

ISSN 2221-7975



## ТРУДЫ

СЕВЕРО-КАВКАЗСКОГО ФИЛИАЛА  
ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО  
УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«МОСКОВСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
СВЯЗИ И ИНФОРМАТИКИ»

РОСТОВ-НА-ДОНУ

2022

Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного  
Знамени федерального государственного бюджетного  
образовательного учреждения высшего образования  
«Московский технический университет связи и информатики»

---



**ТРУДЫ**  
**СЕВЕРО-КАВКАЗСКОГО ФИЛИАЛА**  
**МОСКОВСКОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА**  
**СВЯЗИ И ИНФОРМАТИКИ**

Подготовлены по результатам  
XV  
Всероссийской научно-практической конференции  
«ИНФОКОМ 2022»

**Ростов-на-Дону**  
**2022**

УДК 621.396.1

ББК 32

Т 78

Т 78 Труды Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики - Ростов-на-Дону.: ПЦ «Университет» СКФ МТУСИ, 2022, 377 с.

Сборник зарегистрирован в международном центре ISSN (ISSN 2221-7975) и включен в перечень журналов РИНЦ

Сборник размещен в открытом бесплатном доступе на сайте [www.skf-mtusi.ru](http://www.skf-mtusi.ru)

В настоящий сборник включены статьи, подготовленные по результатам работы XV Всероссийской научно-практической конференции «ИНФОКОМ 2022». Сборник объединяет статьи по актуальным научным направлениям развития инфокоммуникаций, математического моделирования систем и средств связи, а также инфокоммуникационных технологий в сфере образования.

Материалы статей, представленных в сборнике, даны в авторской редакции.

Сборник рассчитан на научных сотрудников, студентов и специалистов, работающих в области современных инфокоммуникационных технологий связи и информационных технологий в образовании.

Составление, дизайн, редакционная верстка сборника: Решетникова И.В.,  
Головенко М.В.

© СКФ МТУСИ, 2022

## СОДЕРЖАНИЕ

### СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ИНФОКОММУНИКАЦИЙ

<b>Головской В.А.</b> Об идентификации модели ослабления при распространении радиоволн.....	<b>9</b>
<b>Фатхулин Т.Д., Шацкий Е.И.</b> Анализ ключевых особенностей контроллеров, применяемых в программно-конфигурируемых оптических сетях.....	<b>15</b>
<b>Фатхулин Т.Д., Шацкий Е.И.</b> Анализ программных продуктов, используемых для разработки кроссплатформенных клиент-серверных приложений.....	<b>20</b>
<b>Митрофанов А.О., Степанов М.Н., Фатхулин Т.Д.</b> Анализ нейросетевых методов генерации изображения по текстовому запросу.....	<b>28</b>
<b>Карпенко Е.А.</b> Анализ функций видеоаналитики интеллектуального видеонаблюдения как составляющей комплексной безопасности.....	<b>34</b>
<b>Мокин А.И., Тимофеева А.И., Фатхулин Т.Д.</b> Анализ программных средств для создания кроссплатформенных мобильных приложений.....	<b>37</b>
<b>Дроздов О.В., Ревякина Е.А., Черкесова Л.В., Куликова О.В.</b> Обзор и сравнение методов для определения возраста по фотографии лица.....	<b>42</b>
<b>Сосновский И.А., Гендриксон Е.А.</b> Технология VPN.....	<b>47</b>
<b>Ершов В.В., Галаев З.М., Руденко Н.В., Ступак В.А.</b> Электроснабжение объектов связи в зонах централизованного и децентрализованного электроснабжения.....	<b>50</b>
<b>Наими Н.К., Борисов Б.П.</b> Анализ беспроводных технологий передачи данных в корпоративных сетях.....	<b>56</b>
<b>Бородин А.В., Бородина А.А.</b> Перспективные направления использования сегнетоэлектриков.....	<b>60</b>
<b>Карпенко Е.А., Кравчина М.В., Сергиенко А.В., Андрашитов Д.С.</b> Проблемы реализации облачных технологий в низкоорбитальных космических системах персональной спутниковой связи и передачи данных и телеуправление.....	<b>63</b>
<b>Руденко Н.В., Евстафьев В.В., Бойко Ю.Ю.</b> Анализ возможности использования волновой энергии для электроснабжения автономных объектов связи.....	<b>70</b>
<b>Евстафьев В.В., Руденко Н.В., Дугучиева Х.Ш.</b> Оптимизация сетей телекоммуникаций за счет изменения маршрутной матрицы.....	<b>75</b>
<b>Хачатрян Н.А., Борисов Б.П.</b> Организация мобильной базовой станции.....	<b>84</b>
<b>Ядрец Э.А., Болдырихин Н.В.</b> Обзор тенденций и методов фишинга.....	<b>89</b>
<b>Батенков К.А.</b> Особенности нормирования аналоговых окончаний телекоммуникационных сетей на основе сетевых трактов.....	<b>91</b>
<b>Болдырихин Н.В., Решетникова И.В.</b> Анализ сетевых атак.....	<b>94</b>
<b>Сухопаров П.Е., Афонин И.Е., Решетникова И.В.</b> Использование подвижных радиорелейных станций для организации радиосвязи между полевыми аэродромами.....	<b>96</b>
<b>Сухопаров П.Е., Романенко В.А., Юхнов В.И.</b> Формирование импедансных свойств цилиндрической конструкции за счет изменения ее геометрических параметров поперечного сечения.....	<b>101</b>
<b>Руденко В.Г., Захаренко Г.И., Ершов В.В.</b> Концепция сетцентрической информационно авиационной системы.....	<b>105</b>
<b>Енгигбарян И.А., Евсикова А.Е., Владимирова Е.О.</b> Защита информации при использовании удаленного доступа в сети.....	<b>110</b>
<b>Енгигбарян И.А., Уварова В.А.</b> Сетевые атаки и способы защиты сетей.....	<b>123</b>
<b>Швидченко С.А., Решетникова И.В., Джуган И.Г.</b> Анализ возможности использования Вейвлет-преобразования в задачах распознавания объектов.....	<b>127</b>
<b>Швидченко С.А., Снезский А.Г., Хорольский Е.М.</b> Исследование алгоритмов выделения контуров на изображениях.....	<b>135</b>
<b>Швидченко С.А., Коршун А.М., Лемба В.Ю., Хорольский Е.М.</b> Оценка модели линейной регрессии статистическими тестами.....	<b>140</b>

---

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ И СРЕДСТВ СВЯЗИ

Северин А.А., Соколов С.В. Оптический N-ичный цифро-аналоговый преобразователь.....	145
Фролова М.М., Иванов А.Н., Лобзенко П.В. Прототип микроконтроллерного планетохода на нейросети.....	148
Елисеев А.В., Рубайло Д.Э. Устойчивый к отказам алгоритм определения местоположения радиоизлучающей телекоммуникационной системы.....	153
Карпенко Е.А., Кравчина А.В., Неградце А.Г. Исследование алгоритмов оценки параметров телеметрических сообщений.....	160
Решетникова И.В., Кравчина М.В., Кочетов Д.С. Исследование алгоритма идентификации телеметрических сообщений.....	163
Юхнов В.И., Кравчина М.В., Алексеев Р.С. Исследование постановки задачи синтеза стохастического фильтра, полученного с использованием приближения аналитического решения квазидетерминистской задачи структурного синтеза.....	167
Безуглов Ю.Д., Кравчина А.В., Юдин А.Г. Исследование алгоритма нелинейной коррекции на основе объединенного принципа максимума и оценка его эффективности.....	171
Лабунько О.С., Кравчина М.В., Посухов М.А. Анализ метода синтеза систем фазовой автоподстройки частоты на основе объединенного принципа максимума и инвариантного погружения.....	177
Енгибарян И.А., Кравчина А.В., Зубов А.Н. Исследование эффективности применения алгоритма фильтрации Калмановской структуры в системах связи.....	180
Калиенко И.В., Назарова О.Ю., Переверзев А.Р., Колдынская Л.М., Беликова Т.Ю. Моделирование алгоритма канального кодирования методом Хемминга в телекоммуникационных устройствах.....	184
Калиенко И.В., Назарова О.Ю., Переверзев А.Р., Енгибарян И.А., Беликова Т.Ю. Моделирование работы декодера Хемминга в симметричных двоичных дискретных каналах связи....	187
Лукьянов А.Д., Азнабаев М.И., Плеханова Е.В. Капитанова И.Р. Прецизионная лабораторная печь для получения наночастиц с системой программного управления и облачным мониторингом....	189
Калиенко И.В., Назарова О.Ю., Переверзев А.Р., Решетникова И.В., Беликова Т.Ю. Моделирование работы кодирующего устройства циклического кодера (7,4) для проведения лабораторных работ в условиях дистанционного обучения.....	194
Калиенко И.В., Назарова О.Ю., Переверзев А.Р., Решетникова И.В., Беликова Т.Ю. Экспериментальное исследование и моделирование работы декодирующего устройства циклического кода (7,4) для проведения лабораторных работ в условиях дистанционного обучения...	196
Головской В.А. О моделях в исследованиях когнитивных радиосистем.....	200
Шухардин А.Н., Шкорина А.В. Методика оперативного выбора путей доведения информации в информационно-телекоммуникационных системах.....	204
Петров С.В., Афонин И.Е., Ершов В.В. Обоснование и формализация показателя устойчивости системы управления воздушно-космической обороной.....	211
Сафарьян О.А., Алферова И.А., Енгибарян И.А., Юхнов В.И. Стабилизация частоты на основе первично-фундаментальных свойств больших систем.....	219
Панков Г.К., Кравчина М.В., Гранин М.Р. Структурный синтез адаптивного фильтра оценки состояния динамических систем.....	228
Панков Г.К., Решетникова О.А., Кравчина А.В., Булеко М.С. Синтез следящих систем с использованием динамической модели телеметрических сообщений.....	231
Лабунько О.С., Кравчина А.В., Цырик А.В. Обзор метода подавления вибраций при производстве печатных плат с использованием условия максимума функции обобщенной мощности.....	235
Сафарьян О.А., Алферова И.А., Енгибарян И.А., Юхнов В.И. Оценка частотного шума сигнала в радиоканале.....	240
Сафарьян О.А., Алферова И.А., Найденова Ю.И., Решетникова И.В. Стабильность частоты генераторов и вероятность битовой ошибки в системах радиосвязи с M-кам сигналами.....	244
Сафарьян О.А., Найденова Ю.И., Алферова И.А., Решетникова И.В. Использование экспертных систем для повышения надежности систем радиосвязи.....	250
Кобак В.Г., Самодурова В.Р., Жуковский А.Г., Колдынская Л.М., Швидченко С.А. Нахождения минимальных устойчивых множеств неориентированного связного графа.....	255
Кобак В.Г., Иванков П.Н., Валадов А.С., Жуковский А.Г., Швидченко С.А. Экспериментальное исследование различных фаз работы алгоритма крона в однородных системах при избирательности приборов.....	259
Кобак В.Г., Поркшеян В.М., Валадов А.С., Швидченко С.А. Реализация модификаций алгоритма крона и алгоритма «Критического пути» для решения минимаксных задач с бесконечностями.....	254

<b>Кобак В.Г., Шевченко В.В., Валадов А.С., Жуковский Д.А.</b> Реализация алгоритма Пашкеева для решения минимаксных задач с бесконечностями.....	<b>271</b>
<b>Кобак В.Г., Швидченко С.А., Жуковский А.Г., Жуковский Д.А.</b> Решение однородной минимаксной задачи с бесконечностями экспериментальным алгоритмом без возвратов.....	<b>275</b>

## **ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СФЕРЕ ОБРАЗОВАНИЯ, ЭКОНОМИКИ И МЕНЕДЖМЕНТА**

<b>Докучаев С.А., Костецкая Г.С., Конкин Б.Б., Светличная Н.О.</b> Цифровой образовательный стриминговый портал как эффективное средство формирования цифровой компетенции у обучающихся.....	<b>280</b>
<b>Константинова Я.Б., Бадёрная О.А., Кокоулина Ю.Д.</b> Изменение структуры и свойств сегенетозлектриков в результате отжига.....	<b>282</b>
<b>Сосновский И.А., Коршун А.М., Гендриксон Е.А.</b> Информационная система Деканат. Модуль – Контингент.....	<b>285</b>
<b>Сосновский И.А., Коршун А.М., Гендриксон Е.А.</b> Информационная система Деканат. Модуль – Приказы.....	<b>292</b>
<b>Бинеев Э.А.</b> Влияние физических свойств вредных газов на их концентрацию в воздухе.....	<b>302</b>
<b>Слесарев Л.А., Шелковский Д.А., Устименко Д.Л.</b> Влияние компьютерных игр на психологию учащихся.....	<b>304</b>
<b>Круцких Д.О., Добровольский И.С., Устименко Д.Л.</b> VR-технологии: перспективы развития и внедрения.....	<b>308</b>
<b>Бородин А.В., Докучаев С.А., Конкин Б.Б., Светличная Н.О.</b> Цифровые технологии и лабораторный практикум.....	<b>310</b>
<b>Немехова А.С., Лобзенко П.В.</b> Рабочее место тьютора детского развивающего центра.....	<b>313</b>
<b>Коробка В.Л., Лобзенко П.В.</b> Приложение с игровыми заданиями для изучения языка программирования.....	<b>317</b>
<b>Аринина Н.В., Лобзенко П.В.</b> WEB приложение для обработки заявок торговых точек малого бизнеса.....	<b>321</b>
<b>Короченцев Д.А., Нардид А.А.</b> Анализ подходов и методов, используемых при подготовке специалистов в области информационной безопасности.....	<b>325</b>
<b>Башмаков П.Г., Куликова О.В.</b> Исследование оценки влияния различных парадигм программирования на тестовую деятельность.....	<b>332</b>
<b>Сосновский И.А., Полторацкая Н.А.</b> IT-технологии в современном обществе и юридические неопределённости их применения.....	<b>335</b>
<b>Евдокимова С.А.</b> Алгоритм оценки результатов тестирования по моделям современной теории тестирования.....	<b>338</b>
<b>Гаевская Л.А.</b> Физическая культура и здоровый образ жизни студентов, и их составляющие.....	<b>347</b>
<b>Безуглов Д.А., Шевчук П.С.</b> Интеллектуализация мобильного инспекционно-досмотрового комплекса на основе интерактивного MR тренажера СТ-2630М для подготовки специалистов таможенных органов.....	<b>350</b>
<b>Башлы П.Н., Маврина В.В., Юхнов В.И.</b> Электронная подпись как средство обеспечения экономической безопасности компаний и предприятий.....	<b>357</b>
<b>Никитченко С.Л., Юхнов В.И.</b> Метод оценки качества программного обеспечения для управления техническим обслуживанием машин.....	<b>360</b>
<b>Бокова Е.И., Шошина А.А., Устименко Д.Л.</b> Телекоммуникационные технологии: Влияние на современное общество.....	<b>367</b>
<b>Милешкин Я.А., Лобзенко П.В.</b> Сетевая база данных.....	<b>370</b>
<b>Сердечный М.С., Ревякина Е.А., Черкесова Л.В., Болдырихин Н.В.</b> Обзор проблематики анализа текстового контента на наличие деструктивной информации в сфере образования.....	<b>373</b>

---

## CONTENTS

### STATE AND PROSPECTS OF INFOCOMMUNICATION DEVELOPMENT

<b>Golovskoy V.A.</b> On the identification of the attenuation model in the propagation of radio waves.....	9
<b>Fatkhulin T.D., Shatsky E.I.</b> Analysis of key features of controllers used in software-defined optical networks.....	16
<b>Fatkhulin T.D., Shatsky E.I.</b> Analysis of software products used for the development of cross-platform client-server applications.....	20
<b>Mitrofanov A.O., Stepanov M.N., Fatkhulin T.D.</b> Analysis of neural network methods for image generation on a text request.....	28
<b>Karpenko E.A.</b> Analysis of intelligent video surveillance video analytics functions as a component of complex security.....	34
<b>Mokin A.I., Timofeeva A.I., Fatkhulin T.D.</b> Analysis of software tools for creating cross-platform mobile application.....	37
<b>Drozdov O.V., Revyakina E.A., Cherkesova L.V., Kulikova O.V.</b> Review and comparison of methods for determining the age of a face photo.....	42
<b>Sosnovskiy I.A., Gendrikson E.A.</b> VPN technology.....	47
<b>Ershov V.V., Galaev Z.M., Rudenko N.V., Stupak V.A.</b> Power supply of communication objects in zones centralized and decentralized power supply.....	50
<b>Naimi N.K., Borisov B.P.</b> Analysis of wireless data transmission technologies in corporate networks.....	56
<b>Borodin A.V., Borodina A.A.</b> Prospective directions of using ferroelectrics.....	60
<b>Karpenko E.A., Kravchina M.V., Sergienko A.V., Andrashitov D.S.</b> Problems of cloud technology implementation in low-orbit space systems of personal satellite communications and data transmission and telecontrol.....	63
<b>Rudenko N.V., Evstafiev V.V., Boyko Yu.Yu.</b> Analysis of the possibility of using wave energy for power supply of autonomous communication objects.....	70
<b>Evstafiev V.V., Rudenko N.V., Duguchieva Kh.Sh.</b> Optimization of telecommunications networks due to changing the route matrix.....	75
<b>Khachatryan N.A., Borisov B.P.</b> Organization of a mobile base station.....	84
<b>Yadrets E.A., Boldyrikhin N.V.</b> Overview of phishing trends and methods.....	89
<b>Batenkov K.A.</b> Features of normalization of analog terminals of telecommunication networks based on network paths.....	91
<b>Boldyrikhin N.V., Reshetnikova I.V.</b> Analysis of network attacks.....	94
<b>Suhoparov P.E., Afonin I.E., Reshetnikova I.V.</b> The relevance of the organization of radio communication between field airfields using radio relay stations.....	96
<b>Suhoparov P.E., Romanenko V.A., Yukhnov V.I.</b> Formation of impedance properties of a cylindrical structure due to changes in its geometric parameters of the cross section.....	101
<b>Rudenko V.G., Zakharenko G.I., Ershov V.V.</b> The concept of a network-centric information aviation system.....	105
<b>Engibaryan I.A., Evsikova A.E., Vladimirova E.O.</b> Protection information when using remote access on the network.....	110
<b>Engibaryan I.A., Uvarova V.A.</b> Network attacks and ways to protect networks.....	123
<b>Shvidchenko S.A., Reshetnikova I.V., Dzhugan I.G.</b> Analysis of the possibility of using the wavelet transform in object recognition tasks.....	127
<b>Shvidchenko S.A., Snezksky A.G., Khorolsky E.M.</b> Research of algorithms for detecting image edges.....	135
<b>Shvidchenko S.A., Korshun A.M., Lemba V.Y., Khorolsky E.M.</b> Evaluation of the linear regression model by statistical tests.....	140

