определено, что реализация свертки информации разнотипных информационных потоков, представленных в виде данных и аналитической информации, сокращает время на поиск дополнительной информации, тем самым обеспечивая удобство для ЛПР. Предложенный функционал также позволяет упрощать работу с информационными активами и сокращать время на анализ информации из-за ее наглядности, лаконичности и возможности раскрытия дополнительных сведений при необходимости одним щелчком мыши.

Именно на этом этапе начинается партнёрство внедренной на предприятии автоматизированной системы, фиксирующей фактические данные, с аналитической системой данных, поступающих от инженерно-технических работников, ответственных за свое направление работ. И если раньше специалисты заполняли разрозненные таблицы каждый в своем подразделении, то сейчас эта же аналитическая информация существует в функционале «Паспорт контракта» как единое информационное поле. Такая связка организует аналитику и данные, чтобы превратить процесс принятия решений для ЛПР в конкурентное преимущество. Ведь лучшие бизнес-решения принимаются именно тогда, когда данные и аналитика работают воедино, что существенно увеличивает возможности ЛПР.

Выводы

Таким образом, применение функционала, интегрирующего в одно русло потоки информационного потока, аналитических данных, когнитивной информации позволяет получать более наглядные и расширенные данные для производственного планирования и контроля. Кроме того, сокращается время на поиск дополнительной информации, так как единая платформа данных и аналитики упрощает работу с информационными активами, тем самым обеспечивая удобство для ЛПР. Предложенный функционал, за счет получения ЛПР данных нового качества, также позволяет сократить время на анализ информации из-за ее наглядности, лаконичности и возможности раскрытия дополнительных сведений при необходимости одним щелчком мыши.

Очевидно, что на данном этапе это лишь аналитическая система, предназначенная для анализа больших объемов информации в режиме реального времени для создания интеллектуального капитала, позволяющего руководителю просмотреть полученную информацию, выполнить аналитические операции, принять самому обоснованное решение. Этот функционал еще нельзя назвать инструментом системы поддержки принятия решений, с помощью которого возможно моделирование условий в разных разрезах, реализация экономико-статистических методов, подбор решения из списка решений и подсказок, предложенных системой [10].

Предложенный материал является описанием произведённых первых шагов к намеченной цели развития методов производственного планирования и контроля на основе функционала «Паспорт контракта». Изучение и решение новых задач, возникающих при эксплуатации в реальном времени предложенного функционала, является дальнейшим ходом исследования, который будет описан в тематических статьях.

Литература

1. Соседкин А. Ю. Формирование и развитие методов производственного планирования на промышленных предприятиях: диссертация кандидата экономических наук: 05.02.22 Санкт-Петербург, 2006.

2. Боровков А. В. Управление информационными ресурсами при модернизации промышленных предприятий: Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата экономических наук: 08.00.05. Курск, 2018.

3. Обзор программы «1С:УПП Управление производственным предприятием 8.2» и «1С:ERP» // 1С-Архитектор бизнеса [Электронный ресурс]. 03.12.2023 – URL: <https://www.1c.ru/blog/detail/1s-upp-upravlenie-proizvodstvennum-predpriyatiem-8/> (дата обращения 03.12.2023).

4. 1С: Управление производственным предприятием 8 // Отраслевые и специализированные решения 1С:Предприятие [Электронный ресурс]. 01.12.2023 – URL: <https://solutions.1c.ru/catalog/enterprise.ru> (дата обращения 01.12.2023).

5. «1С:ERP Управление предприятием 2»: обзор возможностей // 1С-Архитектор бизнеса [Электронный ресурс]. 03.12.2023 – URL: <https://www.1c.ru/blog/detail/vse-cto-vy-khoteli-znat-ob-1s-erp-kak-eta-sistema-pomozhet-vashemu-biznesu/> (дата обращения 03.12.2023).

6. 1С:PM Управление проектами КОП // Отраслевые и специализированные решения 1С:Предприятие [Электронный ресурс]. 01.12.2023 – URL: <https://solutions.1c.ru/catalog/enterprise.ru> (дата обращения 01.12.2023).

7. Как открыть путь к мощным бизнес-инсайтам // ITWeek [Электронный ресурс]. 05.12.2023 – URL: <https://www.itweek.ru/bigdata/article/detail.php?ID=226145> (дата обращения 05.12.2023).

8. 5 способов стимулирования прозрачности данных и сотрудничества в разделенных отделах // Хабр [Электронный ресурс]. 05.12.2023 – URL: <https://habr.com/ru/companies/otus/articles/725620/> (дата обращения 05.12.2023).

9. Зарипова В. М., Петрова И. Ю. Унаследованные информационные системы. Проблемы и решения // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. Научно-технический журнал.

Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань: ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2022. № 2 (40). С. 130-136.

10. Крутин Ю. В. Информационные технологии в экономике [Электронный ресурс]: учебное пособие. – Екатеринбург: Рос. гос. проф.-пед. ун-т. РГППУ, 2016. 146 с.

References

1. Sosedkin A. Yu. Formation and development of production planning methods at industrial enterprises: dissertation Candidate of Economic Sciences: 05.02.22. St. Petersburg, 2006 (in Russian).

2. Borovkov A.V. Management of information resources during the modernization of industrial enterprises: Abstract of the dissertation for the degree of Candidate of Economic Sciences: 08.00.05. Kursk, 2018 (in Russian).

3. Review of the program “1C:UPP Manufacturing Enterprise Management 8.2” and “1C:ERP” // 1C-Business Architect [Electronic resource]. 03 December 2023. Available at: <https://www.1ab.ru/blog/detail/1s-upp-upravlenie-proizvodstvennym-predpriyatiem-8/> (accessed 03 December 2023) (in Russian).

4. 1C: Manufacturing Enterprise Management 8 // Industry and specialized solutions 1C: Enterprise [Electronic resource]. 01 December 2023. Available at: <https://solutions.1c.ru/catalog/enterprise.ru> (accessed 01 December 2023) (in Russian).

5. “1C:ERP Enterprise Management 2”: overview of opportunities” // 1C-Business Architect [Electronic resource]. 03 December 2023. Available at: <https://www.1ab.ru/blog/detail/vse-chto-vy-khoteli-znat-ob-1s-erp-kak-eta-sistema-pomozhet-vashemu-biznesu/> (accessed 03 December 2023) (in Russian).

6. 1C:PM Project Management CORP // Industry and specialized solutions 1C: Enterprise [Electronic resource]. 01 December 2023. Available at: <https://solutions.1c.ru/catalog/enterprise.ru> (accessed 01 December 2023) (in Russian).

7. How to open the way to powerful business insights // ITWeek [Electronic resource]. 05 December 2023. Available at: <https://www.itweek.ru/bigdata/article/detail.php?ID=226145> (accessed 05 December 2023) (in Russian).

8. 5 ways to encourage data transparency and collaboration in divided departments // Habr [Electronic resource]. 05 December 2023. Available at: <https://habr.com/ru/companies/otus/articles/725620/> (accessed 05 December 2023) (in Russian).

9. Zariptova V. M., Petrova I. Yu. Legacy information systems. Problems and solutions // Engineering and construction bulletin of the Caspian region. Scientific and technical journal. Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering. Astrakhan: GAOU JSC VO "AGASU", 2022. No. 2 (40). Pp. 130-136 (in Russian).

10. Krutin, Yu. V. Information technologies in economics [Electronic resource]: textbook. Electron. Dan. Ekaterinburg. RGPPU Publ., 2016. 146 p. (in Russian)

Статья поступила 08 декабря 2023 г.

Информация об авторах

Моисеевкова Диана Александровна – Кандидат экономических наук. Начальник отдела административного сопровождения разработок. Публичное акционерное общество «Информационные телекоммуникационные технологии» (ПАО «Интелтех»). Область научных интересов: производственное планирование, система менеджмента качества, бизнес-процессы. E-mail: d.moiseenkova@ntc1.inteltech.ru Тел. +7(911)942-36-46. Адрес: 197342, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Кантемировская, дом 8.

Смирнов Алексей Николаевич – ведущий специалист по внедрению 1С. ООО «ВИС». Область научных интересов: системы управления предприятием, внедрение информационных систем, бизнес-процессы. E-mail: Ansmirnov@vis-production.ru Тел. +7(921)994-01-33. Адрес: 196105, Россия, г. Санкт-Петербург, Московский пр., дом 135.

Development of production planning and control methods

D. A. Moiseenkova, A.N. Snirnov

Annotation. *Statement of the problem: The article analyzes the automated information systems used in the enterprise. The autonomous use of various solutions of the 1C product and a variety of many additional data sources from Excel product tables is stated. In the process of research, tasks related to the development and construction of a production planning and control system at the enterprise are set. taking into account the integration of information flows of the enterprise into a single information field. At the same time, the purpose of the work is to develop the “Contract Passport” functionality for solving the problem of developing existing methods of production planning and control at the enterprise. The novelty of the work is that the proposed functionality is not a special third-party business analytics tool, but is a tool built into the existing information system operating at the enterprise. The proposed solution integrates data located in an automated information system with an analytical system of data received from engineering and technical workers, presented as a single information field including cognitive requirements for displaying information to solve management problems, audit and production planning. The main results of the work include the results and conclusions made during test operation of the developed functionality, which determine that the use of the “Contract Passport” provides the decision maker with more visual and expanded data, reducing time for searching for information, and simplifying work with information assets. The practical significance of the work lies in the testing of the proposed functionality on the information and analytical system implemented. The proposed functionality can find practical application in the development of production planning methods at other enterprises of the Rostec Group of Companies.*

Keywords: *automated control system, business analytics, contract passport, monitoring system, production planning and control, “1C: Production Enterprise Management”.*

Information about authors

Moiseenkova Diana Aleksandrovna – Head of the department of administrative support of developments of the Public Joint-Stock Company Information Telecommunication Technologies (PJSC Inteltech). PhD. Research interests: production planning, quality management system, business processes. E-mail: d.moiseenkova@ntc1.inteltech.ru Tel.: +7(911)942-36-46. Address: 197342, Russia, St. Petersburg, Kantemirovskaya str., 8.