---

## MATHEMATICAL MODELING OF SYSTEMS AND MEANS OF COMMUNICATION

<b>Severin A.A., Sokolov S.V.</b> Optical N-personal digital-to-analog converter.....	145
<b>Frolova M.M., Ivanov A.N., Lobzenko P.V.</b> Prototype of a microcontroller planetoid on a neural network	148
<b>Eliseev A.V., Rubailo D.E.</b> A fault-resistant algorithm for determining the location of a radio-emitting telecommunications system.....	153
<b>Karpenko E.A., Kravchina A.V., Negradze A.G.</b> Research of algorithms for telemetry message parameter estimation.....	160
<b>Reshetnikova I.V., Kravchina M.V., Kochetov D.S.</b> Research on the telemetry identification algorithm messages.....	163
<b>Yukhnov V.I., Kravchina M.V., Alekseev R.S.</b> Study of stochastic filter synthesis problem statement obtained using approximation of analytical solution of quasi-deterministic structural synthesis problem.....	167
<b>Bezuglov Y.D., Kravchina A.V., Yudin A.G.</b> Research of nonlinear correction algorithm based on the unified maximum principle and evaluation of its efficiency.....	172
<b>Labunko O.S., Kravchina M.V., Posukhov M.A.</b> Analysis of the method of synthesis of phase locked-in systems based on the combined principle of maximum and invariant immersion.....	177
<b>Engibaryan I.A., Kravchina A.V., Zubov A.N.</b> Research of efficiency of application of algorithm Kalman structure filtering algorithm in communication systems.....	180
<b>Kalienko I.V., Nazarova O.Y., Pereverzev A.R., Koldinskaya L.M., Belikova T.YU.</b> Modeling of the channel coding algorithm by the Hamming method in telecommunication devices.....	184
<b>Kalienko I.V., Nazarova O.Y., Pereverzev A.R., Engibaryan I.A., Belikova T.YU.</b> Simulation of the hamming decoder operation in symmetric binary discrete communication channels.....	187
<b>Lukyanov A.D., Aznabaev M.I., Plekhanova E.V., Kapitanova I.R.</b> A precision laboratory furnace for producing nanoparticles with a program control system and cloud monitoring.....	189
<b>Kalienko I.V., Nazarova O.Y., Pereverzev A.R., Reshetnikova I.V., Belikova T.YU.</b> Simulation of the operation of the coding device of the cyclic encoder (7,4) for laboratory work in the conditions of distance learning.....	195
<b>Kalienko I.V., Nazarova O.Y., Pereverzev A.R., Reshetnikova I.V., Belikova T.YU.</b> Experimental study and simulation of the operation of a cyclic code decoding device (7,4) for laboratory work in distance learning conditions.....	197
<b>Golovskoy V.A.</b> About models in research of cognitive radio systems.....	200
<b>Shukhardin A.N., Shkorina A.V.</b> Methodology for the operational selection of ways to communicate information in information and telecommunication systems.....	204
<b>Petrov S.V., Afonin I.E., Ershov V.V.</b> Substantiation and formalization of the stability indicator of the aerospace defense control system.....	212
<b>Safaryan O.A., Alferova I.A., Engibaryan I.A., Yukhnov V.I.</b> Frequency stabilization based on primary fundamental properties of large systems.....	219
<b>Pankov G.K., Kravchina M.V., Granin M.R.</b> Structural synthesis of an adaptive filter for estimating the state of dynamic systems.....	228
<b>Pankov G.K., Reshetnikova O.A., Kravchina A.V., Buleko M.S.</b> Synthesis of tracking systems using a dynamic model of telemetry messages.....	232
<b>Labunko O.S., Kravchina A.V., Tsyrik A.V.</b> Review of the vibration suppression method in the production of printed circuit boards using the condition maximum of the generalized power function.....	235
<b>Safaryan O.A., Alferova I.A., Engibaryan I.A., Yukhnov V.I.</b> Estimation of the frequency noise of the signal in the radio channel.....	240
<b>Safaryan O.A., Alferova I.A., Naydenova Ju.I., Reshetnikova I.V.</b> Frequency stabilization based on primary fundamental properties of large systems.....	245
<b>Safaryan O.A., Naydenova Yu.I., Alferova I.A., Reshetnikova I.V.</b> Using expert systems to improve the reliability of radio communication systems.....	250
<b>Kobak V.G., Samodurova V.R., Zhukovsky A.G., Koldynskaya L.M., Shvidchenko S.A.</b> Finding minimal stable sets of an undirected connected graph.....	255
<b>Kobak V.G., Ivankov P.N., Valadov A.S., Zhukovsky A.G., Shvidchenko S.A.</b> Experimental study of various phases of the crohn's algorithm in homogeneous systems with selectivity of devices.....	259
<b>Kobak V.G., Porksheyay V.M., Valadov A.S., Shvidchenko S.A.</b> Implementation of modifications of the crohn's algorithm and the "Critical path" algorithm for solving minimax problems with infinities.....	254
<b>Kobak V.G., Shevchenko V.V., Valadov A.S., Zhukovsky D.A.</b> Implementation of the Pashkeev algorithm for solving minimax problems with infinities.....	271
<b>Kobak V.G., Shvidchenko S.A., Zhukovsky A.G., Zhukovsky D.A.</b> Solving a homogeneous minimax problem with infinities by an experimental algorithm without returns.....	275

---

## INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGY IN EDUCATION, ECONOMICS AND MANAGEMENT

<b>Dokuchaev S.A., Kostetskaya G.S., Konkin B.B., Svetlichnaya N.O.</b> Digital educational streaming portal as an effective way to form digital competencies in students.....	<b>280</b>
<b>Konstantinova Ya.B., Badernaya O.A., Kokoulina YU.D.</b> Changing the structure and properties of ferroelectrics as a result of annealing.....	<b>282</b>
<b>Sosnovskiy I.A., Korshun A.M., Gendrikson E.A.</b> Dean's office information system. Module – Contingent	<b>285</b>
<b>Sosnovskiy I.A., Korshun A.M., Gendrikson E.A.</b> Dean's office information system. Module – Orders.....	<b>292</b>
<b>Bineev E.A.</b> Influence of the physical properties of harmful gases on their concentration in the air.....	<b>302</b>
<b>Slesarev L.A., Shelkovsky D.A., Ustimenko D.L.</b> The influence of computer games on the psychology of students.....	<b>304</b>
<b>Krutskih D.O., Dobrovolskii I.S., Ustimenko D.L.</b> VR technologies: prospects for development and implementation.....	<b>308</b>
<b>Borodin A.V., Dokuchaev S.A., Konkin B.B., Svetlichnaya N.O.</b> Digital technologies and a laboratory workshop.....	<b>310</b>
<b>Nemekhov A.S., Lobzenko P.V.</b> Workplace of the tutor of the children's development center.....	<b>313</b>
<b>Box V.L., Lobzenko P.V.</b> An application with game tasks for learning a programming language.....	<b>317</b>
<b>Arinina N.V., Lobzenko P.V.</b> WEB application for processing applications of small business outlets.....	<b>321</b>
<b>Korochentsev D.A., Nardid A.A.</b> Analysis of approaches and methods used in the training of specialists in the field of information security.....	<b>325</b>
<b>Bashmakov P.G., Kulikova O.V.</b> Study of evaluation of the influence of different programming paradigms on test activity.....	<b>332</b>
<b>Sosnovsky I.A., Poltoratskaya N.A.</b> IT technologies in modern society and legal uncertainties of their application.....	<b>335</b>
<b>Evdokimova S.A.</b> Algorithm for evaluating test results using modern test theory models.....	<b>338</b>
<b>Gayevskaya L.A.</b> Physical culture and healthy lifestyle of students and their components.....	<b>347</b>
<b>Bezuglov D.A., Shevchuk P.S.</b> Intellectualization of mobile inspection complex based on interactive MR simulator ST-2630M for training specialists of customs authorities.....	<b>350</b>
<b>Bashly P. N., Mavrina V.V., Yukhnov V.I.</b> Electronic signature as a means of ensuring the economic security of companies and enterprises.....	<b>357</b>
<b>Nikitchenko S.L., Yukhnov V.I.</b> Software quality assessment method for maintenance management of agricultural machinery.....	<b>361</b>
<b>Bokova E.I., Shoshina A.A., Ustimenko D.L.</b> Telecommunication technologies: impact on modern society	<b>367</b>
<b>Mileshkin Ya.A., Lobzenko P.V.</b> Network database.....	<b>370</b>
<b>Serdechniy M.S., Revyakina E.A., Cherkesova L.V., Boldyrikhin N.V.</b> Review of the problems of analysis of text content for the presence of destructive information in the sphere of education.....	<b>373</b>

---

# СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ИНФОКОММУНИКАЦИЙ

## STATE AND PROSPECTS OF INFOCOMMUNICATIONS DEVELOPMENT

**В.А. Головской**

### **ОБ ИДЕНТИФИКАЦИИ МОДЕЛИ ОСЛАБЛЕНИЯ ПРИ РАСПРОСТРАНЕНИИ РАДИОВОЛН**

Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени ФГБОУ ВО «Московский технический университет связи и информатики», г. Ростов-на-Дону, Россия

Ключевые слова: распространение радиоволн, идентификация, зона покрытия, модель ослабления, эмпирическая модель, когнитивное радио, радиосистема.

Аннотация. Представлены подход к идентификации модели ослабления при распространении радиоволн на урбанизированной территории, наиболее полно описывающей условия функционирования радиосистемы, и реализующий данный подход алгоритм. Приведены результаты моделирования. Предложенный подход может быть использован в когнитивных радиосистемах для формирования знаний о среде и их последующей корректировки.

**V.A. Golovskoy**

### **ON THE IDENTIFICATION OF THE ATTENUATION MODEL IN THE PROPAGATION OF RADIO WAVES**

North Caucasus branch of Moscow Technical University  
of Communications and Informatics, Rostov-on-Don, Russia

Keywords: radio wave propagation, identification, coverage area, attenuation model, empirical model, cognitive radio, radio system.

An approach to the identification of the attenuation model during the propagation of radio waves in an urbanized area, which most fully describes the conditions of the functioning of the radio system, and an algorithm implementing this approach are presented. Simulation results are presented. The proposed approach can be used in cognitive radio systems to form knowledge about the environment and their subsequent correction.

Настоящий технологический уклад характеризуется увеличением роли интеллектуализированных технологий в различных сферах жизнедеятельности общества. Одну из таких технологий описывает концепция когнитивного радио [1]. Одной из отличительных особенностей этой технологии являются декларируемые способности «получения знаний о своей среде эксплуатации, динамически и автономно корректировать свои эксплуатационные параметры и протоколы согласно полученным знаниям, а также позволяющие системе учиться на основе полученных результатов» [1].

В работе [2] были предложены принципы создания базы знаний подсистемы управления когнитивной радиосистемы (РС), предполагающие использование продукционного подхода. Указанные принципы требуют получения данных о среде эксплуатации, включающие данные о распространении радиоволн, необходимых для прогнозирования изменений характеристик среды и выбора, исходя из этого прогноза,

---

оптимальной конфигурации телекоммуникационных ресурсов РС. В качестве телекоммуникационных ресурсов РС рассматриваются диапазоны частот, ширина спектра сигналов, тип сигнально-кодовой конструкции, тип мультиплексирования, режим работы, типы пакета, способ первичного кодирования и другие, позволяющие в системном единстве обеспечивать требуемые характеристики РС.

Данные о своей среде эксплуатации должны учитывать характеристики распространения радиоволн в рассматриваемой области пространства, однако применение цифровых карт местности не сможет обеспечить требуемую точность прогнозирования радиопокрытия из-за динамично изменяющихся характеристик местности [3, 4].

Знания о среде эксплуатации должны учитывать характеристики распространения радиоволн на занимаемой территории [2, 3], которые в настоящее время с достаточной точностью описываются соответствующими моделями ослабления при распространении радиоволн (МО). Также формат представления знаний должен обеспечивать возможность формирования из уже имеющихся новых знаний, т.е. самообучения, а также – наиболее экономное в некотором роде описание знаний [5]. С учетом того, что данные требуются для описания среды функционирования РС в целях выбора на их основе оптимальных режимов функционирования этой РС, то представляется целесообразным использовать МО для описания указанных условий. Исходя из этого заключения, сформулирована **Гипотеза**: МО позволяют описывать местность с удовлетворительным качеством. В данной работе не будет рассматриваться вопрос о том, насколько экономно такое описание.

Исследования точностных характеристик некоторых наиболее популярных статистических МО  $L_j^n = L(x_1, \dots, x_n)$ ,  $j = \overline{1, N_L}, n = \overline{1, N_n}$ , как  $n$ -местных функций в предположении случайного характера аргументов  $x_n$ , показали, что величины ослабления при прогнозировании существенно зависят от неточности задания некоторых аргументов [4, 6]. Индекс  $j$  в настоящей работе обозначает порядковый номер рассматриваемой МО.

В работах [3, 7, 8] предлагались различные подходы к корректировке конкретной МО с учетом особенностей местности. Необходимость осуществления корректировки в целях более адекватного описания среды функционирования РС объясняется таким известным недостатком МО [6, 10], как низкая точность априорной оценки условий распространения радиоволн. Однако в работах [3, 7] не было указано, как должна выбираться модель для корректировки, и была выбрана наиболее популярная – модель Окумуры-Хаты. Это объясняется тем, что отсутствует аппарат определения МО, соответствующей наиболее полно в некотором смысле текущим условиям обстановки. Таким образом задача определения конкретной МО, наиболее полно описывающей условия распространения радиоволн и необходимой для последующей корректировки, представляется актуальной. Будем называть задачу определения конкретной МО, наиболее полно описывающей условия распространения радиоволн, задачей идентификации модели по аналогии с [10]. Применительно к концепции когнитивного радио корректировка МО будет являться этапом уточнения данных о среде.

Цель работы – формирование подхода к решению сформулированной выше задачи идентификации.

#### **Постановка задачи.**

Рассматривается функционирующая на урбанизированной территории РС, содержащая в своем составе базовую станцию (БС) и несколько мобильных станций (МС).

В настоящее время для описания условий распространения радиоволн и прогнозирования радиопокрытия используется множество МО, имеющих различные точностные характеристики, наборы  $x_n$  и границы применимости [6, 9]. Наиболее часто

используемыми на практике МО являются:  $L_1^6$  – модель Окумуры-Хаты,  $L_2^7$  – модель Ибрагима-Парсонса,  $L_3^5$  – модель COST231-Хаты,  $L_4^7$  – модель Уолфиш-Иекегами.

Значения ослаблений мощности радиосигнала при распространении на урбанизированной территории приведены для приведенных выше МО приведены на рисунке 1. При моделировании было принято  $f_c = 450$ , МГц;  $h_t = 45$ , м;  $h_r = 1,5$ , м, а данные о местности заданы, как  $B = 95$ ;  $H = 50$ ;  $\eta = 70$ .

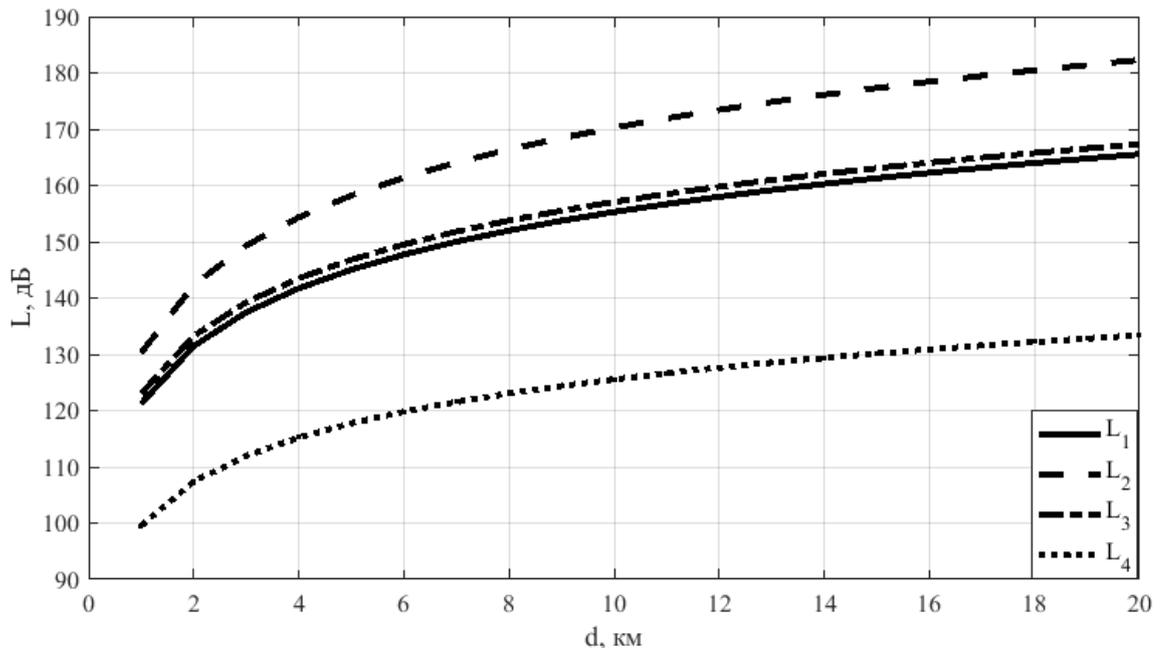


Рисунок 1. Ослабление радиосигнала для различных моделей

На вход радиоприемного устройства МС поступает аддитивная смесь белого гауссовского шума и ослабленного радиосигнала от БС с мощностью, определяемой как

$$P_r = P_t + G - L_j^n, \quad (1)$$

где  $P_t$  – полная мощность, подводимая к антенне на БС, дБмВт;  $G$  – коэффициент усиления передающей и приемной антенн, дБ;  $L_j^n$  – ослабление радиосигнала при распространении, определяемое отношением передаваемой мощности сигнала к принимаемой, описываемое  $j$ -й моделью, дБ.

Далее будет рассматриваться в качестве примера только модель Ибрагима-Парсонса, описываемая выражением [9]

$$L_2^7 = 40 \lg d - 20 \lg (h_{MC} h_{BC}) + 20 + \frac{f_0}{40} + 0,18 B - 0,34 H + K, \quad (2)$$

где  $B$  – процент занятой зданиями площади;  $H$  – параметр, характеризующий пересеченность местности;  $K$  – коэффициент относительной площади застройки местности. Применительно к центрам больших городов коэффициент  $K$  определяется по формуле с учетом параметра урбанизации  $\eta$ , как  $K = 0,094\eta - 5,9$ .

Необходимо разработать алгоритм  $A$  идентификации модели  $L_j^n$ , наиболее полно описывающей условия распространения радиоволн на рассматриваемой территории, при имеющихся описаниях моделей  $L_j^n = L(x_1, \dots, x_n), j = \overline{1, N_L}, n = \overline{1, N_n}$ ,

$$A(D_E) = \hat{j}, j = \overline{1, N_L}, \quad (3)$$

где  $D_E$  – описание внешней среды. При этом желательно иметь достаточно простой в вычислительном плане алгоритм. Применительно к модели (2)  $D_E \supset \{K, B, H\}$ .

При разработке алгоритма приняты следующие допущения:

- гипотеза о взаимодействии с шумом: канал с аддитивным белым гауссовским шумом;
- ошибки измерений считаются некоррелированными;
- имеются априорные данные о рельефе и урбанизации  $K, B$  и  $H$ .

### Предлагаемый алгоритм.

Предлагается следующий подход к идентификации МО, описанный при помощи блок-схемы алгоритма на рисунке 2.

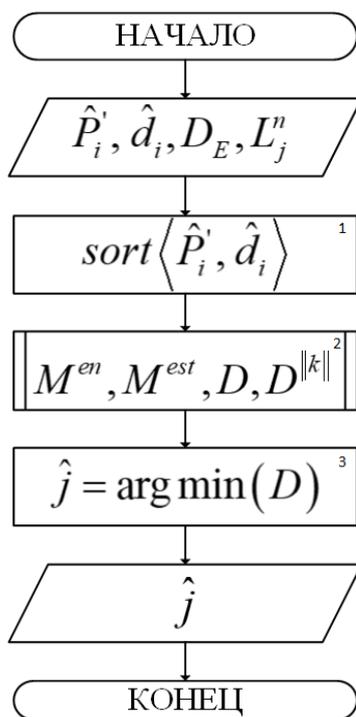


Рисунок 2. Блок-схема алгоритма

На вход алгоритма поступают данные об оценке мощности  $(\hat{P}_i)$  сигнала на входе радиоприемника  $MC_i, i = \overline{1, N_{MS}}$ , находящейся на удалении  $\hat{d}_i$  от БС, а также данные о среде  $(D_E)$  и набор описаний моделей  $L_j^n$ .

В блоке №1 реализуется сортировка массива по удалению МС от БС.

В блоке №2 реализуется построение матрицы значений мощностей  $(\hat{P}_i^{L_j})$ , рассчитанных согласно (1) для рассматриваемых моделей  $L_j^n$ ,

$$M^{en} = \left( \hat{P}_i^{L_j} \right)_{N_L \times N_{MS}}, \quad (4)$$

матрицы данных об оценке мощности  $\left( \hat{P}_i \right)$  сигнала на входе радиоприемника  $MC_i$   
 $i = \overline{1, N_{MS}}$

$$M^{est} = \left( \hat{P}_i \right)_{1 \times N_{MS}}, \quad (5)$$

и матрицы невязок

$$D = \left( \Delta_i^{L_j} \right)_{N_L \times N_{MS}} \quad (6)$$

путем вычитания из каждой строки  $M^{en}$  матрицы (5). После этого строится вектор

$$D^{||k||} = \left( \left\| \Delta_i^{L_j} \right\|_k \right)_{N_L \times 1} \quad (7)$$

невязок в  $k$ -й метрике. При этом может быть выбрана конкретная метрика для получения  $\left\| \Delta_i^{L_j} \right\|_k$  или сразу несколько таких метрик.

В блоке №3 осуществляется нахождение индекса минимальной метрики в векторе

$$\hat{j} = \arg \min(D). \quad (8)$$

Предложенный алгоритм в целях моделирования реализован программно [11]. Для определения доли правильно идентифицированной МО введена величина отношения количества верно идентифицированных моделей  $(N_j)$  к количеству итераций идентификаций  $(N_{it})$  для каждой шумовой реализации

$$V = \frac{N_j}{N_{it}} 100\%$$

Рассмотрим особенности процесса идентификации модели  $L_2^7$ . При моделировании были заданы следующие исходные данные:

$$f_c = [450; 900] \text{ МГц}; \quad h_t = 45 \text{ м}; \quad h_r = 1,5 \text{ м}; \quad N_{MS} = \overline{4, 10}; \quad N_{it} = 500;$$

$$B = 95, \quad H = 50, \quad \eta = 70, \quad \mu = 0, \quad \sigma = \overline{1, 40} \text{ дБмВт}.$$

При построении вектора (7) использовалась норма Эвклида

$$\left\| \Delta_i^{L_j} \right\|_2 = \sum_{i=1}^{N_{MS}} \Delta_i^{L_j}, \quad i = \overline{1, N_{MS}}, \quad j = \overline{1, N_L}.$$

Результаты моделирования приведены на рисунке 3 для  $f_c = 450$  МГц на верхнем рисунке, и для  $f_c = 900$  МГц – на нижнем.

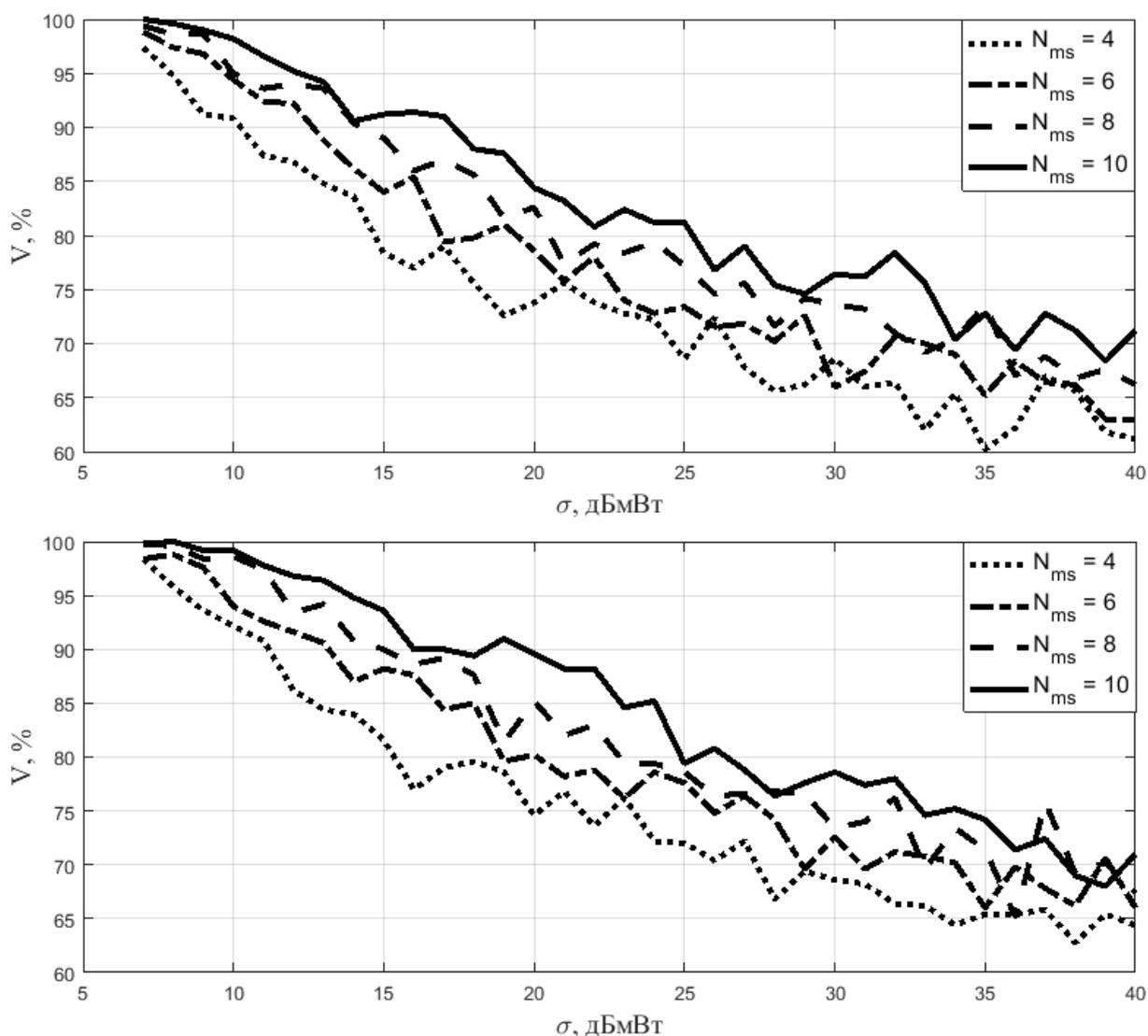


Рисунок 3. Результаты моделирования

### Заключение.

В работе приведены некоторые результаты исследований по идентификации моделей ослабления при распространении радиоволн на урбанизированной территории. В качестве продолжения исследований предполагаются следующие направления: исследование эффективности введения в рассмотрение октаэдрической нормы, варьирование типом канала и данными о рельефе и урбанизации  $K, B$  и  $H$

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Отчет МСЭ-R SM.2152. Определения системы радиосвязи с программируемыми параметрами (SDR) и системы когнитивного радио (CRS) // Сайт Международного союза электросвязи [Электронный ресурс]. – URL: [http://www.itu.int/dms\\_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-SM.2152-2009-PDF-R.pdf](http://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-SM.2152-2009-PDF-R.pdf) (дата обращения: 02.02.2022).
2. Головской В.А. Принципы создания базы знаний конфликтно-устойчивой системы передачи данных робототехнических комплексов военного назначения // Информационная безопасность - актуальная проблема современности. Совершенствование образовательных технологий подготовки специалистов в области информационной безопасности. – 2020, т.1, № 2-1 (13), с. 46-51.

3. Мозоль А.А., Головской В.А. О коррекции моделей распространения радиоволн для систем когнитивного радио // Антенны и распространение радиоволн: сб. науч. тр. Всероссийской НТК, Санкт-Петербург, 17-19 октября 2018 г. – СПб.: Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина). – 2018. с. 83-87.
4. Головской В.А., Мозоль А.А. Оценивание погрешности прогнозирования радиальной зоны покрытия базовой станции // Труды Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики. – Ростов-на-Дону: ПЦ «Университет» СКФ МТУСИ. – 2021. с. 98-103.
5. Жожикашвили А.В. Категорная технология создания и развития интеллектуальных систем, основанных на знании // Информационные процессы. – 2016. т. 16, № 4, с.312-332.
6. Булычев Ю.Г., Мозоль А.А., Головской В.А. Оценка дисперсии ослабления радиосигнала в системах подвижной радиосвязи // Радиотехника. – 2016, №3, с. 23-27.
7. Мозоль А.А., Головской В.А. Полуэмпирический способ определения зоны покрытия базовой станции системы подвижной радиосвязи // Вестник Воронежского института МВД России. – 2014, №3, с. 30-40.
8. Дворников С.В., Балыков А.А., Котов А.А. Упрощенная модель расчета потерь сигнала в радиолинии, полученная путем сравнения квадратичной формулы Введенского с существующими эмпирическими моделями // Системы управления, связи и безопасности. – 2019, № 2, с. 87-99.
9. Saunders S.R., Aragon-Zavala A. Antennas and propagation for wireless communication systems. Chichester : John Wiley & Sons Ltd. – 2007, 546 P.
10. Култышев С.Ю., Култышева Л.М., Милюша М.В. Идентификация математической модели при наличии неизмеряемых внешних воздействий на моделируемый объект // Дифференциальные уравнения и процессы управления. – 2018, № 3, с. 123-140.
11. Головской В.А., Завальцев М.Ю. Программа идентификации модели распространения радиоволн для когнитивных радиосистем Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2022618092, 28.04.2022. Заявка № 2022617559 от 28.04.2022.

**Т.Д. Фатхулин, Е.И. Шацкий**

## **АНАЛИЗ КЛЮЧЕВЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ КОНТРОЛЛЕРОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ПРОГРАММНО-КОНФИГУРИРУЕМЫХ ОПТИЧЕСКИХ СЕТЯХ**

Ордена Трудового Красного Знамени федеральное государственное  
Бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Московский технический университет связи и информатики»,  
Москва, Россия

Ключевые слова: контроллер, технология, программно-конфигурируемые оптические сети, реализация, производительность, сервис, сетевой устройство.

В статье рассматриваются ключевые особенности реализации различных служб и приложений контроллеров, используемых в программно-конфигурируемых оптических сетях (ПКОС). Описаны задачи, которые решают эти службы. Выявлены преимущества и недостатки различных способов организации работы служб и приложений. Приведены особенности реализаций распределенных контроллеров. Указаны перспективы дальнейших исследований в области ПКОС.

## ANALYSIS OF KEY FEATURES OF CONTROLLERS USED IN SOFTWARE-DEFINED OPTICAL NETWORKS

Moscow Technical University of Communications and Informatics,  
Moscow, Russia

Keywords: controller, technology, software-defined optical networks, implementation, performance, service, network device.

The article discusses the key features of the implementation of various services and controller applications used in software-defined optical networks (SDON). The tasks that these services solve are described. The advantages and disadvantages of various ways of organizing the work of services and applications are revealed. The features of implementations of distributed controllers are given. Prospects for further research in the field of SDON are indicated.

### Введение.

На настоящий момент активно ведутся исследования и разработки в области программно-конфигурируемых оптических сетей (ПКОС). Это связано с тем, что именно такие сети дают возможность не только передавать значительные объемы информации на межконтинентальные расстояния, но и позволяют гибко управлять потоками данных. В совокупности эти два фактора и определяют актуальность дальнейшего развития ПКОС.

Целью работы является определение наиболее значимых параметров контроллеров, которые используются в программно-конфигурируемых оптических сетях. Для достижения указанной цели следует решить ряд взаимосвязанных задач:

- рассмотреть структуру программно-конфигурируемых оптических сетей;
- сформулировать определение понятия «контроллер»;
- провести сравнительный анализ способов реализации служб (сервисов) контроллеров;
- провести сравнительный анализ способов реализации приложений ПКОС;
- рассмотреть основные особенности реализаций распределенных контуров управления (контроллеров);
- определить перспективы дальнейшего развития программно-конфигурируемых оптических сетей.

В работе применяются следующие методы исследования: анализ, сравнительный анализ, сопоставление, обобщение, систематизация.

### Структура ПКОС.

В программно-конфигурируемых оптических сетях выделяют контур управления и контур передачи данных (рисунок 1). Контур передачи данных представляет собой сетевые устройства, которые осуществляют передачу трафика посредством оптического излучения. Параметры оптического сигнала влияют на скорость передачи данных, расстояния между сетевыми устройствами и общую пропускную способность волоконно-оптической системы передачи (ВОСП). Используются когерентные методы приема и передачи информации и технологии OTN, DWDM и IP/MPLS [3-7, 12, 13]. Параметры оптического сигнала определяются программно контуром управления через «южный» интерфейс. Это позволяет как раз достичь той самой гибкости в управлении потоками данных. Контур управления включает в себя контроллер и различные приложения, предоставляющие клиентам ПКОС сетевые сервисы. Ключевым элементом контура управления является контроллер. Важно отметить, что чаще всего взаимодействие по «южному» интерфейсу осуществляется по протоколу TLS через порт 6653, что определено стандартизирующей организацией IANA [1].

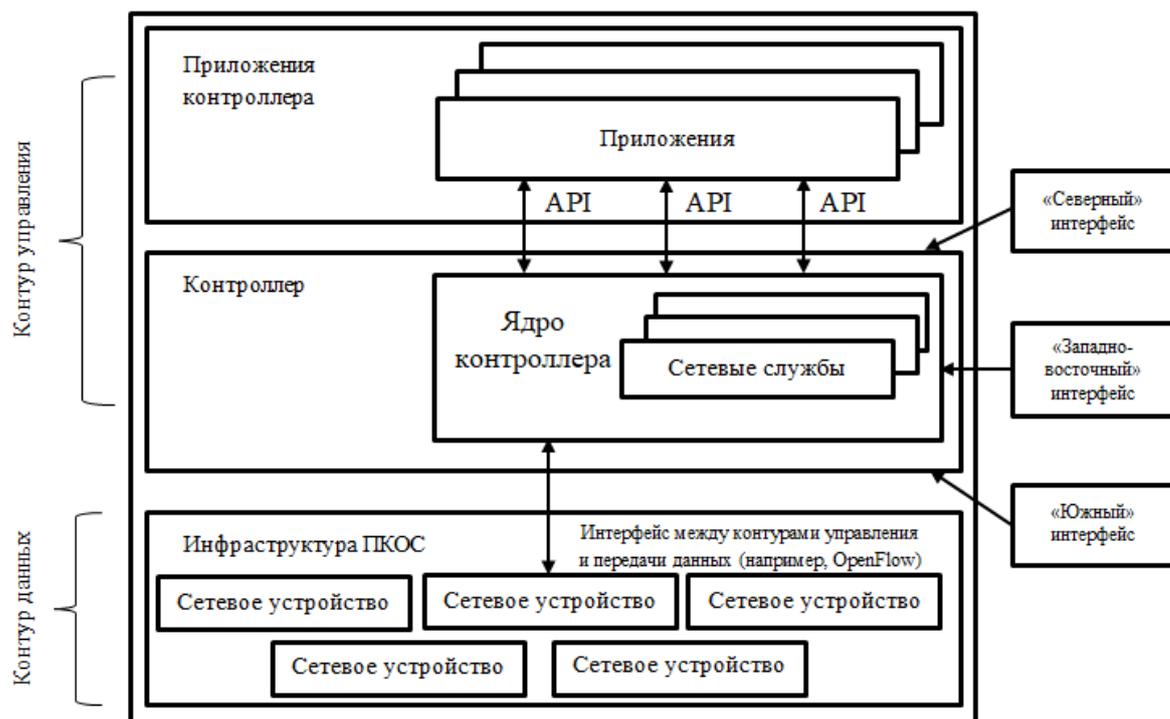


Рисунок 1. Структура программно-конфигурируемой оптической сети

### Контроллер ПКOC и его основные параметры.

Контроллер, а точнее именно установленная на нем сетевая операционная система (СОС), является центральным, основным звеном ПКOC. Он представляет собой программную платформу, работающую на выделенном сервере, COTS (Commercial Off-The-Shelf) или иначе commodity-оборудовании. Применение централизованного управления транспортной сетевой инфраструктурой и потоками данных в ПКOC носит логический характер. Контур управления ПКOC может быть распределенным, состоящим из нескольких контроллеров [1, 2, 6], взаимодействующих через «западно-восточный» интерфейс. Контроллеры, а также их серверы в совокупности образуют программно-аппаратный комплекс контура управления ПКOC. Его иногда именуют платформой управления ПКOC.

Контроллер ПКOC реализует сетевые сервисы (службы) и интерфейс для различных работающих на контроллере приложений. Основные сервисы обеспечивают приложениям возможность работы с сетевыми устройствами. Такие службы устанавливают, поддерживают соединения с сетевыми устройствами, а также обеспечивают распределенную обработку сообщений между потоками в многопоточных контроллерах и обработку очередей сообщений по управлению сетевыми устройствами на приеме и при отправке их в сеть [1-3]. У контроллера ПКOC можно выделить 2 важные характеристики: *службы ядра и производительность.*

Службы контроллера дают возможность выделить в отдельные модули контроллера функционал, который часто используется различными приложениями, что упрощает и ускоряет процесс создания новых приложений. Сервис (служба) контроллера может быть представлен либо в виде отдельного загружаемого модуля, либо являться непосредственно частью ядра контроллера. В первом случае в зависимости от архитектуры контроллера модуль будет подгружаться динамически во время работы ядра контроллера или будет запускаться сразу в составе ядра контроллера.