Smirnov Alexey Nikolaevich – Leading specialist in 1C implementation at VIS LLC. Research interests: enterprise management systems, implementation of information systems, business processes. E-mail: Ansmirnov@vis-production.ru Tel.: +7(921)994-01-33. Address: 196105, Russia, St. Petersburg, Moskovsky pr., 135.

Для цитирования: Моисеенкова Д. А., Смирнов А. Н. Развитие методов производственного планирования и контроля // Техника средств связи. 2023. №4 (164). С. 72-80. DOI:10.24412/2782-2141-2023-4-72-80.

For citation: Moiseenkova D. A., Smirnov A. N. Development of production planning and control methods. Means of communication equipment. 2023. №4 (164). Pp. 72-80. DOI:10.24412/2782-2141-2023-4-72-80 (in Russian).

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

УДК621.317

DOI:10.24412/2782-2141-2023-4-81-92

Анализ научно-методического аппарата диагностики и контроля, мониторинга и прогнозирования технического состояния военной техники связи

Шмидт А.А., Косырев А.В.

Аннотация. Большой интерес на сегодняшний день представляет бесконтактная диагностика технического состояния военной техники связи, а также интеллектуальный контроль и прогнозирование в реальном масштабе времени с целью недопущения, предотвращения её отказа, что обусловлено построением гетерогенных территориально-распределенных систем различной сложности. Своевременное предотвращение отказов позволяет существенно повысить надежность, и что особенно важно сегодня, боевую готовность военной техники связи, безаварийное функционирование которой является залогом устойчивой работы систем управления. **Цель работы** заключается в рассмотрении основных понятий и анализе научно-методического аппарата диагностики, контроля, мониторинга и прогнозирования технического состояния военной техники связи. **Новизна работы** – перспективные системы мониторинга технического состояния военной техники связи с использованием новых методов (методик) прогноза технического состояния на основе превентивной идентификации аварийной ситуации методами предсказательной (предиктивной) аналитики, способными заблаговременно предупредить о появлении предотказного состояния. Получены следующие **результаты**: приведено рациональное обоснование использования методов прогнозирования, а не только диагностики, контроля и мониторинга технического состояния военной техники связи, который, в свою очередь, может лишь констатировать факт выхода из строя (отказа) и с определенной задержкой доводить эту информацию до старшей станции сети (сервера мониторинга), что является уже постфактумом, и соответственно, приводит к деградации сети (или блокирует её), и, как следствие, приведет к снижению боевой готовности, что недопустимо. **Практическая значимость** состоит в возможности обоснованного выбора использования новых методов (методик) прогноза технического состояния на основе превентивной идентификации аварийной ситуации методами предсказательной (предиктивной) аналитики.

Ключевые слова: бесконтактная диагностика, интеллектуальный контроль, мониторинг, отказ, предотказное состояние, предсказательная (предиктивная) аналитика, прогнозирование, техническое состояние.

Введение

Проблемы увеличения потока отказов и дефектов, а также низкий уровень развития технологий производства современных автоматизированных измерительных систем с высокой интеграцией функциональности, позволяющих в реальном масштабе времени определить с требуемой точностью техническое состояние военной техники связи, говорят о целесообразности внедрения и использования не только бесконтактных методов контроля и интеллектуального мониторинга, но и новых методов (методик) прогноза технического состояния на основе превентивной идентификации аварийной ситуации методами предсказательной (предиктивной) аналитики, способными заблаговременно предупредить о появлении предотказного состояния.

Основные определения технического состояния, контроля, мониторинга и технической диагностики

Невозможно говорить о диагностике, контроле, мониторинге и прогнозировании технического состояния военной техники связи, не рассмотрев основные понятия.

Согласно ГОСТ Р 27.102–2021 (п. 22) техническое состояние (*technical condition*) – это состояние объекта в определенный момент времени, при определенных условиях внешней среды, характеризующееся фактическими значениями параметров, установленных в документации.

В научно-технической литературе, а также в ГОСТ 20911-89 (п. 1.2) техническое состояние (ТС) объекта определено как состояние, которое характеризуется в определенный момент времени, при определенных условиях внешней среды, значениями параметров, установленных технической документацией на объект.

Другими словами, ТС – это совокупность свойств, подверженных изменению в процессе производства или эксплуатации технического устройства, которое характеризуется признаками, установленными технической документацией.

Согласно ГОСТ Р ИСО 13372–2013 (п. 1.3) контроль технического состояния (*condition monitoring*) – это сбор и обработка данных, характеризующих ТС объекта в разные моменты времени. Другими словами, контроль технического состояния (КТС) – это проверка соответствия значений параметров объекта требованиям технической документации и определение на этой основе одного из заданных видов ТС в данный момент времени.

Ключевое слово согласно определения – «*monitoring*», поэтому зачастую термин «*condition monitoring*» переводят как «мониторинг технического состояния».

Согласно ГОСТ Р 27.102–2021 (п. 72) мониторинг технического состояния (*condition monitoring*) – это составная часть технического обслуживания, представляющая собой наблюдение за объектом с целью получения информации о его техническом состоянии и рабочих параметрах.

Однако по ГОСТ Р ИСО 13372–2013 (п. 1.14) мониторинг ТС – это процесс, обеспечивающий возможность определения текущей эксплуатационной готовности машин и узлов без необходимости их демонтажа или обследования. В то же время мониторинг ТС – наблюдение за техническим состоянием технического устройства для определения и предсказания момента перехода его в предельное состояние.

Результат мониторинга представляет собой совокупность диагнозов, составляющих его субъектов, получаемых на неразрывно примыкающих друг к другу интервалах времени, в течение которых состояние технического устройства существенно не изменяется.

В существующих сегодня научных направлениях по развитию теории контроля технического состояния сложных динамических систем, поиск решения научных задач ведется в научных школах О. В. Абрамова, Е. М. Антоюка, Л. Г. Евланова, Г. И. Козырева, В. Е. Кузнецова, В. И. Курносова, С. П. Ксёнга, А. М. Лихачёва, А. В. Назарова, Ф. Л. Черноусько, В. В. Федоренко и других видных отечественных и зарубежных ученых.

Особенности процессов функционирования систем контроля изложены в работах таких ученых, как Р. Беллман, Е. И. Варакин, Ф. П. Васильев, Г. Зойтендейк, В. Н. Калинин, И. В. Кузьмин, Л. С. Понтрягин, Б. А. Резников.

Традиционными методами контроля ТС техники связи являются функциональный, допусковой, диагностический и профилактический (прогнозирующий) контроль.

Сегодня все больше применяется интеллектуальный контроль, который заключается в оперативном оценивании ТС за счет пополняемой и обновляемой базы данных (знаний) (правил разрешения критических ситуаций) на основе интеллектуального выбора методов обработки измерительной информации, соответствующей физической сущности наблюдаемых процессов, при комплексном взаимосвязанном применении известных математических аппаратов (теории динамических систем, теории случайных процессов, теории классификации, теории контроля и др.)

Стоит отметить, что в данной статье речь идет исключительно о неразрушающем контроле. Согласно ГОСТ Р 56542-2019 «Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов» неразрушающий контроль (НК) – это проверка, контроль, оценка надёжности,

параметров и свойств технических устройств, при которых не должна быть нарушена их пригодность к применению и эксплуатации.

Необходимо вкратце рассмотреть и виды неразрушающего контроля, которые представлены в табл. 1:

Таблица 1 – Виды неразрушающего контроля

№ п/п	Вид	Определение	ГОСТ
1.	Акустический неразрушающий контроль	Вид неразрушающего контроля, основанный на анализе параметров упругих волн, возбуждаемых и (или) возникающих в контролируемом объекте	ГОСТ 20415–82 ГОСТ 23829–85
2.	Виброакустический неразрушающий контроль	Вид неразрушающего контроля, основанный на регистрации параметров виброакустического сигнала, возникающего при работе контролируемого объекта	ГОСТ 20415–82 ГОСТ 23829–85
3.	Вихретоковый неразрушающий контроль	Вид неразрушающего контроля, основанный на анализе взаимодействия электромагнитного поля вихретокового преобразователя с электромагнитным полем вихревых токов, наводимых в контролируемом объекте	ГОСТ Р 55611–2013 ГОСТ Р ИСО 12718–2009
4.	Магнитный неразрушающий контроль	Вид неразрушающего контроля, основанный на анализе взаимодействия магнитного поля с контролируемым объектом	ГОСТ Р 55612–2013
5.	Неразрушающий контроль проникающими веществами	Вид неразрушающего контроля, основанный на проникновении веществ в полости дефектов контролируемого объекта	ГОСТ Р ИСО 3452-1-2011
6.	Оптический неразрушающий контроль	Вид неразрушающего контроля, основанный на регистрации параметров оптического излучения после взаимодействия с контролируемым объектом или собственного оптического излучения исследуемого объекта	ГОСТ 23479–79 ГОСТ Р 53696–2009
7.	Радиационный неразрушающий контроль	Вид неразрушающего контроля, основанный на анализе параметров проникающего ионизирующего излучения после взаимодействия с контролируемым объектом	ГОСТ Р 55776–2013
8.	радиоволновой неразрушающий контроль	Вид неразрушающего контроля, основанный на регистрации изменений параметров электромагнитных волн радиодиапазона, взаимодействующих с контролируемым объектом	ГОСТ 23480-79 ГОСТ 25313-82
9.	Тепловой неразрушающий контроль	Вид неразрушающего контроля, основанный на анализе параметров тепловых полей контролируемых объектов, вызванных дефектами	ГОСТ Р 53698–2009 ГОСТ Р 56511–2015
10.	Электрический неразрушающий контроль	Вид неразрушающего контроля, основанный на анализе параметров электрического поля или электрического тока, взаимодействующих с контролируемым объектом или возникающих в контролируемом объекте в результате внешнего воздействия	ГОСТ 25315–82

Невозможно говорить о контроле технического состояния, не сказав о технической диагностике, основные понятия которой определены в ГОСТ Р 27.102–2021 и ГОСТ 20911–89.