Приложения контроллера позволяют форматировать некую последовательность правил протокола OpenFlow, которые будут загружены в память сетевых устройств посредством вышеуказанных сообщений для дальнейшего управления потоками данных.

Приложения могут быть модулем ядра контроллера или самостоятельным процессом, который взаимодействует с контроллером через «северный» интерфейс. Если приложение реализовано как модуль ядра, то это дает возможность обеспечить высокую скорость обмена сообщениями с ядром контроллера и другими реализованными в виде модулей ядра приложениями. Если же приложение реализовано отдельным процессом, то оно может быть написано на любом языке программирования, отличном от используемого при разработке контроллера. Стоит учитывать и тот факт, что у разных контроллеров сильно варьируется набор приложений, входящих в состав ядра. Приложения взаимодействуют с контроллером по стандартизированному «северному» интерфейсу для реализации различных сетевых сервисов, таких как «Bandwidth on Demand» [3-7, 12, 13], NAT, DPI, FireWall, а также для маршрутизации, балансировки нагрузки и т.д. [1].

Производительность контроллеров принято измерять числом обрабатываемых событий в единицу времени, которые происходят в ПКОС. К таким событиям относят отключение сетевых устройств или портов, приход на сетевое устройство пакета, для которого нет правил обработки в таблицах [1, 2] и т.д. Важно учитывать, что производительность ядра контроллера очень варьируется в зависимости от выбранного для его разработки языка программирования, используемых библиотек, параметров сервера и самой архитектуры контроллера. Для контроллеров, написанных на языках программирования Python, Java, C/C++, значения рассматриваемой характеристики могут соответственно составлять 10 000 (10К), 100 000 (100К), 1 000 000 (1М) событий в секунду в расчете на одно используемое ядро с частотой 2,4 ГГц [1]. При этом нужно учитывать, что задержка на обработку одного события может составлять от 50 до 300 мкс. Современные контроллеры могут обеспечить значения производительности порядка 10М [1].

### Распределенные контуры управления.

Особый интерес в рамках настоящей работы представляют практические примеры по внедрению технологии ПКОС рядом компаний, рассмотренные в [8-11, 14], т.к. они позволяют выделить общие принципы организации архитектур ПКОС. Важно рассмотреть различные реализации распределенного контура управления (контроллера) с иерархической и одноуровневой архитектурой для выделения их ключевых особенностей. Систематизированные результаты проведенного анализа представлены в таблице 1.

Таблица 1. Распределенные контуры управления (контроллеры, реализующие платформы)

Название контроллера	Страна разработчик	Особенности
<i>Распределенные контуры управления с одноуровневой архитектурой</i>		
ONIX	США	Является первой распределенной платформой управления ПКС (разрабатывался для виртуализации сетей в ЦОД-ах).
ElastiCon	США	Создан на основе OpenDaylight и контроллера Floodlight как экспериментальная реализация распределенного контроллера ПКС.
НАС	Россия	Создан на базе контроллера pox13oflib для корпоративных сетей ПКС/OpenFlow, является экспериментальной реализацией распределенной отказоустойчивой платформы управления.
HyperFlow	Канада	Является распределенным приложением на контроллере NOX.
DISCO	Франция	Разделяет внутридоменные и междоменные функции управления (каждый контроллер управляет своим сегментом программно-конфигурируемой сети).
ONOS	США	Разрабатывался для программно-конфигурируемых сетей операторов (отличается высокой производительностью, разделением сети на сегменты с распределением их между экземплярами контроллера, использует многопоточную обработку сообщений).
RunOS	Россия	Представляет собой распределенную СОС для сетей ПКС/OpenFlow.
<i>Распределенные контуры управления с иерархической архитектурой</i>		
Kandoo	Канада	Является родоначальником такого рода платформ, имеет 2 уровня контроллеров, что снижает нагрузку на главный контроллер.
B4	США	Представляет реализацию такого рода платформ от компании «Google», данные об особенностях видения состояния сети закрыты.

В результате проведенного анализа также было выявлено, что в перспективе в контур управления программно-конфигурируемых оптических сетей может быть интегрирован искусственный интеллект, реализованный на нейронных сетях и машинном

---

обучении [12-14]. Такой симбиоз позволит еще больше увеличить гибкость в управлении потоками данных, повысить безопасность и отказоустойчивость ПКОС.

### **Заключение.**

Таким образом, в результате проведенного анализа ключевых особенностей контроллеров, применяемых в программно-конфигурируемых оптических сетях были решены все поставленные задачи и достигнута цель исследования. Определены основные различия в реализации разного рода служб и приложений контроллеров. Проанализированы перспективы развития программно-конфигурируемых оптических сетей. Показано, что современные контроллеры ПКОС позволяют организовать предоставление современных сервисов клиентам.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. *Антоненко, В.А., Смелянский Р.Л.* Концепции программного управления и виртуализации сетевых сервисов в современных сетях передачи данных: учебное пособие. – М.: КУРС, 2020. – 160 с.
2. *Давыдов К.С., Ухов Г.В., Фатхулин Т.Д.* Анализ ключевых особенностей технологии программно-конфигурируемых сетей (SDN) // «ИНФОКОМ-2019» / Труды Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики, Часть I - Ростов-на-Дону.: ПЦ «Университет» СКФ МТУСИ, 2019. – С. 288-296.
3. *Деарт В.Ю., Фатхулин Т.Д.* Анализ современного состояния транспортных сетей с целью внедрения технологии программно-конфигурируемых сетей (SDN) // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2017. Том 11. №6. - С. 4-9.
4. *Леохин Ю.Л., Фатхулин Т.Д.* Оценка возможности предоставления гарантированной скорости передачи данных в программно-конфигурируемой оптической сети // Вестник РГРТУ. 2020. №71. – С. 45-59.
5. *Фатхулин Т.Д., Пугачева М.А.* Исследование влияния параметров клиентского трафика на возможность предоставления гарантированной скорости передачи данных в ПКОС // «ИНФОКОМ-2020» / Труды Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики - Ростов-на-Дону: ПЦ «Университет» СКФ МТУСИ, 2020. – С. 264-274.
6. *Фатхулин Т.Д., Калатанова Е.С., Копиевский Н.Ю.* Общие проблемы и принципы анализа структур программно-конфигурируемых оптических сетей // «Технологии информационного общества» / Сборник трудов XV Международной отраслевой научно-технической конференции «Технологии информационного общества». (03-04 марта 2021 г. Москва, МТУСИ). М.: ООО «ИД Медиа Паблишер», 2021. - С. 185-187.
7. *Фатхулин Т.Д., Хорикова С.Г., Щитов В.М.* Анализ ключевых особенностей технологии программно-конфигурируемых оптических сетей (SDON) // «ИНФОКОМ-2021» / Труды Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики. – Ростов-на-Дону: ПЦ «Университет» СКФ МТУСИ, 2021. – С. 29-34.
8. *Dixit A., Hao F., Mukherjee S., Lakshman T.V., Kompella R.* Towards an elastic distributed SDN controller // Proceedings of the second ACM SIGCOMM workshop on Hot topics in software defined networking, 2013. – pp. 7-12.
9. *Hassas Yeganeh S., Ganjali Y. Kandoo: A Framework for Efficient and Scalable Offloading of Control Applications* // Proceedings of the First Workshop on Hot Topics in Software Defined Networks, 2012. – pp. 19-24.
10. *Jain S. and others.* B4: Experience with a Globally-Deployed Software Defined WAN // Proceedings of the ACM SIGCOMM 2013 Conference on SIGCOMM, 2013. – pp. 3-14.

- 
11. Koponen T., Casado M., Gude N., Stribling J., Poutievski L., Zhu M., Ramanathan R., Iwata Y., Inoue H., Hama T., Shenker S. Onix: A Distributed Control Platform for Large-Scale Production Networks // In OSDI, 2010. - Vol. 10. – pp. 1-6.
  12. Leokhin Yu., Fatkhulin T., Approach to Estimating the Probability of Providing "Cloud" Services in the SDN // Proceeding of 2020 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications. – 2020. Russian, 19-20 March 2020, - pp. 1-9, DOI: 10.1109/IEEECONF48371.2020.9078593.
  13. Leokhin Yu., Fatkhulin T., Evaluation of Service Availability in Software-Defined Optical Network // Proceeding of 2021 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications. – 2021. Russian, 16-18 March 2021, pp. 1-6, DOI: 10.1109/IEEECONF51389.2021.9416122.
  14. RunOS [Электронный ресурс]: // Основные характеристики RunOS. – Режим доступа: <https://github.com/ARCCN/runos>, свободный. – Загл. с экрана. (дата обращения 17.10.2022).

**Т.Д. Фатхулин, Е.И. Шацкий**

## **АНАЛИЗ ПРОГРАММНЫХ ПРОДУКТОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ КРОССПЛАТФОРМЕННЫХ КЛИЕНТ-СЕРВЕРНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ**

Ордена Трудового Красного Знамени федеральное государственное  
Бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Московский технический университет связи и информатики»,  
Москва, Россия

Ключевые слова: технология, операционная система, кроссплатформенная разработка, клиент-сервер, нативная разработка, приложение, Flutter, React Native, Qt.

В данной статье рассмотрены такие инструменты разработки кроссплатформенных приложений, как Flutter, React Native и Qt. Представлено их краткое описание, проведен сравнительный анализ, а также выделены особенности, основные преимущества и недостатки. В заключении приведены систематизированные данные по указанным инструментам, позволяющие для конкретных задач выбрать необходимый программный продукт.

**T.D. Fatkhulin, E.I. Shatsky**

## **ANALYSIS OF SOFTWARE PRODUCTS USED FOR THE DEVELOPMENT OF CROSS-PLATFORM CLIENT-SERVER APPLICATIONS**

Moscow Technical University of Communications and Informatics,  
Moscow, Russia

Keywords: technology, operating system, cross-platform development, client-server, native development, application, Flutter, React Native, Qt.

This article discusses tools for cross-platform developments such as Flutter, React Native and Qt. Their brief description is presented, a comparative analysis is carried out, their features, main advantages and disadvantages are highlighted. In conclusion, systematized data on these tools are given, which allow choosing the necessary software product for specific tasks

---

## **Введение.**

В современном технологически развитом обществе вопросы коммуникации и обмена информацией между людьми стоят особенно актуально [1]. Стремительное увеличение числа пользователей компьютеров, смартфонов и других гаджетов оказывает непосредственное влияние на рынок программного обеспечения (ПО). Высокая конкуренция и быстрая смена тенденций вынуждает компании досконально анализировать предпочтения клиентов и, в соответствии с ними, разрабатывать свой продукт. Скорость разработки, качество и доступность программного обеспечения являются одними из наиболее важных аспектов для успешного выхода на рынок и широкого охвата целевой аудитории [2], поэтому вопрос выбора технологий разработки программного обеспечения стоит особо актуально.

Целью данной статьи является анализ основных используемых технологий программирования для разработки кроссплатформенных клиент-серверных приложений. Для осуществления поставленной цели требуется решить следующие задачи: проанализировать основные технологии кроссплатформенной разработки, определить их преимущества и недостатки, сравнить наиболее популярные решения. В работе будут рассмотрены технологии разработки кроссплатформенных клиент-серверных приложений посредством фреймворков. Методологическую основу статьи составляют методы теоретического анализа, сравнительный и описательный методы, а также метод обобщения.

## **Основные понятия и определения.**

Перед тем как приступить к анализу основных технологий, применяемых для разработки кроссплатформенных клиент-серверных приложений, необходимо прежде всего определить, что является клиент-серверным приложением. Приложение, базирующееся на архитектуре «клиент-сервер», включающее в себя как минимум процесс клиента и процесс сервера, которые в свою очередь взаимодействуют между собой с использованием вычислительных сетей посредством сетевых протоколов, называется клиент-серверным [3]. Основная логика работы такого приложения строится следующим образом: со стороны клиента инициируется запрос на получение или модификацию данных, а сервер ожидает этот запрос и при необходимости, предоставляет свои вычислительные ресурсы для его выполнения.

Такая архитектура может быть реализована на подавляющем большинстве современных языков программирования. Существует два основных подхода к разработке программного продукта — это нативный (от лат. *nativus* — врождённый) и кроссплатформенный (гибридный). Нативный подход подразумевает под собой использование родных инструментов разработки и максимальное задействование функциональных возможностей аппаратной и программной платформы для разработки приложений конкретно под нее. Недостатками такого подхода является высокая стоимость разработки, так как под каждую операционную систему (ОС) необходимо написать и протестировать обособленное приложение, а для этого требуется увеличить штат разработчиков и других специалистов. Кроссплатформенная разработка обеспечивается благодаря использованию высокоуровневых языков программирования, сред разработки и выполнения, поддерживающих условную компиляцию, компоновку и выполнение кода для различных аппаратных платформ. Примером кроссплатформенного приложения служит программный продукт, который работает на операционных системах Android и Windows одновременно [4]. Проведем анализ технологий разработки кроссплатформенных приложений и выделим их основные преимущества и недостатки. Рассмотрены будут следующие технологии разработки ПО: фреймворки Flutter, React Native и Qt.

## **Разработка кроссплатформенного ПО с помощью фреймворка Flutter**

*Flutter* — это фреймворк от компании Google с открытым исходным кодом, позволяющий создавать кросс-платформенные приложения, которые одинаково работают

на Android и iOS, при этом обеспечивая производительность, идентичную нативным [5]. Кроме того, с его помощью можно создавать web и desktop-приложения, последние под управлением ОС Windows, Linux и macOS.

Flutter представляет собой многослойную систему с возможностью расширения (рисунок 1). По сути, это последовательность независимых библиотек, каждая из которых связана со слоем под ней. Отдельная составляющая на уровне фреймворка заменяема. Слои располагаются снизу вверх от высокоуровневых к низкоуровневым в следующем порядке:

1. Основные сервисы и классы: анимации, жесты и отрисовка.
2. Слой рендеринга: средства для вёрстки и построения каталога объектов рендеринга.
3. Слой виджетов реализует модель реактивного программирования. Каждому классу в слое виджетов соответствует отрисовываемый объект в слое рендеринга. Помимо этого, слой виджетов позволяет задавать комбинации переиспользуемых классов.
4. Фундамент: то, на чем основан сам фреймворк. Функции, определенные в данной библиотеке, представляют собой служебные классы и функции самого низкого уровня [6].

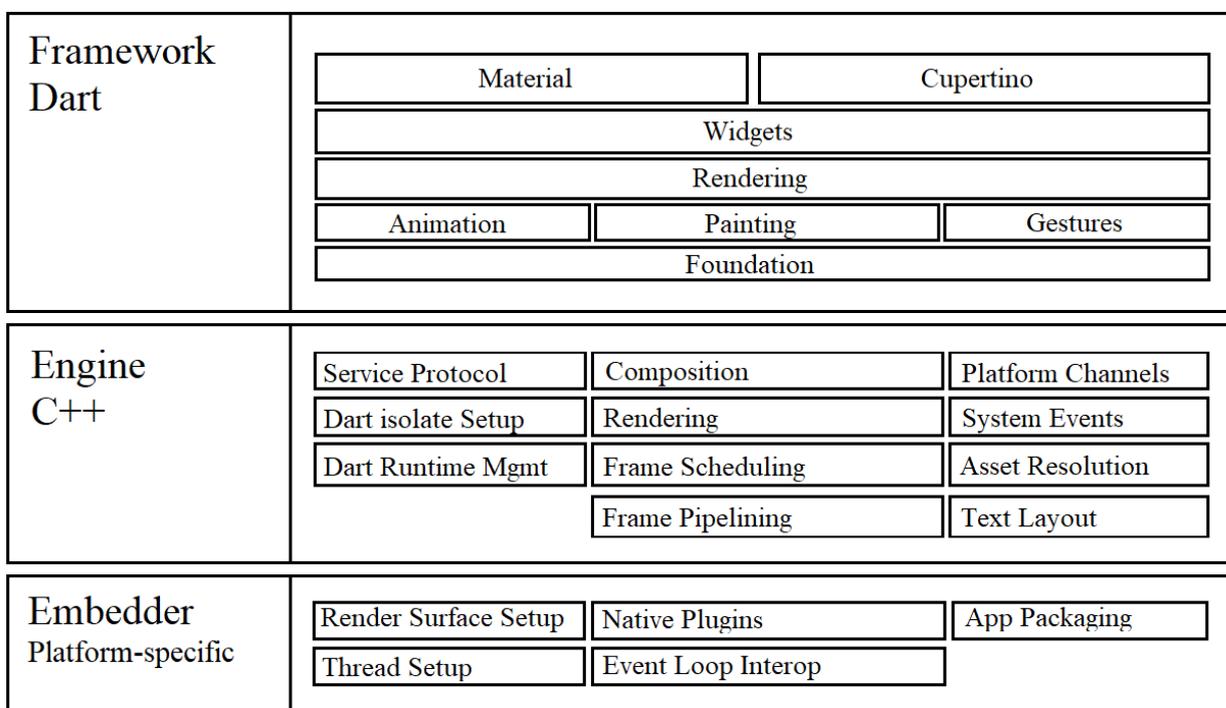


Рисунок 1. Структура Flutter

Библиотеки Cupertino и Material предоставляют возможность оперировать специфическими наборами виджетов, которые реализуют стиль Android и IOS соответственно. Разработка программного продукта на Flutter ведется с использованием объектно-ориентированного языка программирования Dart и выстраивается вокруг концепции виджетов, каждый из которых выполняет определенный набор функций. Разработчик, комбинируя их, выстраивает необходимый ему пользовательский интерфейс приложения. Затем объект рендерится на графическом движке Skia, написанном на C/C++, а потом поступает команде центральному процессору (ЦП) и графическому процессору отрисовать объект на устройстве [6].

Одно из отличий Flutter от других фреймворков, таких как React Native, заключается в том, что когда поступает запрос, чтобы Flutter отрисовал кнопку, он это делает самостоятельно, в то время как React Native обращаются к операционной системе для этого. Ещё одно важное отличие состоит в том, что гибкость управления компонентами

пользовательского интерфейса позволяет легко добавлять новые, не задаваясь вопросом, поддерживает ли их операционная система или нет. Основные преимущества и недостатки представлены ниже. Преимущества фреймворка Flutter:

- функция hot reload (горячая перезагрузка) позволяет не перезапускать приложение для того, чтобы увидеть, внесенные изменения;
- подробная техническая документация;
- ядро написано на C++;
- использует собственный высокопроизводительный графический движок Skia.

Недостатки фреймворка Flutter:

- большой по сравнению с другими фреймворками размер итогового приложения, так как добавляется виртуальная машина Dart;
- маленькое сообщество разработчиков относительно конкурентов.

### Разработка кроссплатформенного ПО с помощью фреймворка React Native.

*React Native* – фреймворк с открытым исходным кодом, поддерживаемый компанией Meta (бывший Facebook), который предоставляет возможность разрабатывать кроссплатформенное программное обеспечение с использованием языка программирования JavaScript для описания пользовательского интерфейса и логики работы приложения. Рассмотрим архитектуру (рисунок 2) и особенности работы React Native. Нативная реализация первого слоя, с использованием Java для ОС Android и Objective-C для IOS, состоит в основном из модулей, которые взаимодействуют напрямую с SDK (Software Development Kit) каждой операционной системы и предполагают реализацию некоторых нативных функций. Мост (Bridge), соединяющий две среды выполнения - нативную и React Native, выполняет функцию передачи сообщений между ними. Над этим слоем используется JavaScript, который предоставляет унифицированный API для React Native, а еще выше располагается основная логика приложения [7].

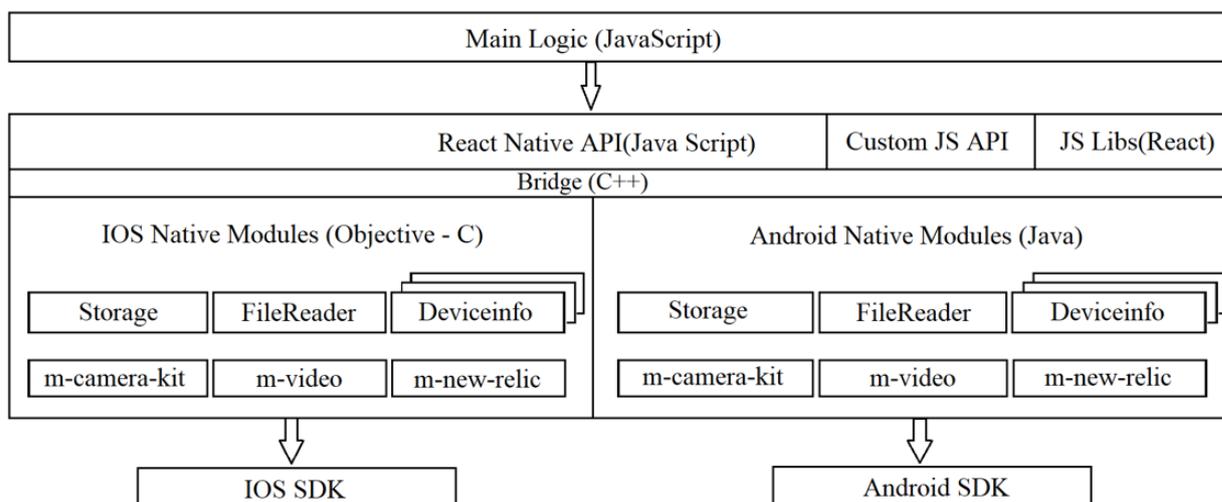


Рисунок 2. Архитектура React Native

Важное отличие фреймворка React Native от других инструментов создания кроссплатформенных приложений заключается в использовании моста, который связывает нативную и JavaScript стороны (рисунок 3). Основной поток запускается в каждом нативном приложении, он обрабатывает отображение элементов пользовательского интерфейса, а также жесты пользователя (картинки, анимации, кнопки, текст и др.). На другой стороне располагается JavaScript, который выполняется в одном потоке внутри ядра JavaScript core, которое является движком фреймворка. Мост осуществляет передачу JSON (Java Script object Notation) сообщений с инструкциями, которые переходят от одной стороны к другой. Он позволяет потокам общаться наилучшим оптимизированным

---

способом, кроме того, регулирует поступление запросов и входящих данных от каждого из потоков. Такой подход позволяет им общаться асинхронно, не опасаясь взаимной блокировки потоков.

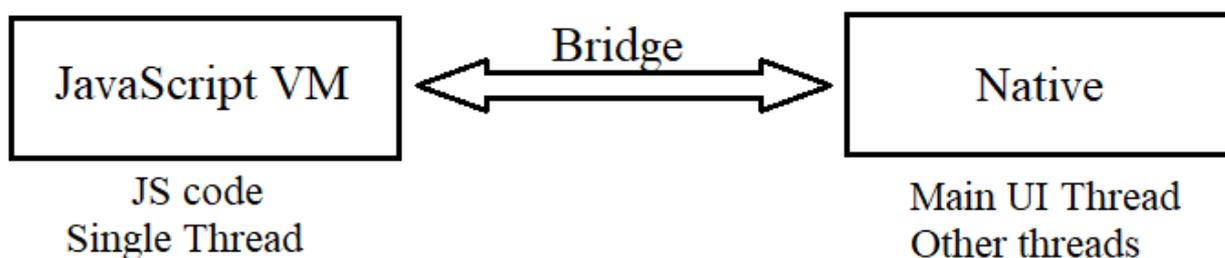


Рисунок 3. React Native Bridge

Основные преимущества и недостатки React Native представлены ниже.

Преимущества фреймворка React Native:

- функция hot reload (горячая перезагрузка) обновление JS-кода без перезапуска приложения;
- хорошая техническая документация;
- популярность языка программирования JavaScript.

Недостатки фреймворка React Native:

- присутствует мост, снижающий скорость работы с платформенной функциональностью и UI;
- проблемы с лицензированием и патентами, так в 2017 году Facebook обновила лицензионную политику для своих проектов с открытым исходным кодом, в нем говорится, что доступ пользователя может быть заблокирован Facebook, если на продукт, созданный с помощью их проектов с открытым исходным кодом, будет выдан патент.

### **Разработка кроссплатформенного ПО с помощью фреймворка Qt.**

Из всех сравниваемых кроссплатформенных технологий разработки программного обеспечения самой старой является фреймворк *Qt*. Его можно портировать в те операционные системы, которые поддерживают API для языка программирования C++, например, Android, IOS, а также Linux, Windows и macOS.

Данный фреймворк, структура которого представлена на рисунке 4, содержит набор необходимых для разработчика библиотек, таких как Qt Core, Qt GUI и других. Qt GUI отвечает за отрисовку графического интерфейса и является основной библиотекой для всей графики, а Qt Core содержит основные инструменты для разработки (классы, многопоточность, ввод-вывод, в общем все, что не связано с графикой). Что касается инструментов разработки (Development Tools), то они в основном сосредоточены вокруг IDE QtCreator, но также есть интеграция с другими IDE, например, Visual Studio [8].

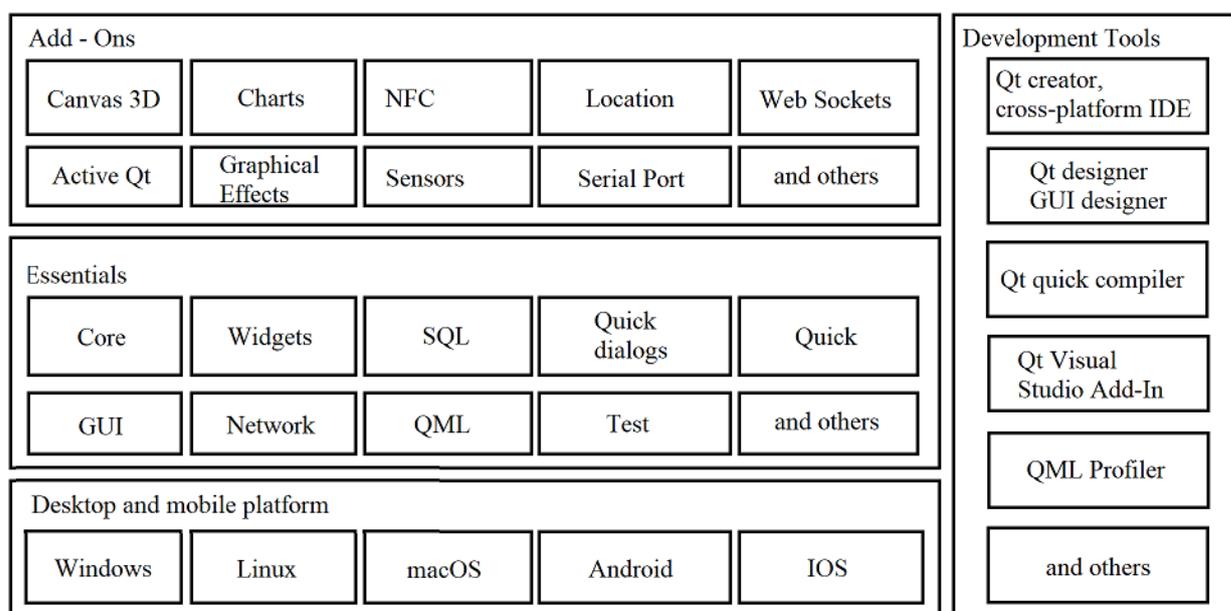


Рисунок 4. Структура Qt

Формы с использованием классов Qt могут создаваться вручную или с использованием специального пакета QtDesigner. При создании форм вручную программист кодирует текст программы, включая по мере необходимости вызовы объектов классов Qt. При использовании QtDesigner программист графически компоует внешний вид и связи сигналов и слотов формы, а компилятор интерфейса UI формирует из полученного описания формы код на языке C++ (язык программирования), обеспечивающий создание этой формы. Библиотека включает в себя:

- среду для разработки графического интерфейса (QtDesigner);
- компилятор мета-объектов (МОК);
- набор классов для работы (Qt Core, Qt GUI и др).

Компиляция и сборка программы осуществляется компилятором C++ (язык программирования) и компоновщиком, доступными в рамках платформы, где осуществляется сборка. Основные преимущества и недостатки Qt представлены ниже [9].

Преимущества фреймворка Qt:

- собственная эффективная система отрисовки пользовательского интерфейса либо на базе растрового движка (например, CoreGraphics в iOS), либо на базе Open GL (ES);
- высокая производительность кода, написанного на C++;
- обширная техническая документация.

Недостатки фреймворка Qt:

- дорогая коммерческая лицензия по сравнению с конкурентами;
- порог вхождения выше, чем у конкурентов из-за сложности языка программирования C++.

### **Сравнительный анализ рассматриваемых средств разработки ПО.**

Проведенный анализ показал, что каждая из рассмотренных технологий имеет свои функциональные особенности, а также преимущества и недостатки. Для обобщения, систематизируем основные аспекты каждого фреймворка (таблица 1).

Таблица 1. Сравнение кроссплатформенных фреймворков

	<b>Flutter</b>	<b>React Native</b>	<b>Qt</b>
<i>Год представления</i>	2017	2015	1995
<i>Основной вендор</i>	Google	Meta, бывш. Facebook	Qt Group
<i>Язык программирования</i>	Dart	JavaScript	C++, возможно использование: Python, Ruby, Java, PHP
<i>Способ взаимодействия инструмента с платформой</i>	Собственный графический движок Skia	Обращение через JS к Bridge	CoreGraphics, Open GL (ES).
<i>Встроенный hot reload</i>	Есть	Есть	Отсутствует
<i>Особенности</i>	Все построено на концепции виджетов	Bridge (мост)	Сигналы и слоты используются для коммуникации между объектами
<i>Текущая Популярность</i>	<p>Высокая:  <b>Показатели github:</b>                      -repositories 432k                      -code 36m                      -commits 2m  <b>Показатели hh.ru</b>                      -214 вакансий по России на 09.10.2022  <b>Показатели Яндекс вордстат:</b>                      -203 517 запросов в месяц на 09.10.2022</p>	<p>Высокая:  <b>Показатели github:</b>                      -repositories 319k                      -code 26m                      -commits 930k  <b>Показатели hh.ru</b>                      -258 вакансий по России на 09.10.2022  <b>Показатели Яндекс вордстат:</b>                      -34 848 запросов в месяц на 09.10.2022</p>	<p>Высокая:  <b>Показатели github:</b>                      -repositories 97k                      -code 56m                      -commits 21m  <b>Показатели hh.ru</b>                      -447 вакансий по России на 09.10.2022  <b>Показатели Яндекс вордстат:</b>                      -99 717 запросов в месяц на 09.10.2022</p>
<i>Реализованные проекты</i>	Alibaba Group, BMW, Google Pay	Facebook, Instagram, Pinterest	Telegram, Skype, Virtual Box

При проведении сравнительного анализа рассматриваемых фреймворков также учитывался факт текущей популярности, который базировался на данных таких авторитетных компаний как GitHub, hh.ru и Яндекс

### **Заключение.**

Таким образом, проанализировав и сравнив основные технологии разработки кроссплатформенных клиент-серверных приложений, важно отметить, что все они используются в крупных IT-компаниях для создания программных продуктов. Критерии выбора того или иного инструмента зависят от требований к приложению, таких как масштабируемость, скорость выхода на рынок, бюджета и других.

Стоит отметить, что важную роль имеет штат сотрудников, например, если подавляющее большинство разработчиков в компании владеют языком программирования JavaScript, то имеет смысл выбрать для разработки React Native, так как им будет легче адаптироваться к данной среде разработки и в срок выполнить поставленные задачи.

Если стоит задача в короткие сроки разработать небольшое приложение, то для этой цели объективным будет выбор Flutter, так как он достаточно прост в изучении по сравнению с конкурентными технологиями.

В свою очередь Qt подойдет для масштабных проектов с долгосрочной поддержкой и высокими требованиями, касающимися производительности.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. *Жаббаров И.Ш., Фатхулин Т.Д.* Обоснование выбора системы виртуализации, предоставляющей необходимый функционал для предприятия заданного уровня // «ИНФОКОМ-2019» / Труды Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики, Часть I - Ростов-на-Дону.: ПЦ «Университет» СКФ МТУСИ, 2019. – С. 241-249.
2. *Фатхулин Т.Д., Куликова А.А.* Анализ функциональных возможностей современных мессенджеров // REDS: Телекоммуникационные устройства и системы. – 2022, №3, с. 50-55.
3. Клиент – сервер [Электронный ресурс] // Сайт википедия – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Клиент\\_—\\_сервер#Сравнение\\_с\\_peer-to-peer\\_архитектурой](https://ru.wikipedia.org/wiki/Клиент_—_сервер#Сравнение_с_peer-to-peer_архитектурой), свободный. Загл, с экрана (дата обращения 08.10.2022)
4. Кроссплатформенность [Электронный ресурс] // Сайт википедия – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Кроссплатформенность>, свободный. Загл, с экрана (дата обращения 09.10.2022)
5. Flutter на практике: Прокачиваем навыки мобильной разработки с помощью открытого фреймворка от Google / пер. с англ. А. С. Тищенко. – М.: ДМК Пресс, 2020. – 328 с.: ил.
6. Документация Flutter [Электронный ресурс] // Сайт фреймворка – Режим доступа: <https://docs.flutter.dev/resources/architectural-overview>, свободный. Загл, с экрана (дата обращения 13.10.2022)
7. Watch: Deep Dive Into React Native [Электронный ресурс] // Сайт wix – Режим доступа: <https://medium.com/wix-engineering/watch-deep-dive-into-react-native-cfaf875e783f>, свободный. Загл, с экрана дата обращения (11.10.2022)
8. СppCon 2017: Ларс Нолл «Qt как платформа C ++: история, настоящее и будущее» [Электронный ресурс] // Сайт youtube – Режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=YWiAUUblD34>, свободный. Загл, с экрана (дата обращения 11.10.2022)
9. Qt [Электронный ресурс] // Сайт Национальной библиотеки им. Н. Э. Баумана – Режим доступа: [https://ru.bmstu.wiki/Qt\\_\(программного\\_обеспечения\)](https://ru.bmstu.wiki/Qt_(программного_обеспечения)), свободный. Загл, с экрана (дата обращения 11.10.2022)

## АНАЛИЗ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МЕТОДОВ ГЕНЕРАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЯ ПО ТЕКСТОВОМУ ЗАПРОСУ

Ордена Трудового Красного Знамени федеральное государственное  
Бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Московский технический университет связи и информатики»,  
Москва, Россия

Ключевые слова: метод, запрос, генерация изображений, нейронная сеть, анализ.

В статье рассмотрены основные методы генерации изображений по текстовому запросу с помощью использования нейронных сетей. Приведены примеры работы представленных методов. Выделены преимущества и недостатки каждого из этих методов. В заключении сделаны выводы о применимости того или иного метода.

A.O. Mitrofanov, M.N. Stepanov, T.D. Fatkhulin

## ANALYSIS OF NEURAL NETWORK METHODS FOR IMAGE GENERATION ON A TEXT REQUEST

Moscow Technical University of Communications and Informatics,  
Moscow, Russia

Keywords: method, request, image generation, neural network, analysis.

The article discusses the main methods for generating images on a text request using neural networks. Examples of the work of the presented methods are given. The advantages and disadvantages of each of these methods are highlighted. In conclusion, results are shown about the applicability of a particular method.

### **Введение.**

Глобальное развитие вычислительных машин, интенсивное накопление методов проектирования и программирования, ставшее возможным с распространением информационно-коммуникационной сети и, как следствие, доступность информации, позволили приступить к эффективному осуществлению ранее разработанных математических моделей, в том числе нейронных сетей – математической модели, созданной на принципе функционирования и организации биологических нейронных сетей ставшей одной из ветвей развития машинного обучения. Доступность модели и средств программирования привели к скорому появлению множества решений нетривиальных задач на базе обучаемого алгоритма. Одним из них стало создание изображений на основе текстового запроса. Использование подобных решений предоставляет множество преимуществ как рядовому потребителю, так и крупным компаниям.

Цель работы — проанализировать методы генерации изображений на основе текстовых запросов. Достижение данной цели обеспечивается путем решения следующих задач: рассмотрение проектов, основанных на разных методах генерации изображений, определение их достоинств и недостатков. Методологической основой статьи являются описательный метод, методы теоретического анализа, а также метод обобщения.

### **Методы генерации изображения.**

В настоящий момент, с развитием методов машинного обучения, получили распространение мультимодальные нейронные сети, а основными представителями стали такие проекты как DALL-E [1] и Midjourney [2] — нейросети для создания изображения по

---

текстовому запросу. Мультимодальность этих сетей заключается в том, что они сочетают текстовую и визуальную информацию, благодаря чему сеть может обрабатывать и интерпретировать происходящие на изображении события, учитывая положение объектов в пространстве и контекст всего изображения [3].

Есть несколько реализаций нейросетей для непосредственной генерации. Более ранние, генеративно-состязательные сети (GAN), и, распространившиеся к настоящему времени, диффузионные.

Генеративно-состязательная сеть — построенный на комбинации двух нейросетей алгоритм машинного обучения без учителя. В этой паре одна нейросеть генерирует изображения (генеративная модель), а вторая отбраковывает (дискриминативная модель). Такие сети давали результат, в котором больший упор делался на точность и разнообразие всего изображения целиком, а не на отдельные компоненты или объекты на изображении. Закономерным преимуществом использования такого подхода является взаимообучение обеих составляющих в процессе работы. Рассмотрим общие недостатки использования генеративно-состязательных сетей.

Во-первых, если дискриминатор превосходит генератор, то обучение второго может дать сбой из-за исчезающих градиентов, т.е. к затруднению обучения нейросети. В этом случае дискриминатор тормозит обучение генератора [4].