Техническая диагностика – это определение технического состояния объекта с заданной точностью. Этот процесс представляет собой совокупность объекта диагностики, средств измерения и анализа, а также методов и правил, применяемых при проведении диагностики. Целью технической диагностики является разработка, исследование методов получения и оценки диагностической информации, диагностических моделей и алгоритмов принятия решений, а также повышение надёжности и ресурса технических систем [1].

Проанализировав научно-методический аппарат исследований по направлению технической диагностики технического состояния военной техники связи, необходимо сделать вывод о том, что исследованиями и разработкой методов диагностики отказов и контроля технического состояния техники связи занимались такие известные ученые, как Н. П. Байда, Е. Ю. Барзилович, И. А. Биргер, П. С. Давыдов, А. К. Дмитриев, Л. Г. Евланов, В. В. Клюев, О. В. Абрамов, В. В. Федоренко и другие [2-5].

Также, большой вклад в разработку методов контроля и теории диагностики внесли и ученые Военной академии связи: С. П. Ксёنز, А. А. Сикарев, П. А. Будко, А. Г. Головин, Е. В. Гречишников, Г. П. Дорошенко, А. И. Литвинов, А. В. Морозов, Б. Б. Ушаков, А. М. Винограденко, М. В. Голунов и другие [6-17].

Основоположник теории диагностирования больших систем, разработки технологий диагностирования для электронных, электрических и электромеханических систем – доктор технических наук, профессор, член-корреспондент Академии военных наук, главный научный сотрудник Гос. НИНГИ МО РФ, профессор кафедры Технического обеспечения связи и автоматизации Военной академии связи С. П. Ксёنز [6].

Созданная им научная школа технической и сегодня продолжает развивать и совершенствовать методы диагностирования военной техники связи, уделяя внимание технологиям бесконтактной диагностики.

Бесконтактная диагностика и интеллектуальный мониторинг

Стоит отметить, что на сегодняшний день большой интерес представляет именно бесконтактная диагностика технического состояния военной техники связи. Это обусловлено построением территориально-распределенных систем различной сложности, которые всецело можно отнести к гетерогенным сетям – сетевым структурам, образующимся посредством объединения различных сетей, имеющих разные принципы построения, сетевые технологии доставки и/или защиты информации, и /или программно-аппаратные средства, что также накладывает определенные трудности и особенности построения их подсистем мониторинга.

Существенное отличие гетерогенных сетей от традиционных сетей связи [18, 19]:

- 1) Географическая рассредоточенность ресурсов сети, а также источников и получателей информации;
- 2) Функционирование независимо от системы управления – предназначение для сопряжения и передачи информации, а не для управления ею;
- 3) Случайность функционирования, влекущая за собой трудности при проведении анализа ее состояния (мониторинга) и организации управления;
- 4) Разнородность элементов и применяемых сетевых технологий;
- 5) Разнородность реакции сети на однотипную ситуацию;
- 6) Управляемость в различные моменты времени;
- 7) Невозможность построения полноценной математической модели – полного математического описания.

Сложность и актуальность создания подсистем мониторинга для таких сетей сопряжена наряду с их особенностями еще и рядом ограничений, среди которых можно выделить следующие: наличие разнородных протоколов взаимодействия между узлами и периферийными сетевыми устройствами, постоянные трансформации сетевых топологий и структур сети, сопряжение сегментов маломощных и высокопроизводительных элементов сети, широкое применение носимых (мобильных) станций и устройств со слабой вычислительной мощностью, низким энергопотреблением, малым объемом памяти.

Все эти особенности позволяют вести речь о несовершенстве существующих систем контроля, ориентированных на применение в гомогенных сетевых структурах и необходимости поиска новых технологий и подходов к построению систем распределенного мониторинга функционального состояния современных гетерогенных сетей связи, включая методы интеллектуального мониторинга.

Стоит отметить, что исследования в области теории искусственного интеллекта связаны с работами А. Ньюэлла, Г. Саймона, Дж. Шоу. В дальнейшем эти работы развивались многими российскими и зарубежными исследователями, такими как М. М. Бонгард, М. А. Гаврилов, Л. А. Демидова, В. П. Корячко, И. В. Котенко, В. И. Мирошников, Д. А. Поспелов, С. А. Прохоров, А. Н. Пылькин, И. Б. Саенко, М. Л. Целин, А. И. Яшин и другие.

Но в современных реалиях этого оказалось недостаточно, управлять связью на гетерогенных территориально-распределенных системах различной сложности возможно лишь на основе актуального знания о ТС сетевых элементов (устройств, каналов, маршрутов, подсетей) в реальном масштабе времени для своевременной переконфигурации сети с целью недопущения, предотвращения её отказа.

В свою очередь, мониторинг ТС может лишь констатировать факт выхода из строя (отказа) и с определенной задержкой доводить эту информацию до старшей станции сети (сервера мониторинга по ТС размещаемого на нем оборудования). При этом любой обнаруженный отказ в реальном масштабе времени является уже постфактумом, и соответственно, приведет к деградации сети (или заблокирует её), и, как следствие, приведет к снижению боевой готовности, а это недопустимо!

Соответственно, просто необходимо создание методов (методик) прогноза ТС на основе превентивной идентификации аварийной ситуации методами предсказательной (предиктивной) аналитики, способными заблаговременно предупредить о появлении предотказного состояния.

Применение методов предсказательной (предиктивной) аналитики

Предсказательная (предиктивная) аналитика – это комплекс, состоящий из методов анализа данных и способов их интерпретации, позволяющий принимать успешные решения в будущем на основе результатов прошлых событий. Для того чтобы справиться с реализацией аналитической работы такого порядка, необходимо выявить набор важных, значимых параметров, каждый из которых действительно приводит к тому или иному итогу. Этапы предиктивной аналитики представлены на рис. 1.

Предотказное состояние – состояние объекта, характеризуемое повышенным риском его отказа. В свою очередь отказ – событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния объекта. Отказ может быть полным или частичным. Полный отказ характеризуется переходом объекта в неработоспособное состояние, а частичный – переходом объекта в частично неработоспособное состояние. Деградация значений параметров оборудования при отказе представлена на рис. 2.



Рис. 1. Этапы предиктивной аналитики

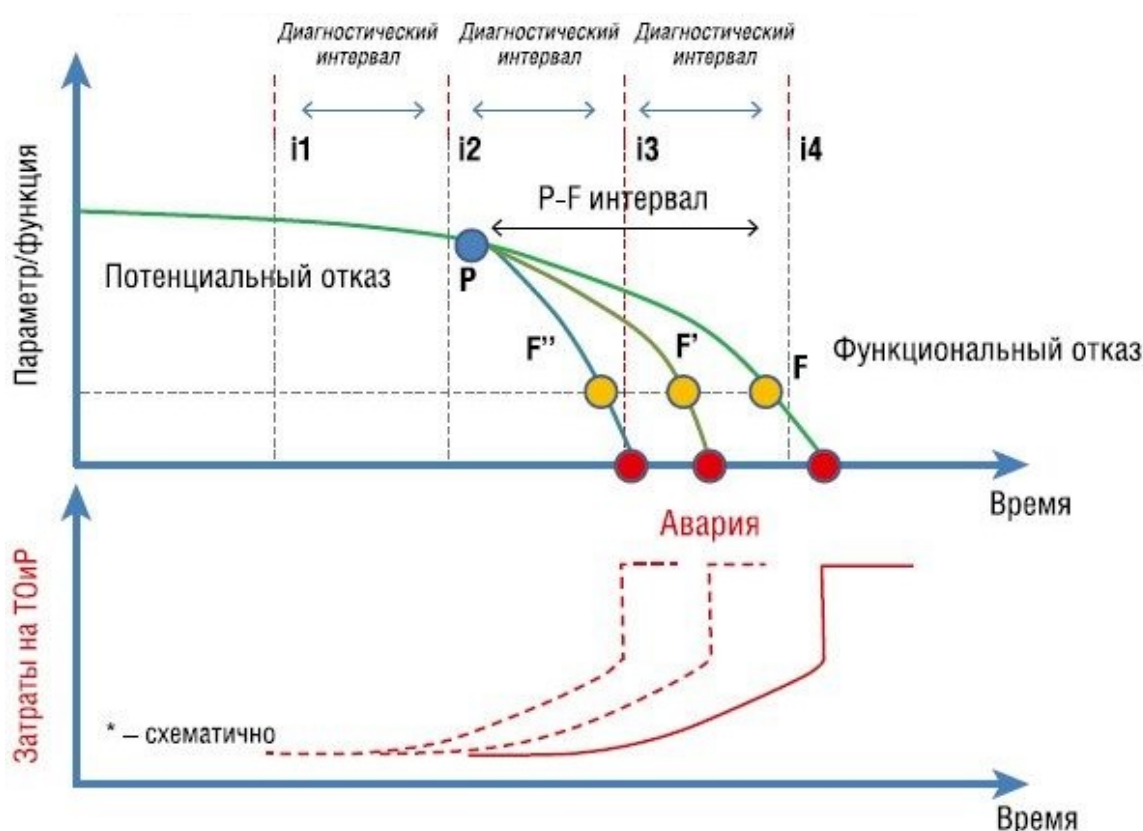


Рис. 2. Дegradация значений параметров оборудования при отказе

На рис. 2 раннее обнаружение потенциального отказа оборудования (точка «P») и прогнозирование функции деградации характеристик оборудования на так называемом P-F-интервале с определением и корректировкой в режиме реального времени остаточного ресурса до функционального отказа (точка «F»).