Во-вторых, если генератор превосходит дискриминатор, он может найти наиболее правдоподобный вывод. Единственным решением для дискриминатора будет научиться отклонять эти данные, но, получая одни и те же выводы, он может застрять в следующей итерации наиболее правдоподобных результатов генератора [4].

В-третьих, для GAN равносильность генератора и дискриминатора является скорее мимолётным, а не стабильным состоянием [5].

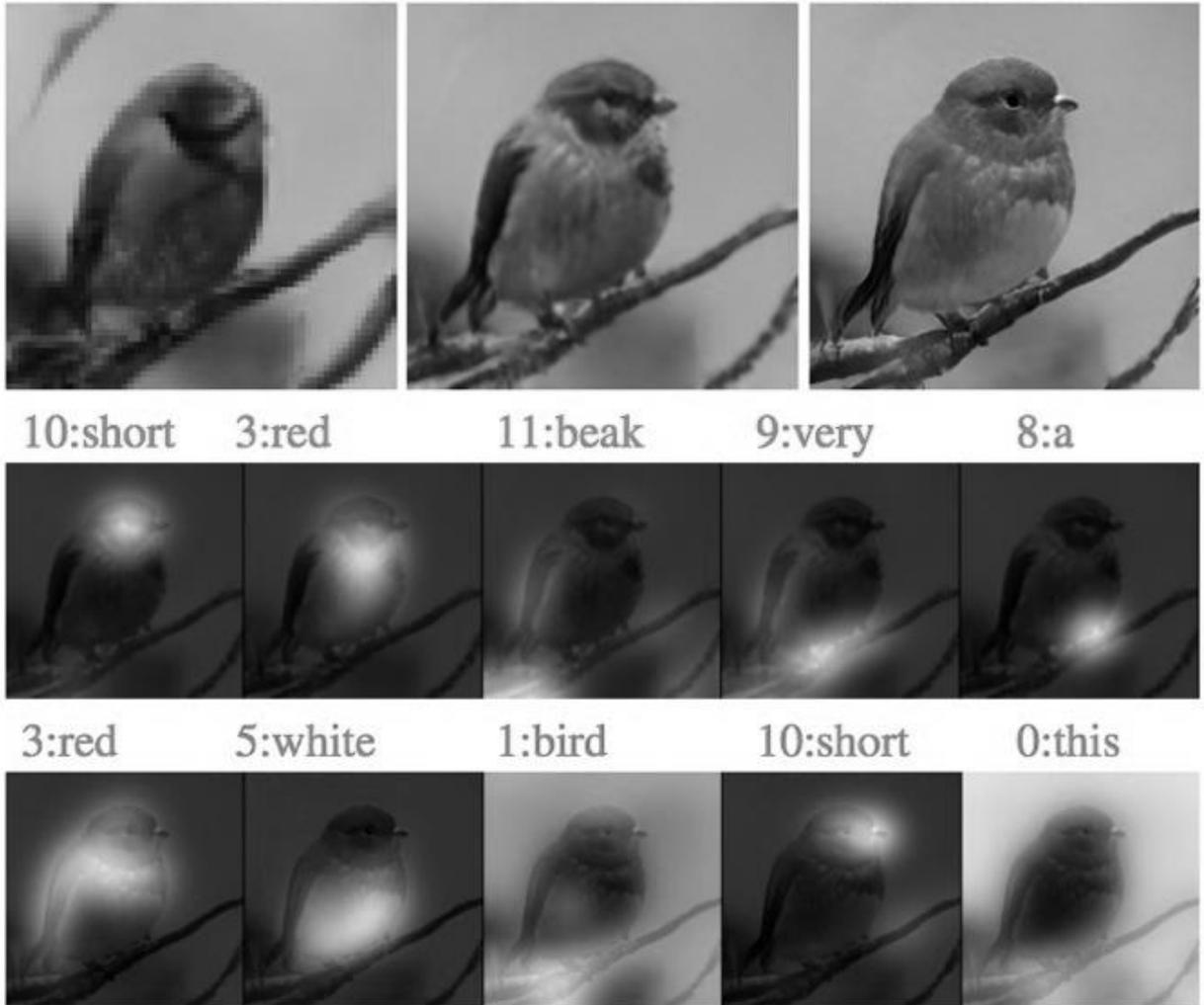
Одной из множества реализаций генеративно-состязательных сетей является AttnGAN [6]. Данная сеть состоит из двух компонентов: первый компонент — это сеть генерации внимания, в которой механизм внимания выделяет для генератора наиболее релевантные для слов запроса регионы изображения. Благодаря проработке каждого отдельного региона внимания в соответствии со связанным с этим регионом словом запроса, данная сеть выдает результат, который превосходит по точности и проработке другие генеративно-состязательные сети, но проигрывает более современным сетям на основе диффузионного метода.

Далее будут приведены результаты работы сети AttnGAN в которых сеть отработала корректно, и в которых сеть отработала с ошибками. На рисунке 1 представлен результат сети по запросу “красно-белая птица с очень коротким клювом” [6]. С этим запросом сеть выдала отличный результат, изображение четкое и полностью соответствует запросу. На рисунке 1 также видно работу компонента генерации внимания.

На рисунке 2 представлен результат работы сети AttnGAN по запросу “фруктовый стенд с бананами и киви” [6]. Изображение по этому запросу уже получилось более размытое и абстрактное, на нем с трудом различаются детали, бананы имеют неправильную форму.

Диффузионная сеть — нейронная сеть, которая обучается на обработанных определенным образом обучающих данных [7]. Обучающие данные для диффузионной модели постепенно искажают гауссовским шумом, стирая все больше и больше деталей до момента, когда изображение станет неразличимым. Затем сеть обучается восстанавливать утраченные детали. DALL-E 2, Midjourney, Stable Diffusion и Imagen являются примерами моделей, использующих диффузионную нейронную сеть для генерации изображений.

this bird is red with white and has a very short beak



Рисунки 1. Пример работы сети AttnGAN, в которой сеть показала качественный результат

Преимуществом диффузионной сети является стабильность обучения и высокие результаты при создании графики [8]. Необходимо отметить недостатки диффузионной сети.

Во-первых, это требовательность к доступному месту — при работе с большим количеством данных могут возникнуть ошибки нехватки памяти [9].

Во-вторых, открытой проблемой всё ещё остаётся поиск точных метрик для оценки результата [10].

Самой известной не только среди ученых, но и в обществе в целом, стала диффузионная сеть DALL-E 2. Увеличение набора данных с помощью подписанных изображений в сети Интернет поспособствовало приросту в качестве и проработке результатов сети. Эти данные об изображениях и связанных с ними подписях использовались для обучения нейронной сети CLIP [11], отвечающей за связь текста на естественном языке и его визуальной интерпретацией в пространстве представления. Для самой генерации изображения в DALL-E 2 используется модифицированная версия другой модели — GLIDE [12]. GLIDE обучается инвертировать процесс кодирования изображения для стохастического декодирования связи текста и изображения, полученные от сети CLIP. GLIDE расширяет основной концепт диффузионной модели путем добавления в тренировочный процесс дополнительной текстовой информации.

## a fruit stand display with bananas and kiwi

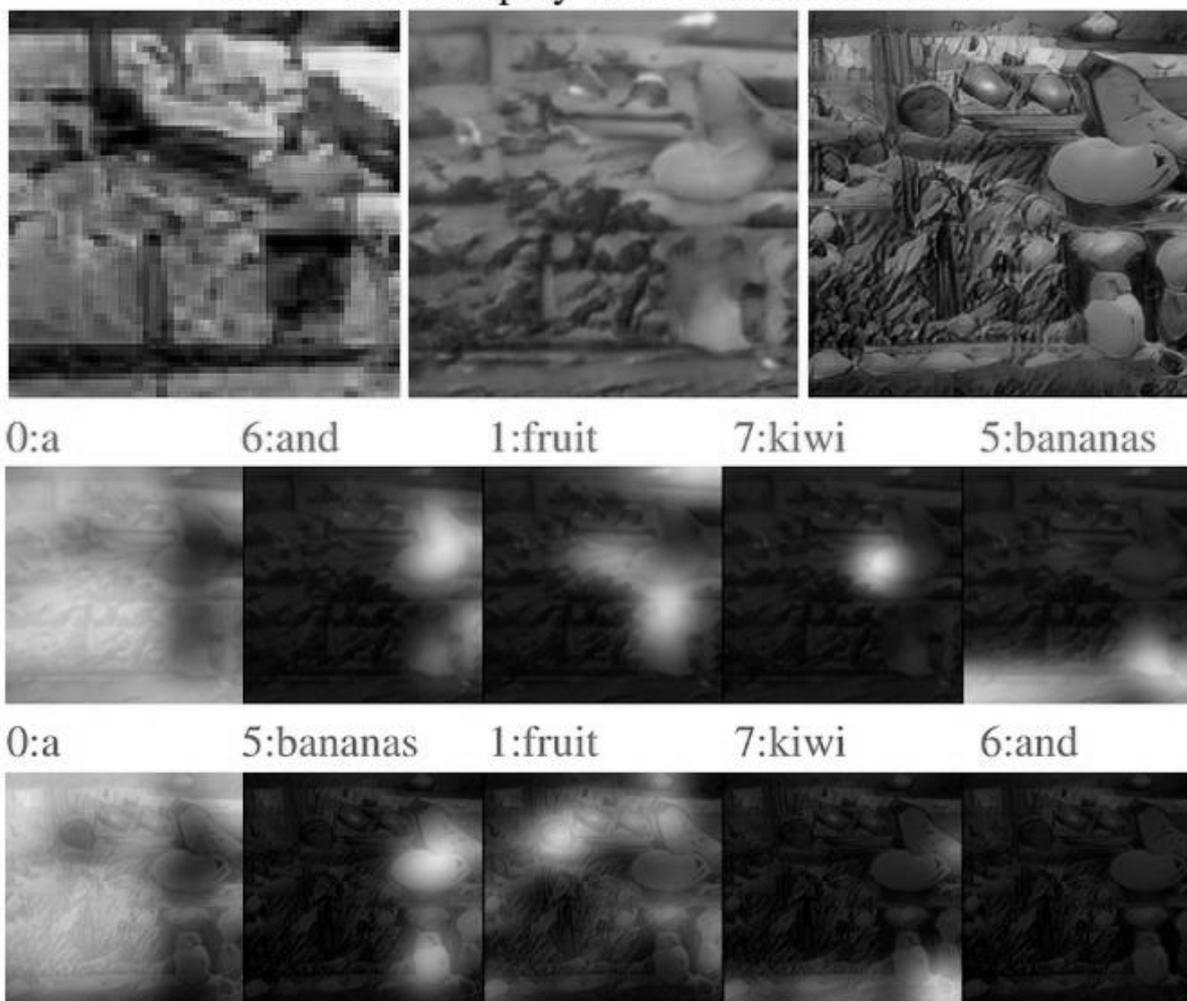


Рисунок 2. Примеры работы сети AttnGAN, в которой сеть показала некачественный результат

Такая взаимосвязь сетей CLIP и GLIDE, одна из которых отвечает за интерпретацию естественного языка, а вторая генерирует на этой основе изображение, позволяет делать очень точно соответствующие запросам изображения и при этом иметь возможность повышать размер итогового изображения до 1024 на 1024 пикселя.

Демонстрацию результата работы DALL-E 2 по запросу “красный баскетбольный мяч с цветами на нем, стоит спереди синего баскетбольного мяча с похожим узором” можно пронаблюдать на рисунке 3 [13]. Нейросеть показывает фотореалистичные результаты, но необходимо отметить, что большая часть представленных вариантов не в полной мере удовлетворяет указанному запросу. Наиболее соответствующий запросу результат располагается во второй строке, пятым по порядку.

Также упоминания заслуживает автоэнкодер VAE, состоящий из двух нейросетей: энкодера, кодирующего изображения, и декодера, восстанавливающего исходное изображение из полученного энкодером представления. Цель автоэнкодера — нахождение способа кодирования изображения в сжатую форму таким образом, чтобы прошедший через декодер результат был как можно ближе к оригиналу. В случае же VAE, энкодер не передаёт данные напрямую к декодеру. VAE использует полученные энкодером данные для расчёта стандартных отклонений и средних значений, а вход декодера собирается из соответствующего нормального распределения [14].

---

Caption: a red basketball with flowers on it, in front of blue one with a similar pattern

Images:



Рисунок 3. Результат работы DALL-E 2

Преимуществом использования VAE является возможность отбросить кодировщик после завершения обучения модели [15]. Главной же проблемой использования VAE для работы с запросами будет низкое генеративное качество [16].

#### **Заключение.**

Таким образом, проанализировав основные виды нейросетевых методов генерации изображения, было выявлено, что генеративно-сопоставительные сети при возможности самообучения крайне нестабильны в обучении. Дискриминатор и генератор, состязаясь между собой, способны вывести систему из состояния равновесия, подавив способность соперника к дальнейшему обучению. При этом получившие наибольшее распространение в данный момент времени диффузионные сети достаточно стабильны. Тем не менее, во-первых, при работе с большими данными растёт опасность возникновения ошибки в обучении, связанной с нехваткой памяти, а во-вторых, для них не установлены лучшие метрики оценки результата. Оба же метода способны показывать высокие результаты в создании графических данных. В случае же использования вариационного автоэнкодера будет наблюдаться низкое генеративное качество, но по завершении обучения модели появляется возможность отбросить часть, ответственную за кодирование изображения.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Zero-Shot Text-to-Image Generation [Электронный ресурс]: / *Aditya Ramesh, Mikhail Pavlov, Gabriel Goh, Scott Gray, Chelsea Voss, Alec Radford, Mark Chen, Ilya Sutskever* // arXiv, 2021. – Режим доступа: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2102.12092>, свободный. – Загл. с экрана. (дата обращения 12.10.2022).
2. Midjourney [Электронный ресурс]: // Midjourney. – Режим доступа: <https://www.midjourney.com/home/>, свободный. – Загл. с экрана. (дата обращения 12.10.2022).
3. Мультимодальные нейронные сети [Электронный ресурс]: // Статья, размещённая на Интернет-ресурсе Хабр. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/650881/>, свободный. – Загл. с экрана. (дата обращения 12.10.2022).
4. Common Problems [Электронный ресурс]: // Google Developers. – Режим доступа: <https://developers.google.com/machine-learning/gan/problems?hl=en>, свободный. – Загл. с экрана. (дата обращения 13.10.2022).

- 
5. GAN Training [Электронный ресурс]: // Google Developers. – Режим доступа: <https://developers.google.com/machine-learning/gan/training?hl=en>, свободный. – Загл. с экрана. (дата обращения 13.10.2022).
  6. *Tao Xu, Pengchuan Zhang, Qiujuan Huang, Han Zhang, Zhe Gan, Xiaolei Huang, Xiaodong He*. AttnGAN: Fine-Grained Text to Image Generation with Attentional Generative Adversarial Networks // Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2018, pp. 1316-1324.
  7. Diffusion-Convolutional Neural Networks [Электронный ресурс]: // NeurIPS Proceedings. – Режим доступа: <https://proceedings.neurips.cc/paper/2016/hash/390e982518a50e280d8e2b535462ec1f-Abstract.html>, свободный. – Загл. с экрана. (дата обращения 12.10.2022).
  8. Diffusion Model Vs GAN [Электронный ресурс]: // Статья, размещённая на Интернет-ресурсе HashDork. – Режим доступа: <https://hashdork.com/diffusion-model-vs-gan/>, свободный. – Загл. с экрана. (дата обращения 13.10.2022).
  9. Diffusion-Convolutional Neural Networks [Электронный ресурс]: / *James Atwood and Don Towsley* // arXiv, 2016. – Режим доступа: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1511.02136>, свободный. – Загл. с экрана. (дата обращения 12.10.2022).
  10. Diffusion Models Beat GANs on Image Synthesis [Электронный ресурс]: / *Prafulla Dhariwal, Alex Nichol* // arXiv, 2021. – Режим доступа: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2105.05233>, свободный. – Загл. с экрана. (дата обращения 12.10.2022).
  11. Learning Transferable Visual Models From Natural Language Supervision [Электронный ресурс]: / *Alec Radford, Jong Wook Kim, Chris Hallacy, Aditya Ramesh, Gabriel Goh, Sandhini Agarwal, Girish Sastry, Amanda Askell, Pamela Mishkin, Jack Clark, Gretchen Krueger, Ilya Sutskever* // arXiv, 2021. – Режим доступа: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2103.00020>, свободный. – Загл. с экрана. (дата обращения 13.10.2022).
  12. GLIDE: Towards Photorealistic Image Generation and Editing with Text-Guided Diffusion [Электронный ресурс]: / *Models Alex Nichol, Prafulla Dhariwal, Aditya Ramesh, Pranav Shyam, Pamela Mishkin, Bob McGrew, Ilya Sutskever, Mark Chen* // arXiv, 2022. – Режим доступа: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2112.10741>, свободный. – Загл. с экрана. (дата обращения 13.10.2022).
  13. A very preliminary analysis of DALL-E 2 [Электронный ресурс]: / *Gary Marcus, Ernest Davis, Scott Aaronson*. // arXiv, 2022. – Режим доступа: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2204.13807>, свободный. Загл. С экрана. (дата обращения 19.10.2022)
  14. Understanding Variational Autoencoders (VAEs) [Электронный ресурс]: // Статья, размещённая на Интернет-ресурсе toward data science. – Режим доступа: <https://towardsdatascience.com/understanding-variational-autoencoders-vaes-f70510919f73>, свободный. – Загл. с экрана. (дата обращения 13.10.2022).
  15. Три способа создания изображений с помощью Python [Электронный ресурс]: // Статья, размещённая на Интернет-ресурсе DIGITRAIN.RU. – Режим доступа: <https://digitrain.ru/articles/191475/>, свободный. – Загл. с экрана. (дата обращения 19.10.2022).
  16. On the Limitations of Multimodal VAEs [Электронный ресурс]: / *Imant Daunhawer, Thomas M. Sutter, Kieran Chin-Cheong, Emanuele Palumbo, Julia E. Vogt*. // arXiv, 2022. – Режим доступа: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2110.04121>, свободный. – Загл. с экрана. (дата обращения 19.10.2022).

## **АНАЛИЗ ФУНКЦИЙ ВИДЕОАНАЛИТИКИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ КАК СОСТАВЛЯЮЩЕЙ КОМПЛЕКСНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени ФГБОУ ВО «Московский технический университет связи и информатики», г. Ростов-на-Дону, Россия

Ключевые слова: видеоаналитика, безопасность, алгоритмы работы.

В статье рассмотрены функциональные возможности видеоаналитики для обеспечения комплексной безопасности объекта использования интеллектуального видеонаблюдения.

Е.А. Karpenko

## **ANALYSIS OF INTELLIGENT VIDEO SURVEILLANCE VIDEO ANALYTICS FUNCTIONS AS A COMPONENT OF COMPLEX SECURITY**

North Caucasus branch of Moscow Technical University  
of Communications and Informatics, Rostov-on-Don, Russia

Keywords: video analytics, security, algorithms of work.

The article describes the functionality of video analytics to ensure the comprehensive security of the object using intelligent video surveillance.

На сегодняшний день ситуация с безопасностью и охраной территорий набирает свои обороты. Одним из компонентов комплексной защиты является видеонаблюдение. Отрасль видеонаблюдения развивается, модернизируется и проникает практически во все сферы деятельности человека. За последние 5-7 лет видеонаблюдение не только стало цифровым и более техническим оснащенным, но также развитие происходит в плане удаленного анализа и принятия решений.

В нашей повседневной жизни благодаря человеческим когнитивным искажениям, таким как усталость, болезни, снижение внимания и другие, а также замена работника с последующим его обучением, классическое видеонаблюдение становится просто не эффективным. В большинстве случаев на помощь приходит интеллектуальное видеонаблюдение с анализом происходящего. Это позволит анализировать происходящее с различных точек зрения для определенных задач в зависимости от ситуации, и сконцентрирует оператора только на принятии решения.

Системы интеллектуального видеонаблюдения — это комплекс программных средств для автоматического обнаружения в режиме реального времени нарушений установленных, заданными критериями. Основной составляющей этой системы является видеоаналитика.

Видеоаналитика очень быстро развивается, появляются множество компаний, которые создают программные обеспечения, оборудования оснащенным видеоаналитикой, а также создают облачные сервисы для хранения и анализа данных. Поэтому давайте рассмотрим, что же это такое видеоаналитика и какие у нее функции и возможности.

Видеоаналитика это интеллектуальный анализ, ведущийся в реальном времени или в архиве видеоданных, от камер видеонаблюдения для автоматического обнаружения различных нарушений и автоматическо-запрограммированное решение ситуации. Результатом выполнения задачи видеоаналитики может быть передача сообщения оператору или запись в архив для дальнейшего использования.

---

Все аспекты видеоаналитики можно разделить на стандартные направления: [1]

1. Базовые и сервисные детекторы.
2. Распознавание объектов.
3. Детекторы пожара и дыма.
4. Анализ «треков».
5. Детекторы нетривиального поведения.
6. Бизнес аналитика.

В составе базовых и сервисных детекторов уже давно с высокой эффективностью применяются детекторы, установленные практически в каждом ПО или встроенные в само оборудование. К базовым можно отнести детекторы движения для обнаружения объекта в кадре, детекторы лиц для определения лиц от каких-либо предметов, а также детекторы оставленных или исчезнувших предметов для обнаружения новых или исчезновения предметов из кадра. Каждый из них предназначен для своих определенных целей и запись таких детекторов может фрагментироваться и записываться только в тот момент, когда происходит действие неудовлетворяющее данному алгоритму детектора. Это очень сократит объем архива и такие меры помогут сэкономить на оборудовании хранения.

Сервисные детекторы находятся практически во всех камерах видеонаблюдения и созданы для улучшения работы объективов, тем самым сделав видеоанализ более эффективным. К ним можно отнести такие детекторы как: детектор закрытия объектива, расфокусировки, изменения фона, засветки, а также сдвига камеры. В случае нарушения алгоритма детектор подает сигнал оператору о сбое работы видеокамеры.

Пожалуй, одним из самых популярных направлений является распознавание объектов, так как они проникли в каждый аспект нашей жизни и помогают решить множество задач. Классифицируется направление на распознавание лиц и распознавание номеров. Алгоритм этих детекторов прост, камера фиксирует изображение и потом соотносит его с базой или добавляет обработанные данные в архив. Но очень много аспектов работы алгоритма могут снизить эффективное выполнения задачи (сравнения или запоминания). В простом алгоритме работы детекторов есть множество нюансов его реализации, таких как освещение лица, ориентацию камеры относительно объекта, а также дополнительные настройки камеры и ее разрешения. Если детекторы распознавания номеров являются составляющей комплекса охраны или контроля территории, где они установлены, то детекторы распознавания лиц являются как бы дополнительным механизмом, для более глубокого анализа идентификации на особых объектах.

Сейчас любое построенное здание, оснащённое системой пожарной сигнализации и видеоаналитикой, предполагает алгоритмы решения этих задач. Обычно такие детекторы принято использовать в недоступных местах или на открытом пространстве. Примером таких мест могут стать автостоянки, большие площади растущих деревьев, открытые территории предприятий и другие.

Следующим направлением развития видеоаналитики является анализ «треков». Именно это направление имеет наибольшее практическое применение. Анализ «треков» подразделяется на ситуационные детекторы и поиск в архиве данных. Алгоритмы работы ситуационных детекторов строятся на выявлении прописанных тревожных ситуаций с дальнейшим планом решения этой проблемы (вывод на экран монитора, поступающий сигнал оператору и другие). Наибольшей популярностью пользуются детекторы:

1. Детектор пересечения в заданной зоне.
2. Детектор пересечения линии в заданном направлении.
3. Детектор выхода/входа объекта из зоны.
4. Детектор появления или исчезновения предмета.
5. Детектор остановки или пребывания в данной зоне. [1]

Поиск же в архиве направлен на быстрое нахождение в потоке хранящихся данных по определенным параметрам интересующей ситуации. Такие детекторы очень полезны на

---

территориях с очень интенсивным движением объектов и помогают оперативно найти и интересующую информацию, не пересматривая большие объемы видеоданных.

Датчики нетривиального поведения — это мечта многих служб безопасности объектов. Главная задача таких детекторов — это идентифицировать конкретные ситуации и поведение людей. Алгоритмы строятся на более сложном анализе записанных треков с заранее прописанными всевозможными шаблонами имитирующего поведения. Но пока что функционал этой системы не так идеален, как хотелось бы. И существует огромная погрешность распознавания неверных действий, например таких ситуаций как кража в магазине, в то время как покупатель просто полез во внутренний карман одежды за чем-либо, или распознавание нарушения из-за драки, в то время как произошло дружественное объятие. Но некоторые алгоритмы нетривиального поведения работают вполне эффективно, такие как бегущий человек в неподобающем месте или выходящий человек через дверь, предназначенную только для входа.

Вышеописанные 5 стандартных направления работы видеоаналитики направлены на охрану и контроль деятельности или объектов, а также безопасность жизни людей. Также видеоаналитика может быть хорошим инструментом в бизнесе. С её помощью можно делать прогнозы маркетологам, оценивать эффективность рекламных компаний, подсчитывать число посетителей в магазинах и торговых центрах для анализа его выгоды, анализировать и оптимизировать работу магазина в зависимости от расположения витрин, работы касс, потока посетителей, а также прогнозировать работу без накладок в будущем. Главное направление бизнес-аналитики направлено на увеличении прибыли. Уже в настоящее время менеджеры магазинов активно используют системы видеонаблюдения для контроля работы персонала и могут осуществлять управление сетью магазинов без личного присутствия. [1]

Следует отметить, что видеоаналитика никогда не заменит полностью систему охраны и оператора на пункте видеонаблюдения, так как существует множество нетривиальных задач, которые со 100% вероятностью нельзя охватить в алгоритмах и программных обеспечениях, обслуживающих видеоаналитику.

В завершении можно сделать вывод о том, что на сегодняшний день видеоаналитика улучшает качество нашей жизни, выполняя за нас самую тяжёлую и монотонную работу слежения и анализа. В перспективе планируется внедрение использовать нейросети для глубокого обучения, а также развивающиеся алгоритмы, основывающиеся на построении 3D моделей, которые будут проводить более точную идентификацию для выполнения задач по безопасности, кажущимися сейчас фантастическими. Для бизнес-аналитики разрабатывается функционал распознавания половых и возрастных признаков. Благодаря этому функционалу можно будет формировать статистику и ориентировать на будущее стратегии продаж, рекламные компании, а также приспособливать магазины под определенную группу людей.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Торстен Анштедт, Иво Келлер, Харальд Лутц. «Видеоаналитика. Мифы и реальность» [Текст] : [пер. с нем.] /. - Москва : Секьюрити Фокус, 2012. - 174, [1] с., [4] л. цв. ил. : ил., цв. ил.; 23 см. - (Серия "Энциклопедия безопасности" : ЭБ); ISBN 978-5-9901176-5-5 (в пер.) (Серия "Энциклопедия безопасности" : ЭБ).
2. Программное средство обнаружения устройств прослушивания сетевого трафика в оптоволоконной сети OTDR2. Андрущенко А.А., Манин А.А., Решетникова И.В., Черкесова Л.В. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2022617599, 22.04.2022. Заявка № 2022617132 от 22.04.2022.
3. Криптосистема Мак-Элиса и Нидеррайтера на основе двоичных кодов Рида-Маллера и Хемминга. Галов Кирилл Алексеевич, Манин Александр Анатольевич, Решетникова Ирина Витальевна, Черкесова Лариса Владимировна Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2022661798, 27.06.2022. Заявка № 2022661225 от 20.06.2022.

## АНАЛИЗ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ СОЗДАНИЯ КРОССПЛАТФОРМЕННЫХ МОБИЛЬНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ

Ордена Трудового Красного Знамени федеральное государственное  
Бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Московский технический университет связи и информатики»,  
Москва, Россия

Ключевые слова: инструмент, кроссплатформенность, мобильные приложения, фреймворк, производительность.

В статье рассматриваются ключевые особенности инструментов, позволяющих достичь кроссплатформенности мобильных приложений. Выявлены их преимущества и недостатки. Представлены примеры известных созданных программных продуктов. В заключении по результатам анализа сделаны выводы и даны рекомендации по выбору инструмента для создания кроссплатформенных мобильных приложений.

A.I. Mokin, A.I. Timofeeva, T.D. Fatkhulin

## ANALYSIS OF SOFTWARE TOOLS FOR CREATING CROSS-PLATFORM MOBILE APPLICATION

Moscow Technical University of Communications and Informatics,  
Moscow, Russia

Keywords: tool, cross-platform, mobile applications, framework, performance.

The article discusses the key features of tools that allow to create cross-platform mobile applications. Their advantages and disadvantages are revealed. Examples of well-known created software products are presented. In conclusion, findings, based on the results of the analysis, are shown and recommendations are given for choosing a tool for creating cross-platform mobile applications.

### **Введение.**

В современном мире мобильные приложения быстро развиваются и занимают значительную часть жизни человека. Мобильное приложение – программное обеспечение, предназначенное для работы на смартфонах, планшетах и других мобильных устройствах, разработанное для конкретной платформы (Android, Windows Phone, IOS и т.д.). [1] Мобильные приложения значительно сокращают время на поиск той или иной информации, а также предоставляют огромный спектр возможностей в выстраивании коммуникаций с партнерами и коллегами и реализации бизнес-процессов [2]. Для создания кроссплатформенных мобильных приложений может использоваться множество инструментов разработки, таких как: Ionic, Flutter, ReactNative, Xamarin.

Целью работы является анализ программных инструментов, посредством которых можно разработать кроссплатформенное мобильное приложение. Для достижения поставленной цели необходимо решить ряд задач: проанализировать наиболее популярные существующие фреймворки для кроссплатформенной мобильной разработки и привести рекомендации по выбору фреймворка по ряду требований к приложению.

### **Решения по созданию кроссплатформенных мобильных приложений.**

Мобильные приложения сейчас занимают значительное место в жизни людей. Для комфортного использования приложение должно отвечать ключевым характеристикам:

- 
- Удобство - одно из самых важных аспектов успешного мобильного приложения. Оно позволяет упрощено познакомиться пользователю с проектом и комфортно взаимодействовать с ним.
  - Безопасность. Мобильное приложение обязательно должно быть безопасным для массового использования. Безопасное хранение паролей и данных пользователя, защита от взломов — всё это важные элементы хорошего мобильного приложения.
  - Качественное выполнение. Мобильное приложение должно быть визуально красивым, понятным для восприятия пользователем, а также использовать актуальные концепции дизайна. Искажения в графическом дизайне могут возникнуть при использовании мобильного приложения на определенных моделях смартфонов (особенно на устаревших моделях) [2].
  - Конкурентоспособность на рынке. Помимо этих основных аспектов мобильное приложение должно быть качественно сделано и быть не хуже приложений конкурентов [3].

Для создания мобильных приложений существует два подхода к разработке: создание нативных и кроссплатформенных приложений. Кроссплатформенное приложение - программное обеспечение, способное работать на разных операционных системах (ОС). Нативные приложения - приложения, которые создаются на оригинальных для данной платформы языках программирования, созданных специально для выбранной операционной системы. Далее будут рассмотрены фреймворки для создания кроссплатформенных мобильных приложений.

*Ionic* — это комплект для разработки программного обеспечения с открытым исходным кодом (SDK), используемый для разработки мобильных, настольных или прогрессивных web-приложений (PWA). [3] При работе используются следующие технологии: JavaScript, HTML, CSS + Angular, React, Vue. *Ionic* обладает средней производительностью, поскольку для визуализации приложений он использует web-технологии и не использует нативные компоненты. Такой подход приводит к следующим последствиям: скорость работы снижается, но есть возможность проводить быстрое тестирование. Благодаря распространенным технологиям, используемым в этом фреймворке, и продолжительным сроком использования, сообщество разработчиков большое. Примерами приложений является: *sworkit*, *shirp*. На рисунке 1 представлен пример работы приложения *sworkit*, созданного с помощью фреймворка *Ionic*.

*Flutter* — набор средств разработки мобильного пользовательского интерфейса, созданный компанией Google на основе языка Dart. С помощью *Flutter* возможно создать собственное мобильное приложение с одним массивом кода. Это означает, что для создания двух приложений можно использовать единый язык программирования и одну базу кода. *Flutter* обладает самой высокой производительностью среди всех рассматриваемых в фреймворков. Высокая производительность достигается вследствие использования собственного движка рендеринга (*Flutter engine*) и современного языка программирования Dart. Основанный в 2017 году, *Flutter* является самым новым среди всех представленных фреймворков, который еще не успел получить большое распространение в сообществе программистов. Необходимо отметить, что он активно внедряется Google, разработчиком данного фреймворка, что стремительно увеличивает сообщество разработчиков. Примеры приложений: *google ads*, *alibaba*, *ebay*, *spaceX Go*. На рисунке 2 представлен пример работы приложения *ebay*, созданного с помощью фреймворка *Flutter*.

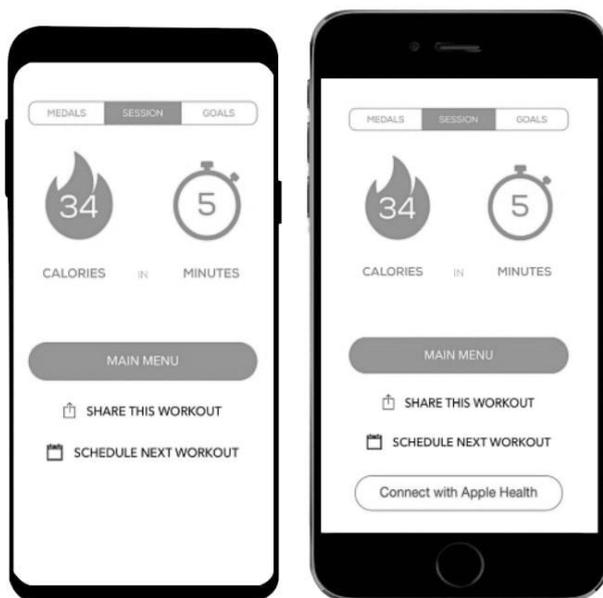


Рисунок 1. Примеры работы приложения Sworkit на устройствах с разной ОС

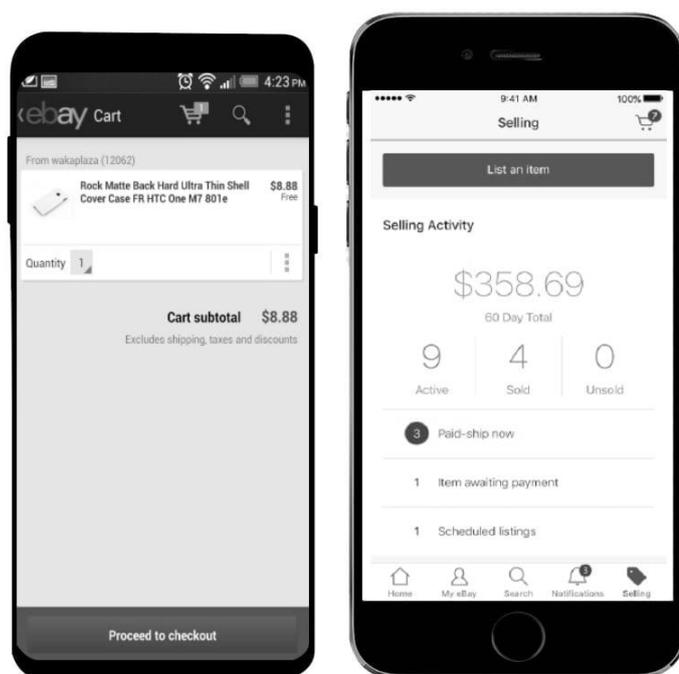


Рисунок 2. Примеры работы приложения Ебай на устройствах с разной ОС

*ReactNative* — это платформа мобильных приложений на основе JavaScript, которая позволяет создавать мобильные приложения с собственным интерфейсом для iOS и Android. Фреймворк позволяет создавать приложения для различных платформ, используя одну и ту же кодовую базу. Для работы используются технологии JavaScript + React. В данном фреймворке есть возможность использовать и создавать кастомные модули на языках для нативной разработки. ReactNative обладает высокой производительностью. Благодаря использованию очень распространенных технологий и решениями, близким к нативным, сообщество разработчиков самое большое из всех рассматриваемых фреймворков. Примеры приложений: pinterest, skype, facebook. На рисунке 3 представлен пример работы приложения skype, созданного с помощью фреймворка *ReactNative*.