Длина P-F-интервала зависит от различных факторов, таких как интенсивность нагрузки на оборудование, вид отказа и т.д.

Диагностический интервал времени при прогнозировании отказа играет критическую роль. Так, например, в случае деградации характеристики узла с малым временем цикла развития отказа (точка «F») и при достаточно большом периоде диагностирования (i_1, i_2, i_3)

эффективность прогнозирования отказа может быть низкой, а уровень затрат на мероприятия по восстановлению/предотвращению отказа оборудования – высоким.

Таким образом, основной задачей является раннее обнаружение момента потенциального отказа (точка «P») путем анализа характеристик оборудования и технологических параметров в режиме реального времени и с максимальной точностью рассчитать (и корректировать в режиме реального времени) прогноз возникновения функционального отказа (точка «F»). Это дает необходимый запас времени на планирование и выполнение работ по ремонту и техническому обслуживанию с минимальными затратами и простоями.

Также, с помощью предиктивной аналитики можно оценить состояние элементов сети в процессе её функционирования под нагрузкой (при обслуживании различных видов трафика) дистанционно, без понижения его степени готовности (например, для проведения инструментальных видов контроля в ходе технического обслуживания), а также без привлечения дополнительных людских ресурсов и контрольно-диагностического оборудования (рис. 3). А сбор измерительной информации может быть осуществлен сервером мониторинга и прогноза методами активного и пассивного мониторинга.

Так, обнаружив предотказ, можно говорить о прогнозе отказа.

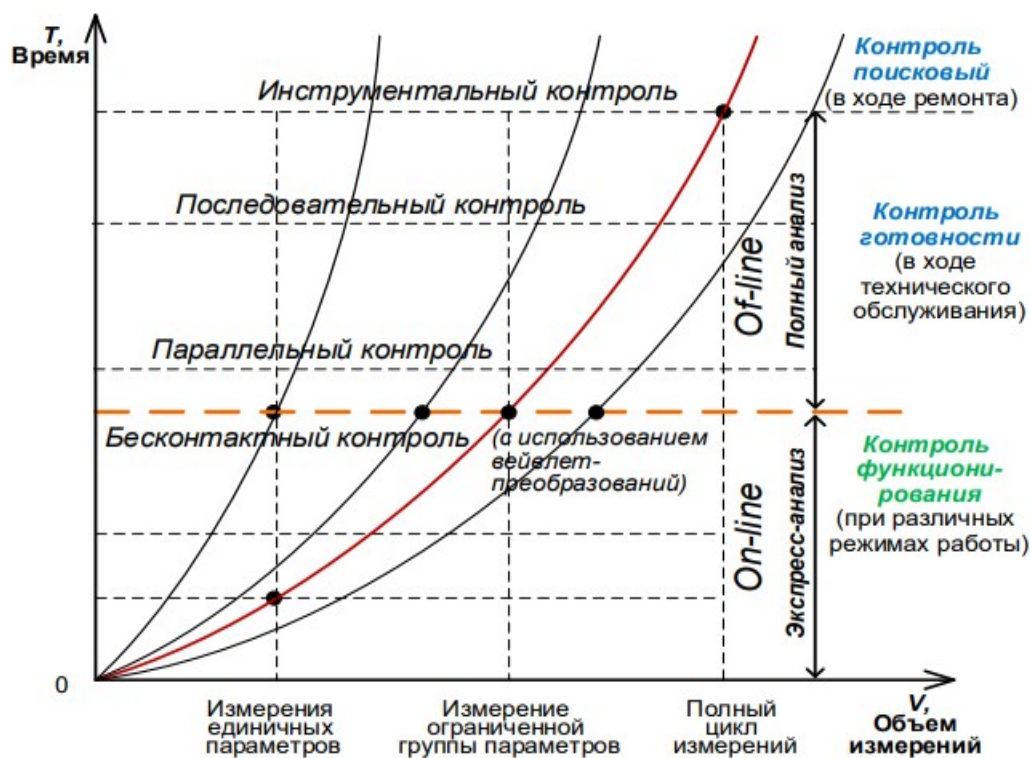


Рис. 3. Контроль ТС оборудования

Методы прогнозирования

Прогнозирование – определение ТС с заданной вероятностью на предстоящий интервал времени. Целью прогнозирования ТС может быть определение с заданной вероятностью интервала времени ресурса, в течение которого сохраняется работоспособное исправное состояние объекта; определение вероятности сохранения работоспособного исправного состояния объекта на заданный интервал времени.

При прогнозировании периодически проверяются выходные параметры и основные элементы объекта контроля, чтобы, исходя из накапливаемой информации о состоянии

аппаратуры, осуществить прогноз, какой узел или блок явится причиной отказа на определенном временном интервале.

Своевременное предотвращение отказов позволяет существенно повысить надежность и что особенно важно на сегодняшний день, боевую готовность военной техники связи, безаварийное функционирование которой является залогом устойчивой работы систем управления.

К методам аналитического прогнозирования относятся такие методы, как методы численного анализа с использованием интерполирующих функций, методы вероятностного прогнозирования, методы статистической классификации, в том числе методы Байеса, использование карт Шухарта для контроля независимых параметров или карт Хотеллинга для контроля коррелированных параметров, а среди развивающихся методов – нейросетевой подход, в том числе с дальнейшим применением вейвлет-анализа [13].

Стоит отметить, что в настоящее время активно развиваются методы, основанные на использовании данных (знаний). Такие методы описывают процесс деградации оборудования на основе измеряемых данных с использованием статистических методов, основанных на технологиях искусственного интеллекта, и обладают свойствами универсальности, поскольку они абстрагированы от физической природы объектов, не требуют знаний его внутренней структуры и функциональных связей между элементами.

Заключение

Таким образом, проанализировав научно-методический аппарат контроля и диагностики, мониторинга и прогнозирования технического состояния военной техники связи, необходимо отметить, что разработка перспективных систем мониторинга технического состояния военной техники связи предполагает использование новых методов контроля на основе технологий искусственного интеллекта, прогноза технического состояния на основе превентивной идентификации аварийной ситуации методами предсказательной (предиктивной) аналитики.

Литература

1. Карибский В. В., Пархоменко П. П., Согомонян Е. С. Основы технической диагностики. Книга 1. Модели объектов, методы и алгоритмы диагноза. – М.: Энергия, 1996. 464 с.
2. Биргер И. А. Техническая диагностика. – М.: Машиностроение, 1978. 240 с.
3. Давыдов П. С. Техническая диагностика радиоэлектронных устройств и систем. – М.: Радио и связь, 1988. 256 с.
4. Ключев В. В., Соснин Ф. Р., Ковалев А. В., Запускалов В. Г., Изотов А. В., Кантер Б. М., Курозаев В. П., Ланге Ю. В., Маслов А. И., Мужижкий В. Ф., Матвеев В. И., Федосенко Ю. К., Шевалдыкин В. Г. Неразрушающий контроль и диагностика/Под ред. В. В. Ключева. – М.: Машиностроение, 2003. 656 с.
5. Абрамов О. В., Розенбаум А. Н. Прогнозирование состояния технических систем. – М.: Наука, 1990. 126 с.
6. Ксенз С. П. Техническая диагностика и ремонтпригодность средств и комплексов связи. – Л.: ВАС, 1982. 235 с.
7. Будко П. А., Винограденко А. М., Юров А. С. Способ мониторинга предаварийного состояния контролируемых объектов // Датчики и системы. 2014. № 9. С. 8-13.
8. Будко П. А., Федоренко В. В., Винограденко А. М., Самойленко В. В., Педан А. В. Подход к интеллектуальному мониторингу технического состояния сложных динамических объектов на основе систем опроса. Распределенные компьютерные и коммуникационные сети // Связь в области компьютерных и информационных наук Springer, Cham. – DCCN 2019. Т. 1141. С. 244-253.
9. Будко П. А., Голунов М. В., Аллакин В. В. Повышение надежности средств радиосвязи автоматизированного радиопункта за счет своевременного обнаружения их параметрических отказов в процессе функционального контроля // Системы управления, связи и безопасности. 2023. № 2. С. 204-227.

10. Литвинов А. И., Педан А. В., Ткачев Д. Ф. Устройство мониторинга технического состояния техники связи и автоматизированных систем управления // Труды всероссийской научно-практической конференции «Инновационная деятельность в Вооруженных Сил Российской Федерации», ВАС: 2020. С. 179-184.
11. Литвинов А. И., Киселев Д. В. и др. Анализ существующей системы мониторинга технического состояния техники связи и автоматизированных систем управления военного назначения // Сборник IV межвузовской научно-практической конференции «Проблемы технического обеспечения войск в современных условиях», ВАС. 2021. С. 248-255.
12. Винограденко А. М. Методология интеллектуального контроля технического состояния автоматизированной системы связи специального назначения: монография. – СПб.: Научно-технические технологии. 2020. 160 с.
13. Винограденко А. М. Прогнозирование отказов контролируемых комплексов связи специального назначения // Системы управления, связи и безопасности. 2020. № 3. С. 222-237.
14. Винограденко А. М. Концептуальная модель интеллектуальной системы контроля технического состояния эволюционирующих комплексов связи специального назначения. I-Methods. 2022. Т. 14. № 1. С. 1-53.
15. Винограденко А. М. Архитектура интеллектуальной системы контроля технического состояния комплексов связи специального назначения // Научно-технические технологии в космических исследованиях Земли. N&ES. 2022. Т. 4. № 1. С. 4-21.
16. Винограденко А. М., Будко Н. П. Адаптивный контроль технического состояния сложных технических объектов на основе интеллектуальных технологий // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2020. Т. 14. № 1. С. 25-36.
17. Винограденко А. М. Метод синтеза интеллектуальных систем контроля технического состояния комплексов связи специального назначения. Научно-технические технологии в космических исследованиях Земли. 2020. № 4. С. 22–31.
18. Аллакин В. В., Будко Н. П., Васильев Н. В. Общий подход к построению перспективных систем мониторинга распределенных информационно-телекоммуникационных сетей // Системы управления, связи и безопасности. 2021. № 4 (156). С. 125-227.
19. Аллакин В. В., Голунов М. В. Анализ научно-методического аппарата удаленного мониторинга технического состояния информационно- телекоммуникационных сетей и систем // Техника средств связи. 2020. № 4 (152). С. 17-36.

References

1. Karibskij V. V., Parxomenko P. P., Sogomonyan E. S. *Osnovy` texnicheskoy diagnostiki. Kniga 1. Modeli ob`ektov, metody` i algoritmy` diagnoza*. [Fundamentals of technical diagnostics. Book 1. Object models, methods and algorithms of diagnosis]. Moscow. Energiya Publ., 1996. 464 p. (in Russian).
2. Birger I. A. *Texnicheskaya diagnostika*. [Technical diagnostics]. Moscow. Mechanical engineering. 1978. 240 p. (in Russian).
3. Davy`dov P. S. *Texnicheskaya diagnostika radioe`lektronny`x ustrojstv i sistem* [Technical diagnostics of radioelectronic devices and systems]. Moscow. Radio and communications. 1988. 256 p. (in Russian).
4. Klyuev V. V., Sosnin F. R., Kovalev A. V., Zapuskalov V. G., Izotov A. V., Kanter B. M., Kurozaev V. P., Lange Yu. V., Maslov A. I., Muzhiczkiy V. F., Matveev V. I., Fedosenko Yu. K., Shevaldy`kin V.G. *Nerazrushayushhij kontrol` i diagnostika*. [Non-destructive testing and diagnostics]. Edited by V. V. Klyuev. Moscow. Mechanical Engineering. 2003. 656 p. (in Russian).
5. Abramov O. V., Rozenbaum A. N. *Prognozirovaniye sostoyaniya texnicheskix sistem*. [Forecasting the state of technical systems]. Moscow. Nauka Publ., 1990. 126 p. (in Russian).
6. Ksenz S. P. *Texnicheskaya diagnostika i remontoprigodnost` sredstv i kompleksov svyazi*. [Technical diagnostics and maintainability of communication facilities and complexes]. Leningrad. VAS, 1982. 235 p. (in Russian).
7. Budko P. A., Vinogradenko A. M., Yurov A. S. *Sposob monitoringa predavarijnogo sostoyaniya kontroliruemuy`x ob`ektov*. [A method for monitoring the pre-emergency condition of controlled objects]. Sensors and systems. 2014. No. 9. Pp. 8-13. (in Russian).

8. Budko P. A., Fedorenko V. V., Vinogradenko A. M., Samojlenko V. V., Pedan A. V. *Podxod k intellektual`nomu monitoringu texnicheskogo sostoyaniya slozhny`x dinamicheskix ob`ektov na osnove sistem oprosa. Raspredeleenny`e komp`yuterny`e i kommunikacionny`e seti.* [An approach to intelligent monitoring of the technical condition of complex dynamic objects based on survey systems. Distributed computer and communication networks]. Communication in Computer and Information Sciences Springer, Cham. DCCN 2019. Vol. 1141. Pp. 244-253. (in Russian).

9. Budko P. A., Golyunov M. V., Allakin V. V. *Povy`shenie nadezhnosti sredstv radiosvyazi avtomatizirovannogo radiocentra za schet svoevremennogo obnaruzheniya ix parametricheskix otkazov v processe funkcional`nogo kontrolya.* [Improving the reliability of radio communication facilities of an automated radio center due to timely detection of their parametric failures in the process of functional control]. Management, communication and security systems. 2023. No. 2. Pp. 204-227. (in Russian).

10. Litvinov A. I., Pedan A. V., Tkachev D. F. *Ustrojstvo monitoringa texnicheskogo sostoyaniya texniki svyazi i avtomatizirovanny`x sistem upravleniya.* [Device for monitoring the technical condition of communication equipment and automated control systems]. Proceedings of the All-Army scientific and practical conference "Innovative activity in the Armed Forces of the Russian Federation, VAS: 2020. Pp. 179-184. (in Russian).

11. Litvinov A. I., Kiselev D. V. i dr. *Analiz sushhestvuyushhej sistemy` monitoringa texnicheskogo sostoyaniya texniki svyazi i avtomatizirovanny`x sistem upravleniya voennogo naznacheniya.* [Analysis of the existing system for monitoring the technical condition of communications equipment and automated control systems for military purposes]. Collection of the IV interuniversity scientific and practical conference "Problems of technical support of troops in modern conditions". Saint-Petersburg. VAS. 2021. Pp. 248-255. (in Russian).

12. Vinogradenko A. M. *Metodologiya intellektual`nogo kontrolya texnicheskogo sostoyaniya avtomatizirovannoj sistemy` svyazi special`nogo naznacheniya.* [Methodology of intelligent control of the technical condition of an automated special-purpose communication system]: monograph. St. Petersburg. High-tech technologies. 2020. 160 p. (in Russian).

13. Vinogradenko A. M. *Prognozirovaniye otkazov kontroliruemy`x kompleksov svyazi special`nogo naznacheniya.* [Prediction of failures of controlled special-purpose communication complexes]. Management, communication and security systems. 2020. No. 3. Pp. 222-237. (in Russian).

14. Vinogradenko A. M. *Konceptual`naya model` intellektual`noj sistemy` kontrolya texnicheskogo sostoyaniya e`volyucioniruyushhix kompleksov svyazi special`nogo naznacheniya.* [Conceptual model of an intelligent system for monitoring the technical condition of evolving special-purpose communication complexes]. I-Methods. 2022. Vol. 14. No. 1. Pp. 1-53. (in Russian).

15. Vinogradenko A. M. *Arxitektura intellektual`noj sistemy` kontrolya texnicheskogo sostoyaniya kompleksov svyazi special`nogo naznacheniya.* [Architecture of an intelligent system for monitoring the technical condition of special-purpose communication complexes]. High-tech technologies in space research of the Earth. H&ES. 2022. Vol. 4. No. 1. Pp. 4-21. (in Russian).

16. Vinogradenko A. M., Budko N. P. *Adaptivny`j kontrol` texnicheskogo sostoyaniya slozhny`x texnicheskix ob`ektov na osnove intellektual`ny`x texnologij.* [Adaptive control of the technical condition of complex technical objects based on intelligent technologies]. T-Comm. 2020. Vol. 14. No. 1. Pp. 25-36. (in Russian).

17. Vinogradenko A. M. *Metod sinteza intellektual`ny`x sistem kontrolya texnicheskogo sostoyaniya kompleksov svyazi special`nogo naznacheniya.* [Method of synthesis of intelligent systems for monitoring the technical condition of special-purpose communication complexes]. High-tech technologies in space exploration of the Earth. 2020. No. 4. Pp. 22-31. (in Russian).

18. Allakin V. V., Budko N. P., Vasiliev N. V. A general approach to the construction of advanced monitoring systems for distributed information and telecommunication networks. *Systems of Control, Communication and Security.* 2021. No. 4. Pp. 125-227. DOI 10.24412/2410-9916-2021-4-125-227 (in Russian).

19. Allakin V. V., Golyunov M. V. *Analiz nauchno-metodicheskogo apparata udalennogo monitoringa texnicheskogo sostoyaniya informacionno- telekommunikacionny`x setej i sistem* [Analysis of scientific and methodological apparatus remote monitoring of the technical condition of information and telecommunication networks and systems]. Means of communication equipment. 2020. No. 4 (152). Pp. 17-36. (in Russian).

Статья поступила 01.12.2023 г.

Информация об авторах

Шмидт Анна Алексеевна – адъюнкт кафедры Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного. Область научных интересов: методы контроля и мониторинга состояния телекоммуникационных систем. Тел. +7 (812) 247–98–42, E-mail: anutikaaa@mail.ru.

Косырев Александр Вячеславович – адъюнкт кафедры Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного. Область научных интересов: методы контроля и мониторинга состояния телекоммуникационных систем. Тел. +7 (812) 247–98–42, E-mail: sashka13rup@mail.ru.

Адрес: г. Санкт-Петербург, Тихорецкий проспект, д. 3.

Analysis of the scientific and methodological apparatus for diagnostics and control, monitoring and forecasting of the technical condition of military communications equipment

A.A. Schmidt, A.V. Kosyrev

Annotation. *Of great interest today is contactless diagnostics of the technical condition of military communications equipment, as well as intelligent monitoring and forecasting in real time in order to prevent and prevent its failure, which is due to the construction of heterogeneous geographically distributed systems of varying complexity. Timely failure prevention can significantly increase the reliability, and what is especially important today, the combat readiness of military communications equipment, the trouble-free operation of which is the key to the stable operation of control systems. The purpose of the work is to consider the basic concepts and analyze the scientific and methodological apparatus for diagnostics, control, monitoring and forecasting of the technical condition of military communications equipment. The novelty of the work is promising systems for monitoring the technical condition of military communications equipment with the use of new methods (techniques) for predicting the technical condition based on preventive identification of an emergency using predictive (predictive) analytics methods that can warn in advance of the appearance of a pre-failure condition. The following results were obtained: a rational justification for the use of forecasting methods, and not only diagnostics, control and monitoring of the technical condition of military communications equipment, which, in turn, can only state the fact of failure (failure) and with a certain delay bring this information to the senior station of the network (monitoring server), which is already after the fact, and accordingly, leads to degradation of the network (or blocks it), and, as a result, will lead to a decrease in combat readiness, which is unacceptable. The practical significance lies in the possibility of a reasonable choice of using new methods (techniques) for predicting the technical condition based on preventive identification of an emergency using predictive (predictive) analytics.*

Keywords: *contactless diagnostics, failure, forecasting, intelligent control, monitoring, predictive (predictive) analytics, pre-failure condition, technical condition.*

Information about authors

Schmidt Anna Alekseevna – Postgraduate at the Department of the Military Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union S. M. Budyonny. Research interests: methods of control and monitoring of the state of telecommunication systems. Tel: +7 (812) 247–98–42. E-mail: anutikaaa@mail.ru.

Kosyrev Alexander Vyacheslavovich – Postgraduate at the Department of the Military Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union S. M. Budyonny. Research interests: methods of control and monitoring of the state of telecommunication systems. Tel: +7 (812) 247–98–42. E-mail: sashka13rup@mail.ru.

Address: 194064, Russia, St. Petersburg, Tikhoretskiy prospect, 3.

Для цитирования: Шмидт А. А., Косырев А. В. Анализ научно-методического аппарата диагностики и контроля, мониторинга и прогнозирования технического состояния военной техники связи // Техника средств связи. 2023. № 4 (164). С. 81-92. DOI:10.24412/2782-2141-2023-4-81-92.

For citation: Schmidt A. A., Kosyrev A. V. Analysis of the scientific and methodological apparatus for diagnostics and control, monitoring and forecasting of the technical condition of military communications equipment. Means of Communication Equipment. 2023. No 4 (164). Pp. 81-92. DOI:10.24412/2782-2141-2023-4-81-92 (in Russian).

ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ АВТОРОВ

Требования к предоставляемым материалам

Для публикации оригинальной статьи авторы должны представить в редакцию следующие материалы:

1. Файл со статьей.
2. Файлы с рисунками (по отдельному запросу редакции). Предпочтительными вариантами являются векторные рисунки, выполненные в формате Visio (vsd) или в форматах метафайлов Windows (wmf или emf). В случае невозможности представления рисунков в векторном виде, рисунки представляются в растровых форматах png или jpg.
3. Сканированную копию экспертного заключения об отсутствии в статье материалов, запрещенных к открытому опубликованию (в файле формата jpg, 300 dpi, в цвете).
4. Файл, содержащий сведения об авторском коллективе с указанием автора, который будет взаимодействовать с редакцией, с указанием его контактов.

Требования к оформлению статей, представляемых в редакцию:

1. Статья представляется в формате Word с расширением doc или docx.
2. Рекомендуемый объем статьи – до 10 страниц. Публикацию статей большего объема необходимо согласовать с редакцией в отдельном порядке, с пояснением причины, по которым увеличен рекомендуемый объем.
3. Размер страницы – А4. Все поля (верхнее, нижнее, правое и левое) по 2 см.
4. Текст статьи набирается шрифтом Times New Roman, размер 12 pt, междустрочный интервал – 1.0, абзацный отступ – 1,25 см, без отступов между абзацами. В основном тексте допускается курсив. Латинские буквы для обозначений набираются курсивом, греческие, русские буквы и цифровые индексы – прямым шрифтом.
5. В начале статьи индекс УДК, выровнен по левому краю. После УДК – пропуск строки.
6. Все аббревиатуры по тексту должны быть расшифрованы при первом использовании. Не использовать принудительный перенос строки (Shift+Enter), расстановку автоматических и ручных переносов.
7. Название статьи выполняется полужирным шрифтом и выравнивается по центру страницы без абзацного отступа. Название должно быть кратким (не более 10 слов) и точно отражать суть научной статьи. Не рекомендуется использовать в названии сокращения, кроме общепринятых в предметной области, аббревиатуру и формулы. Название предоставляется в редакцию на русском и английском языках. Точка после заглавия не ставится. После названия статьи следует пропуск строки.
8. Инициалы и Фамилии авторов указываются через запятую в соответствии с личным вкладом при написании статьи, выравниваются по центру страницы без абзацного отступа. После фамилий авторов следует пропуск строки.
9. Аннотация выполняется на русском и английском языках, размер шрифта 11 pt, курсив, абзацный отступ 1,25 см. Заголовки элементов аннотации выделяются жирным шрифтом. За аннотацией следует пропуск строки.
10. Ключевые слова оформляются так же, как и аннотация, и должны содержать основные понятия и термины, употребляемые в статье. Ключевые слова формулируются так, чтобы при семантическом поиске по ним можно было найти данную статью заинтересованным ученым. После абзаца с ключевыми словами – пропуск строки.
11. Для структуризации статьи рекомендуется основной текст разделить по частям с условными подзаголовками «Введение», «Постановка задачи», «Результаты моделирования» и пр., «Выводы», выполняемые полужирным шрифтом с выравниванием по центру без абзацного отступа. Перед подзаголовками – пропуск строки.
12. Таблицы должны занимать всю ширину текстового поля. В случае малого размера таблиц, допускаются таблицы шириной меньшей, чем ширина текстового поля. Таблицы выравниваются по центру листа без абзацного отступа. Текст внутри таблиц выполняется шрифтом от 10pt до 12pt, в зависимости от степени информационной загрузки. Таблицы нумеруются по порядку упоминания, а их названия оформляются в виде «Таблица 1 – Название таблицы» и выравниваются по центру листа

без абзацного отступа. Если таблица выполняется на нескольких страницах, необходимо выставлять № 4 (160) – 2022 MEANS OF COMMUNICATION EQUIPMENT 95 признак заголовка для первой строки с наименованиями столбцов, либо дублировать первую строку с наименованиями на следующей странице. По тексту статьи таблица обозначается, например, как табл. 1.

13. 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 страницы без абзацного отступа. До рисунка и после его названия вставляется пропуск строки. Допускается выполнение рисунков, расположенных параллельно друг другу на одном горизонтальном уровне, при этом рисунки и их названия помещаются в таблицу с прозрачными границами. По тексту статьи рисунки обозначаются, например, как рис. 1. Если рисунок или таблица единственные в статье, то их не нумеруют. В конце названий таблиц и рисунков точка не ставится. Ориентация рисунков и таблиц вертикальная, листа – книжная. Ширина рисунков и таблиц – до 17 см. Рисунки должны быть четкими, с хорошо проработанными деталями.

14. Формулы выполняются в редакторе формул **MathType** либо **Microsoft Equation 3.0**. Формулы могут быть набраны в основном тексте со вставкой специальных математических символов через меню «вставка-символ». **Запрещается набирать формулы во встроенном редакторе формул Microsoft Office 2007 и выше.** Основной шрифт формул, набираемых в MathType и Microsoft Equation 3.0, 12 pt. Формулы выравниваются по центру без абзацного отступа. При необходимости переноса формул используют общепринятую математическую запись переноса. Формулы, на которые есть ссылки в тексте статьи, должны быть пронумерованы. Номер формулы проставляют с правого края страницы. Не следует вставлять пропуски строки до и после формул. Нумерация формул, на которые нет ссылок по тексту, не допускается. Нельзя вставлять в текст отсканированные формулы! Греческие обозначения, скобки и цифры всегда набираются прямым шрифтом. Латинские буквы набираются курсивом как в формулах, так и в тексте, кроме устойчивых форм (**max, min, cos, sin, tg, log, exp, det ...**).

15. Список используемых источников оформляется следующим образом – «Литература», который выполняется полужирным шрифтом, по центру страницы без абзацного отступа. Нумерация ссылок определяется порядком их упоминания в статье. Список литературы: от 15 до 40 наименований, из них самоцитирований должно быть не более 20 %. В числе источников желательно не менее 50% иностранных (для статей на английском языке – 15% российских). Состав источников должен быть актуальным (не старше 5 лет). Ссылки должны быть только на статьи, патенты, книги и статьи из сборников трудов. В списках литературы не размещать: ГОСТы, рекомендации, диссертации, авторефераты, справочники, энциклопедии, электронные ресурсы без указания автора, законы, и другую нормативную и непериодическую документацию. Эти данные можно указывать в теле статьи в скобках или как постраничные сноски. Список литературы оформляется по ГОСТ 7.05-2008. Если описываемая публикация имеет цифровой идентификатор объекта DOI, его обязательно надо указывать в конце описания ссылки единой записью без пробелов, например: doi:10.1134/S1023193508080077. Допустимы ссылки только на публикации из открытых источников: Elibrary, CyberLeninka, сайты издательств.

16. После подзаголовка «References» литература дублируется на английском языке. После списка литературы и References следует пропуск строки. Основные правила при переводе литературы на английский язык, с использованием транслитерации: название русского издательства транслитерируется, если имеется зарегистрированное англоязычное название, то приводится оно. Город и издательство в английском варианте не сокращается. Транслитерация переводных книг не делается. В англоязычной версии статьи следует делать ссылку на оригинальное издание. При переводе книг на английский язык: указывается ФИО авторов на английском языке. Транслитерация названия [перевод названия на английском языке]. Название города на английском языке: Транслитерация названия издательства (либо зарегистрированное англоязычное название издательства). При переводе на английский язык статей из журналов: город и издательство не указываются. Если русскоязычный журнал имеет зарегистрированное англоязычное название или переводную англоязычную версию, то в выходных данных необходимо указывать англоязычную версию названия журнала и статьи (без ее транслитерации). При переводе на английский язык

ТЕХНИКА СРЕДСТВ СВЯЗИ № 4 (160) – 2022 96 материалов конференций указывается название конференции на языке оригинала (в транслитерации, если нет ее английского названия), выделенное курсивом. В скобках дается перевод на английский язык. Выходные данные (место проведения, место издания, страницы) представляются на английском языке.

17. После списка References указывается дата первого представления статьи в редакцию. Данный абзац выделяется полужирным шрифтом, выравнивание по правому краю страницы.

18. В конце статьи указывается информация о каждом соавторе: фамилия, имя, отчество полностью, ученая степень, ученое 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 файла, содержащего сведения об авторах (по каждому автору):

1. Фамилия, Имя, Отчество на русском и английском языках.
2. Ученая степень и ученое звание (если есть) на русском и английском языках.
3. Место работы (официальное название) с указанием страны и города на русском и английском языках.
4. Должность на русском и на английском языке.
5. Область научных интересов – на русском и английском языках (Field of research:...).
6. Адрес электронной почты (существующий и действующий) для каждого соавтора.
7. Корреспондентский почтовый адрес (с индексом), рабочий или домашний. Контактный телефон.
8. SPIN – код автора, при наличии.

Рекомендации по написанию аннотации:

Аннотация должна быть: информативной (не иметь общих слов); содержательной (отражать основное содержание статьи); структурированной (следовать логике изложения материала); компактной (объемом 200-300 слов). В аннотации следует избегать сложных грамматических конструкций и лишних фраз (например, «автор рассматривает...», «автор полагает...» и т. д.). Следует применять конструкции констатирующего и обезличенного характера (доказано, проанализировано, изложено...) и оценочные стандартные словосочетания (уделено основное внимание, актуальный вопрос, важная проблема...). Аннотация не должна включать в себя цитаты из текста статьи.

Аннотация должна включать в себя:

- предмет и цель работы (если они не следуют из названия статьи);
- используемый метод или методы исследования;
- основные результаты исследования;
- отличия данной публикации от других, схожих по теме;
- область применения результатов;
- выводы, рекомендации, перспективы развития работы.

В аннотации следует использовать конструкции констатирующего характера, имеющие обезличенный характер (проанализировано, доказано, изложено и т.д.), а также оценочные стандартные словосочетания (уделено основное внимание, актуальный вопрос, важная проблема, и т.п.). В аннотацию не следует включать иллюстрации, а также следует избегать формул, аббревиатур, специальных знаков, сокращений, условных обозначений и ссылок на номер публикации в списке литературы к статье и т. п. Рекомендуется в тексте аннотации выделять **Введение (Цели исследования, Постановка проблемы** и т. п.), **Результаты, Заключение (Новизна, Выводы, Практическая значимость)**. Большую часть аннотации должен составлять подраздел Результаты, в котором не следует использовать общие слова: «Проведены исследования...», «Разработана методика...», «Разработан модифицированный алгоритм...» и т. д., нужно описать суть исследования, методики, алгоритма. Текст аннотации должен быть лаконичным и четким, свободным от второстепенной информации, лишних вводных слов (например, «автор статьи рассматривает...», «в этой статье...»), общих и незначительных формулировок. Не использовать будущее и настоящее № 4

(160) – 2022 MEANS OF COMMUNICATION EQUIPMENT 97 время, в аннотации описывается уже сделанная научная работа. Текст должен быть связным, с использованием слов «следовательно», «более того», «например», «в результате» и т. д. («consequently», «moreover», «for example», «the benefits of this study», «as a result» etc.), предложения должны логично вытекать одно из другого.

Пример: **Аннотация.** В статье ставится *задача* обосновать.... *Целью* работы является создание модели системы, которая состоит ... В качестве примера используется ... При моделировании используются *методы* ... Это оборудование предназначено для каналов связи ... *Новизна* обсуждаемого решения состоит в ... *К результатам работы* следует отнести создание модели ... Приводятся основные теоретические и экспериментальные результаты, фактические данные, обнаруженные взаимосвязи и закономерности. При этом отдается предпочтение новым результатам и данным долгосрочного значения, важным открытиям, выводам, которые опровергают существующие теории. *Практическая значимость* работы заключается в предложенной структуре ...+ ПЕРЕВОД на английский язык.

Проверка на плагиат

Порядок проверки на плагиат и выбор сервиса для проверки определяется редакцией самостоятельно. Для проверки на плагиат редакцией используются Интернет-сервисы: Антиплагиат, ТЕХТ. Публикация статьи в журнале требует уникальности не ниже 75% от основного текста.

ВНИМАНИЕ! Редколлегия оставляет за собой право отклонить рукописи, оформленные не по указанным правилам и право потребовать от авторов предоставления оригиналов статей, распечатанных на бумаге и подписанных авторами, а также оригинала экспертного заключения об отсутствии в статье материалов, запрещенных к открытому опубликованию.

Образец оформления литературы на русском и английском языках

Книга:

Колесников А. А., Веселов Г. Е., Попов А. Н., Колесников Ал. А., Топчиев Б. В., Мушенко А. С., Кобзев В. А. Синергетические методы управления сложными системами: механические и электромеханические системы. М.: ЛИБРОКОМ, 2019. 300 с.

Kolesnikov A. A., Veselov G. E., Popov A. N., Kolesnikov Al. A., Topchiev B. V., Mushenko A. S., Kobzev V. A. *Sinergeticheskie metody upravlenija slozhnymi sistemami: mehanicheskie i jelektromehaniicheskie sistemy* [Synergetic methods of control of complex systems: mechanical and Electromechanical systems]. Moscow: LIBRO-KOM, 2019. 300 p. (in Rus).

Статья:

Межуев А. М., Савельев М. А. Алгоритм двухпараметрического адаптивного управления структурой радиосети декаметровой радиосвязи // Радиотехника. 2014. № 1. С. 9-14.

Mezhuev A. M., Saveliev M. A. Algorithm of a two-parameter adaptive technique by structure of a radio network of a decameter radio communication. *Radiotekhnika* [Radio engineering]. 2014. No. 1. Pp. 9-14 (in Rus).

Конференция:

Вершенник А. В., Федоров В. Г., Попова А. В. Способ защиты информационных потоков в многооператорных информационно-телекоммуникационных сетях // Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции «Современные информационные технологии. Теория и практика» (Череповец, 04 декабря 2017 г.). Череповец, 2018. С. 154-158.

Varsenik A. V., Fedorov V. G., Popova A. V. *Sposob zaschity informacionnyh potokov v mnogooperatornyh in-formacionno-telekommunikacionnyh setyah* [Method of protection of information flows in multi-statement information and telecommunication networks]. *Materialy IV Vserossijskoj nauchnoprakticheskoj konferencii "Sovremennye informacionnye tehnologii. Teoriya i praktika"* [Proceedings of the IV all-Russian scientific-practical conference "Modern information technologies. Theory and practice", Cherepovets, on December 04, 2017]. Cherepovets, 2018. Pp. 154-158 (in Rus).

Электронный ресурс:

Энеев Т. М., Ахметшин Р. З., Егоров В. А., Ефимов Г. Б. Межпланетные полеты космических аппаратов с электроракетными двигателями // Публичная Электронная Библиотека. URL: <http://www.plib.ru/library/book/20466.html> (дата обращения 10.12.2018).

Jeneev T. M., Ahmetshin R. Z., Egorov V. A., Efimov G. B. *Mezhplanetnye polity kosmicheskikh apparatov s jel-ektroraketnymi dvigateljami* [Interplanetary flights of spacecraft with electric rocket engines]. *Publichnaja Jelektronnaja Biblioteka* [Public Electronic Library]. URL: <http://www.plib.ru/library/book/20466.html> (date of access 10.12.2018) (in Rus).

Переводная книга:

Уоррен Г. Алгоритмические трюки для программистов: пер. с англ. М.: Вильямс, 2007. 288 с.
Warren H. S. *Hacker's Delight*. Boston: Addison Wesley Publ. Company, 2002. 320 p.

Патент:

Патент РФ 2326500. Когерентная система передачи информации хаотическими сигналами / Баркетов С.В., Жук А.П., Сазонов В.В., Авдеенко С.И., Жук Е.П., Лохов В.И., Голубь Ю.С. Заявл. 16.08.2006. Оpubл. 10.06.2008. Бюл. № 16. 6 с.

Patent RF 2326500. *Kogerentnaja sistema peredachi informacii haoticheskimi signalami* [Coherent data trans-mission system using random signals]. Barketov S.V., Zhuk A.P., Sazonov V.V., Avdeenko S.I., Zhuk E.P., Lokhov V.I., Golub' J.S. Declared 16.08.2006. Published 10.06.2008. Bulletin No. 16. 6 p. (in Rus).

Таблица перевода ученых званий, ученых степеней, должностей, заголовков

Д.т.н.; к.т.н.	PhD	Ученое звание	Academic title
Профессор	Full Professor	Доцент	Docent
Должность	Position	Профессор	Professor
Профессор кафедры (конкретной)	Professor at the Department of	Доцент	Assistant professor
Доцент кафедры (конкретной)	Associate Professor at the Department of	старший преподаватель	Senior lecturer
Преподаватель	Lecturer	Преподаватель кафедры (конкретной)	Lecturer at the Department of
Адъюнкт / аспирант	Postgraduate student	Адъюнкт / аспирант кафедры	Postgraduate at the Department of
Докторант	Doctoral Candidate	Научный сотрудник	Research Officer
Старший научный сотрудник	Senior Research Officer	Младший научный сотрудник	Research Assistant
Декан	Dean	Соискатель кафедры	Applicant at the department of
Начальник кафедры	Head of Department (BrE) / Department Chair (AmE)	Директор	Director
Зав. отделением (конкретного)	Head of the Division of Department Head	Начальник кафедры (конкретной)	Department Chair / Head of the Department of Chair of the Department of
Факультет	Faculty	Место работы	Place of work
Отдел	Department	Кафедра	Department / SubDepartment
Введение	Intoduction	Отделение	Division / Department
Методы	Methods	Цель исследования	Purpose
Практическая значимость	Practical relevance	Результаты	Results
Обсуждение	Discussion		

СПИСОК НАУЧНЫХ СТАТЕЙ, ОПУБЛИКОВАННЫХ В ЖУРНАЛЕ «ТЕХНИКА СРЕДСТВ СВЯЗИ» В 2023 ГОДУ

<u>СИСТЕМЫ СВЯЗИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ</u>	<u>№№</u>
Дмитриев В. Г., Куприянов А. И., Перунов Ю. М. Техногенные воздействия на среду распространения радиосигнала	1(161)
Акулов В.С., Мирошников В.И., Талагаев В.И., Угрик Л.Н. Прогнозирование излученной мощности для обеспечения связи на сверхдлинных волнах	1(161)
Кулешов И. А., Полуян А. М., Талагаев В. И. Методика оценки энергетических потерь декаметровых радиолиний в высоких широтах, вызванных авроральным поглощением	1(161)
Винокур М. В., Курносое В. И.	2(162)
К вопросу обеспечения максимальной эффективности функционирования комплексов аппаратно-программных средств	
Винокур М. В., Кулешов И. А., Солозобов С. А., Щукин А. Н.	2(162)
Помехоустойчивость сигналов OADM в каналах радиосвязи	
Винокур М. В., Кулешов И. А., Солозобов С. А., Щукин А. Н. Модем OADM для многоканальных радиолиний	3(163)
Путилин А. Н., Соколов В. А., Хвостунов Ю. С. Адаптация режимов работы станций сети декаметровой радиосвязи с псевдослучайным переключением рабочих частот	3(163)
Ильмер Д. В., Шаповалов Ф. А., Трапезников Р. В., Помазунов С. А., Исламов А. И. Разработка всенаправленной эфирной телевизионной антенны морского исполнения в целях импортозамещения	3(163)
Гук И. И. Амплитудные и фазовые искажения в двухлучевом канале	4(164)
<u>ПЕРЕДАЧА, ПРИЕМ И ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ</u>	
Иванов Г. Д., Иванов Д. В., Путилин А. Н. Генератор псевдослучайных чисел в станциях сети декаметровой радиосвязи	2(162)
Турилов В. А. Использование технологии DTN в сети связи Северного морского пути для организации гарантированного достоверного информационного обмена	3(163)
Акулов В. С., Угрик Л. Н., Петров А. Н. Влияние ледового покрова на подводный радиоприем	4(164)
<u>ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ</u>	
Елизаров В. В., Паращук И. Б., Салюк Д. В. Анализ этапов и критериев выбора современных технологий искусственного интеллекта в интересах построения и совершенствования техники средств связи и автоматизации управления специального назначения	1(161)
Севастьянов С. И. Выбор модели упорядочения большой размерности данных в оценке качества сложной системы	4(164)
Губенко А.М. Подходы к применению технологий искусственного интеллекта для решения задач автоматизированного управления в сложных организационно-технических системах	4(164)
<u>ЭЛЕКТРОННЫЕ И РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ</u>	
Кирик Д. И., Есенбеков Р. М. Исследование подходов перевода специализированных радиоэлектронных средств для общего применения	2(162)
<u>АНАЛИЗ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ПЕРСПЕКТИВ РАЗВИТИЯ ТЕХНИКИ СРЕДСТВ СВЯЗИ</u>	
Никитин С. В., Лоборчук А.А. Программно-конфигурируемые сети как новый этап развития сетей передачи данных	1(161)
Ломоносов П. С., Ломоносов С. Ю. Анализ состояния научно-методического аппарата расчета транспортной инфраструктуры мультисервисной сети связи ведомственного назначения	3(163)
<u>ИНФОРМАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ И ТЕХНОЛОГИИ. СБОР, ХРАНЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ</u>	
Дементьев А.Н., Глушкин В. А. Качество оценивания двоичных случайных последовательностей в условиях пропусков в наблюдаемых данных	1(161)
Будко Н. П., Васильев Н. В., Груздев А. А. Сбор и обработка больших данных в системах мониторинга информационно-телекоммуникационных сетей средствами технологии Nadoop	1(161)
Сопин Д. С., Ткачева Е. А., Васильев Н. В. Повышение качества извлекаемого текста из двоичных образов документов	2(162)
Сиразетдинов Р. Р., Белоус Д. В. Разработка системы согласования закупочных документов и договоров с использованием платформы «1С: Документооборот»	3(163)
Моисеев Д. А. Развитие методов производственного планирования и контроля	4(164)
<u>ВОПРОСЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ</u>	
Дементьев В. Е., Лепешкин Е. О. Модель формирования профиля функционирования системы безопасности проекта	2(162)
<u>СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ</u>	
Раков И. В., Титов Г. С., Талагаев В.И. Системотехнические решения по взаимодействию гетерогенных сетей связи на основе мультиагентных технологий управления	2(162)
Мегера Ю. А., Бурлаков А. А. Процедура управления рекламационной деятельностью как часть производственного процесса	3(163)
Прищенко В. Н., Мегера Ю. А., Бурлаков А. А. Риски при выполнении гарантийных обязательств предприятиями оборонной промышленности	4(164)
<u>ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ</u>	
Шалаева М. Е., Баринов М. А. Математическая модель оценки достоверности автоматического контроля	2(162)
Шмидт А. А. Косырев А. В. Анализ научно-методического аппарата диагностики и контроля, мониторинга и прогнозирования технического состояния военной техники связи	4(164)
<u>МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛОЖНЫХ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ</u>	
Ильмер Д. В., Помазунов С. А., Исламов А. И. Оценка зоны обслуживания системы NAVTEX в Восточно-Сибирском море	1(161)
Васильев Н. В., Довжиков С. Н., Компанец А. Н. Теоретико-категориальный метод контроля целостности информационных ресурсов	1(161)
Севастьянов С.И. Булеональная иерархия качества метода анализа сложных систем	3(163)
Кулешов И. А., Спивак А. В., Аксенов С. С. Последовательность синтеза современных коммутационных средств для специальных сетей связи	2(162)
Никитин С. В. Анализ временных задержек при изменении топологии программно-конфигурируемой сети на базе эмулятора компьютерных сетей Mininet	3(163)
Кулешов И. А., Спивак А. В., Аксенов С. С. Моделирование сложных систем в телекоммуникации	4(164)
Молокович И.А. Моделирование распределенных приложений в PragmaDev Studio с использованием сетевого симулятора Network Simulator ns-3	4(164)

**ПЕРЕЧЕНЬ НАУЧНЫХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ,
паспорта которых соответствуют тематическому содержанию журнала**
*В соответствии с номенклатурой, утвержденной приказом министерства науки
и высшего образования РФ от 24 февраля 2021 г. N 118 и рекомендацией президиума ВАК
N 15/1-нс от 28 мая 2021 г.*

Технические науки:	2.2. Электроника, фотоника, приборостроение и связь:
	2.2.13. Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения (технические науки);
	2.2.14. Антенны, СВЧ устройства и их технологии (технические науки);
	2.2.15. Системы, сети и устройства телекоммуникаций (технические науки).
	2.3. Информационные технологии и телекоммуникации:
	2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика (технические науки);
	2.3.5. Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей (технические науки);
Военные науки:	2.3.6. Методы и системы защиты информации, информационная безопасность (технические науки).
	6.2 Военно-технические науки
	6.2.1. Вооружение и военная техника. Комплексы и системы военного назначения (технические науки);
	6.2.4. Системный анализ, моделирование боевых действий и систем военного назначения, компьютерные технологии в военном деле (технические науки);
	6.2.5. Эксплуатация и восстановление вооружения, техническое обеспечение (технические науки);
6.2.11. Военная электроника, аппаратура комплексов военного назначения (технические науки);	
6.2.13. Военные системы управления, связи и навигации (технические науки).	

Индексы ГРНТИ:

20.00.00 Информатика.
28.00.00 Кибернетика.
45.00.00 Электротехника.
47.00.00 Электроника. Радиотехника.
47.05.00 Теоретическая радиотехника.
47.41.00 Радиоэлектронные схемы.
47.51.39 Синтез и обработка телевизионных сигналов.
49.00.00 Связь.
49.03.05 Теория обработки сигналов в системах связи.
49.27.00 Система передачи.
49.31.00 Многоканальная связь.
49.39.00 Телефонная связь и аппаратура.
49.43.00 Радиосвязь и радиовещание.
50.00.00 Автоматика. Вычислительная техника.
49.33.35 Надежность сетей связи и защита информации.
50.37.23 Защита от несанкционированного доступа. Физическая защита информации.
50.41.27 Компьютерные вирусы. Антивирусные программы.
81.93.29 Информационная безопасность. Защита информации.