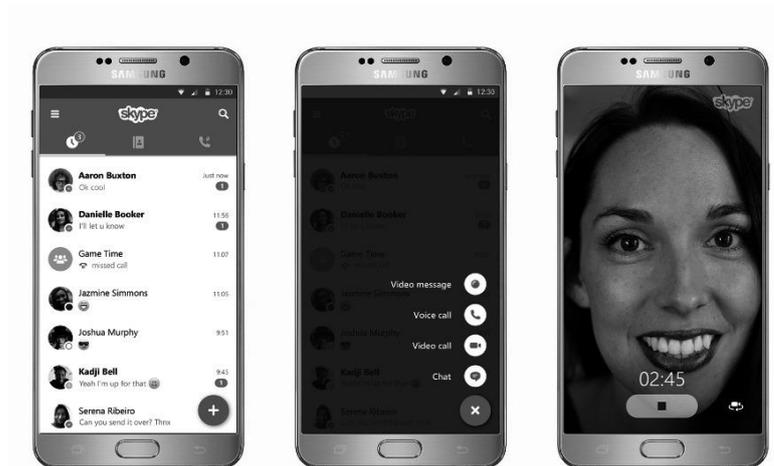


Рисунок 3. Пример работы приложения Skype

*Xamarin* — это платформа с открытым исходным кодом, предназначенная для построения современных производительных приложений для iOS, Android и Windows с .NET. Платформа *Xamarin* представляет собой уровень абстракции, который обеспечивает управление взаимодействием между общим кодом и кодом базовой платформы. *Xamarin* выполняется в управляемой среде, которая реализует такие возможности, как выделение памяти и сборка мусора. [4] Производительность *Xamarin* зависит от способа разработки: при использовании *Xamarin.Android* или *Xamarin.iOS* она достаточно высокая, благодаря использованию нативным компонентам, но в рамках кроссплатформенной разработки используют *Xamarin.Forms*, у которого производительность на среднем уровне. *Xamarin* был создан в 2011, это самый ранний из представленных фреймворков. Примеры приложений: SmartHotel360, ToDo. На рисунке 4 представлен пример работы приложения ToDo, созданного с помощью фреймворка *Xamarin*.

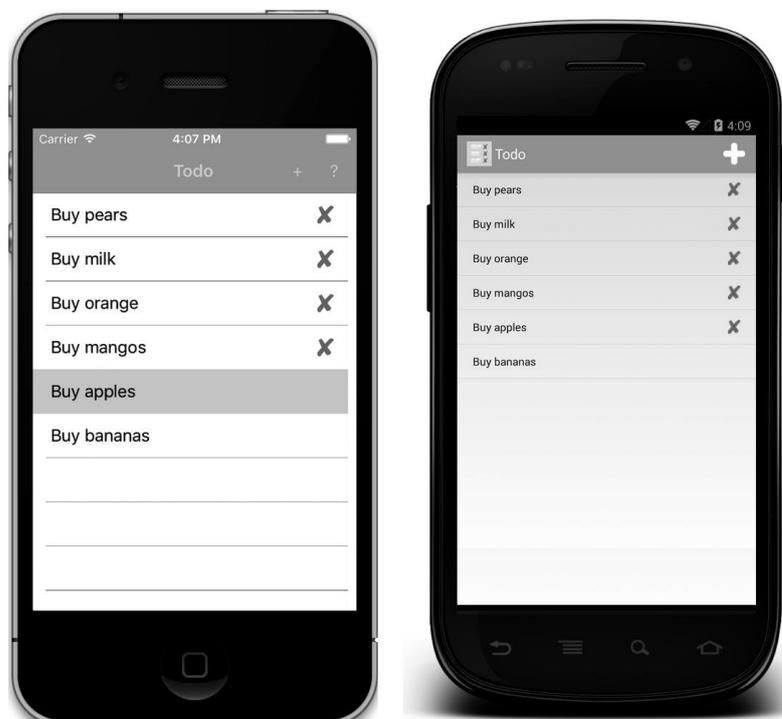


Рисунок 4. Пример работы приложения ToDo на устройствах с разной ОС

На основе вышеизложенной информации ниже приведена таблица 1, которая систематизирует ключевые характеристики рассматриваемых фреймворков.

Таблица 1. Сравнительные характеристики рассматриваемых фреймворков

	<b>Ionic</b>	<b>Flutter</b>	<b>ReactNative</b>	<b>Xamarin</b>
<i>Язык программирования</i>	JavaScript, HTML, CSS + Angular, React, Vue	Dart	JavaScript + React	C# + .NET
<i>Год запуска</i>	2013	2017	2015	2011
<i>Поддерживаемые версии</i>	iOS 10.0 + Android 4.0 +	iOS 11.0 + Android 4.1 +	iOS 11.0 + Android 5 +	iOS 9.0 + Android 4.4+
<i>Сообщество</i>	Большое	Небольшое, но активно развивается	Очень большое	Большое
<i>Производительность</i>	Средняя из-за web-технологий	Очень высокая	Высокая, близка к нативной	Достаточно высокая

### **Заключение.**

Таким образом, в результате проведенного анализа ключевых особенностей технологий по созданию кроссплатформенных мобильных приложений можно отметить, что выбор фреймворка для разработки производится согласно поставленным задачам и доступным ресурсам. Ionic следует выбрать, когда требуется ускорить цикл разработки и тестирования приложения за счет полной кроссплатформенной адаптации. Flutter следует выбрать для проекта, в котором есть потребность в высокой производительности и разработчики владеют Dart. ReactNative следует выбрать тем, кому необходимо большое зрелое сообщество разработчиков для создание конечного программного продукта. Xamarin следует выбрать тем, кто хочет писать на C#, получить хорошую производительность и преимущества нативных инструментов.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Кузьмин А.В., Прокопенко Е.В. Мобильные приложения и их роль в современном мире. Типы мобильных приложений. Операционные системы мобильных устройств.// XIII Всероссийская научно-практическая конференция молодых ученых «РОССИЯ МОЛОДАЯ» / Сборник материалов XIII Всероссийской, научно-практической конференции молодых ученых с международным участием: Секция «Информационные системы и технологии в науке, образовании и производстве»
2. Жуковский Д.А., Жуковский А.Г., Бородин А.А. Роль мобильных приложений на современном этапе развития технологий // «ИНФОКОМ-2021» / Труды Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики, Ростов-на-Дону.: ПЦ «Университет» СКФ МТУСИ, 2021. – С. 348-351.
3. Учебное пособие по Ionic Framework [Электрон. ресурс]: // Best Programmer Программирование и разработка. - Режим доступа: <https://bestprogrammer.ru/programmirovanie-i-razrabotka/uchebnoe-posobie-po-ionic-framework-sozdajte-svoe-pervoe-krossplatformennoe-prilozhenie>, свободный – Загл. с экрана. (дата обращения 05.10.2022).
4. Что такое Xamarin? [Электрон. ресурс]: // Microsoft Learn [Электрон. ресурс]. - Режим доступа: <https://learn.microsoft.com/ru-ru/xamarin/get-started/what-is-xamarin>, свободный – Загл. с экрана. (дата обращения: 09.10.2022).

---

**О.В. Дроздов<sup>1</sup>, Е.А. Ревякина<sup>1</sup>, Л.В. Черкесова<sup>1</sup>, О.В. Куликова<sup>2</sup>**

## **ОБЗОР И СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВОЗРАСТА ПО ФОТОГРАФИИ ЛИЦА**

<sup>1</sup>Донской государственной технической университет, Ростов-на-Дону, Россия

<sup>2</sup>Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени ФГБОУ ВО «Московский технический университет связи и информатики», г. Ростов-на-Дону, Россия

Ключевые слова: биометрическое распознавание, определение возраста, машинное обучение, нейронные сети, MobileNetV2.

В данной статье представлен обзор методов для определения возраста человека, таких как: Active Appearance Model, Aging Pattern Subspace, Local Binary Patterns и метод основанный на сверточной нейронной сети. Представлено обоснование и актуальность данного исследования, так же проведено сравнение представленных методов.

**O.V. Drozdov<sup>1</sup>, E.A. Revyakina<sup>1</sup>, L.V. Cherkesova<sup>1</sup>, O.V. Kulikova<sup>2</sup>**

## **REVIEW AND COMPARISON OF METHODS FOR DETERMINING THE AGE OF A FACE PHOTO**

<sup>1</sup>Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia

<sup>2</sup>North Caucasus branch of Moscow Technical University  
of Communications and Informatics, Rostov-on-Don, Russia

Keywords: biometric recognition, age determination, machine learning, neural networks, MobileNetV2.

This article provides an overview of methods for determining a person's age, such as: Active Appearance Model, Aging Pattern Subspace, Local Binary Patterns and a method based on a convolutional neural network. The rationale and relevance of this study are presented, as well as a comparison of the presented methods.

Среди различных технологий биометрического распознавания, распознавание лиц является технологией с большим потенциалом развития и имеет широкие перспективы применения в информационной безопасности, общественной безопасности и других областях.

Определение атрибутов лица, таких как оценка возраста, гендерная и этническая принадлежность привлекают интерес многих исследователей. Хотя и существует множество методов для оценки возраста не только по фотографии лица, но и по другим частям тела, но методы основанные на оценивании фотографии являются самыми информативными и точными. Процесс старения лица обычно протекает в соответствии с некоторыми распространенными стадиями старения. У детей, с ростом, самым большим изменением является изменение формы головы, вызванное ростом черепа. Процесс старения во взрослом возрасте в основном отражается на изменениях текстуры кожи лица, таких как внешний вид и углубление от морщин, дряблой кожи, увеличенных пятен [1] и т.д.

В целом, изображение лица человека можно рассматривать как сложный сигнал, состоящий из множества его характеристик, таких как: области морщин, геометрия лица, разрез глаз и т.д. Эти данные, полученные из изображения лица, могут быть использованы для дальнейшей оценки в системах. Возраст, в частности, является одним из самых важных атрибутов. Например, системы способные самостоятельно оценивать возраст человека по

---

фотографии могут пригодиться в таких областях как: обеспечения контроля доступа в места с возрастным ограничением, сбор данных о возрасте клиентов для дальнейшей его оценки.

Цель представленного исследования — провести обзор основных существующих методов оценки возраста по фотографии и сравнение их для выяснения более актуального метода с лучшими результатами в рамках одного набора данных.

Использование машин для определения параметров человека сегодня довольно распространено. Для решения этой проблемы было разработано не мало методов, которые позволяют нам получать и использовать характеристики изображения лица для дальнейшей их оценки.

Метод активной модели внешнего вида (ААМ) – данный алгоритм собирает статистическую модель внешнего вида, выделяя основные возрастные характеристики лица [2]. На основе данных характеристик строится нормализованная модель с выделением основных ключевых точек, уникальных для разных возрастных групп.

В активных моделях внешнего вида моделируются два типа параметров: параметры, связанные со статистической моделью изображения или текстурой (параметры внешнего вида), и параметры, связанные с формой (параметры формы).

Как показано на рисунке 1 данная модель определяет внешний контур лица, контуры носа, глаз, бровей и рта.



Рисунок 1. Модель внешнего вида

Данная разметка позволяет определить основные параметры лица, для дальнейшей их обработки, с целью определения возраста и других характеристик.

Для дальнейшего определения возраста, можно использовать алгоритм Канонического корреляционного анализа (ССА), который работает по принципу получения матриц взаимной корреляции между некоторыми векторами или метод опорных векторов (Support Vector Machines) [2].

Метод Aging Pattern Subspace (AGES) – данный метод основан на построении шаблонов старения. Шаблон старения – это последовательность лиц человека, отсортированных по времени. Вдоль оси времени каждому возрасту отводится одна позиция. Если изображения лиц доступны для определенного возраста, они заполняются в соответствующие позиции [3]. В противном случае позиции остаются пустыми.

Данные изображения преобразуются в векторы и объединяются в один вектор. Недостающие вектора достраиваются путем решения линейной системы.

Для оценки возраста, тестовое изображение помещается во все позиции (каждая позиция соответствует возрасту). В каждой позиции, тестовое изображение восстанавливается с помощью подпространства шаблона старения. Так найдя минимальную ошибку восстановления, можно найти правильное положение тестового изображения, и, следовательно, можно определить его возраст.

Метод Local Binary Patterns (LBP) — это дескриптор, который кодирует локальные примитивы, такие как (изогнутые края, пятна, плоские области и т.д.), в гистограмму объектов. Изображение лица разделяется на локальные области и дескрипторы LBP извлекаются из каждой области независимо. Затем дескрипторы объединяются для формирования глобального описания лица [4].

Чтобы создать локальные описания, LBP извлекает объекты из изображения с помощью присваивания меток пикселям таким образом, чтобы с помощью порогового значения пиксели находились в определенной окрестности центрального значения.

LBP создает код для каждого пикселя и рассматривает результат как двоичное число. Гистограмма появления этих меток используется в качестве текстурных объектов или дескрипторов. Наконец, различные гистограммы могут быть объединены в виде кодового изображения.

Чтобы иметь возможность работать с текстурами в разных масштабах, оператор LBP позже был расширен для использования окрестностей разных размеров. Круговая окрестность и билинейная интерполяция значений в нецелочисленных координатах пикселей допускают любой радиус и количество пикселей в окрестности. На рисунке 2 показан пример кольцевых окрестностей.

Для распознавания возраста, изображение лица человека сначала делится на определенное количество областей, и для каждого пикселя собирается свой дескриптор.

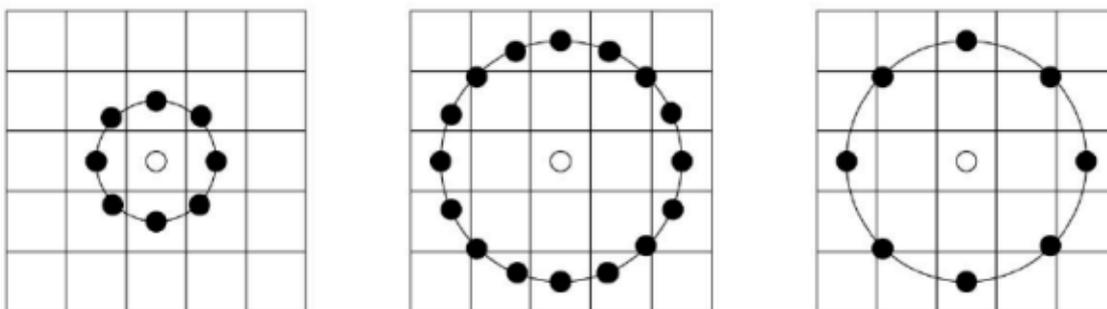


Рисунок 2. Круговая окрестность

Таким образом, каждая область будет иметь свою собственную карту объектов. Затем все наборы объединяются в один вектор, и модель обучается методом опорных векторов.

Так же для определения возраста, хорошо подходят нейронные сети. Нейронные сети являются одним из лучших решений в данной сфере. Современный метод извлечения признаков, основанный на сверточных нейронных сетях, может хорошо улавливать информацию об особенностях лица на изображении и обладает сильной адаптивностью к шуму на изображении, что означает, что окончательная оценка на этапе определения возраста является более точной. На этапе оценки возраста используются методы классификации, регрессии, смешивания и распределенного обучения.

В качестве примера сверточной нейронной сети возьмём MobileNetV2, так как архитектура данной сети показывает хорошие результаты и работает в три раза быстрее в сравнении с ближайшими аналогами такими как ResNet b SSr-Net [5].

Благодаря отсутствию полносвязных слоёв и использованию depthwise свёрточных слоёв эта архитектура обладает как большой обучаемостью, так и большой скоростью. Основная идея Depthwise слоев заключается в замене свертки на ее факторизованную версию, которая разбивает свертку на два отдельных слоя. Первый слой называется глубиной сверткой, он выполняет облегченную фильтрацию, применяя один сверточный фильтр на входной канал. Второй слой представляет собой свертку размером  $1 \times 1$ , называемую точечной свертка, которая отвечает за построение новых функций путем вычисления линейных комбинаций входных каналов [6]. Пример структуры MobileNetV2 показан на рисунке 3.

Input	Operator	$t$	$c$	$n$	$s$
$224^2 \times 3$	conv2d	-	32	1	2
$112^2 \times 32$	bottleneck	1	16	1	1
$112^2 \times 16$	bottleneck	6	24	2	2
$56^2 \times 24$	bottleneck	6	32	3	2
$28^2 \times 32$	bottleneck	6	64	4	2
$14^2 \times 64$	bottleneck	6	96	3	1
$14^2 \times 96$	bottleneck	6	160	3	2
$7^2 \times 160$	bottleneck	6	320	1	1
$7^2 \times 320$	conv2d 1x1	-	1280	1	1
$7^2 \times 1280$	avgpool 7x7	-	-	1	-
$1 \times 1 \times 1280$	conv2d 1x1	-	k	-	-

Рисунок 3. Структура MobileNetV2

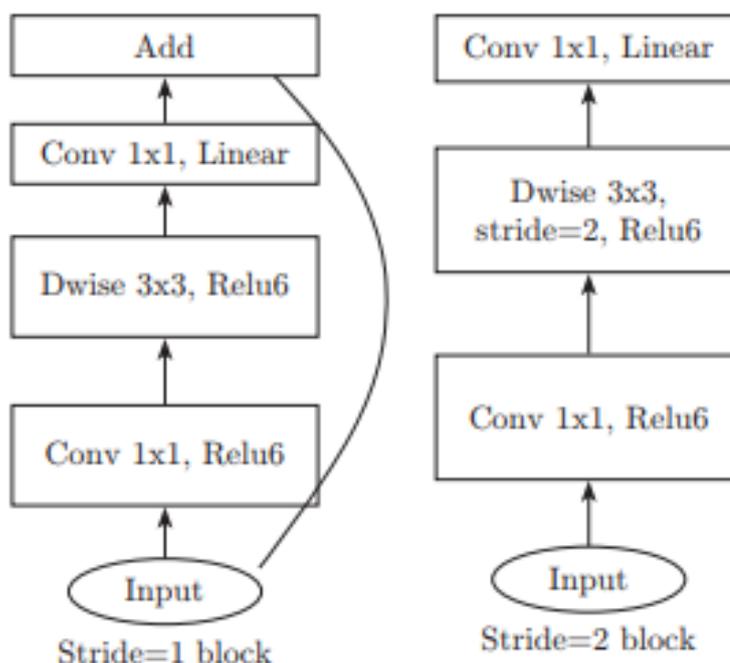


Рисунок 4. Структура сверточного блока

Каждая строка описывает последовательность из 1 или более одинаковых слоев, повторяющихся  $n$  раз. Первый слой каждой последовательности имеет шаг  $s$ , а все

остальные используют шаг 1, исходя из этого шага используется один из двух вариантов сверточных блоков как показано на рисунке 4. Все пространственные свертки используют ядра  $3 \times 3$ . Коэффициент расширения  $t$  всегда применяется к входному размеру.

Для сравнения данных методов возьмем данные готовых исследований, основанные на одном наборе данных FG-NET в качестве основного показателя, будет выступать метрика MAE. Средняя абсолютная ошибка (MAE) – это метрика, где ошибка рассчитывается как среднее абсолютных разностей между целевыми значениями и прогнозами. MAE — это линейная оценка, которая означает, что все индивидуальные различия взвешены в среднем одинаково. В таблице 1 приведены результаты работы разных методов.

Таблица 1. Сравнение метрик MAE

Метод	MAE
Aging Pattern Subspace(KAGES)	6.18
Local Binary Patterns(Boosted LBP)	4.30
Active Appearance Model(CCA)	4.17
MobileNetV2	3.65

Как видно из таблицы 1 метод с использованием сверточной нейронной сети дает лучшие результаты из всех представленных [2,3,4,5].

В данной работе было проведено исследование различных существующих методов определения возраста человека. Проведено их сравнение с целью определения метода, дающего наилучшие результаты.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Atallah R. R., Kamsin A., Ismail M. A., Abdelrahman S. A., Zerdoumi S. Face Recognition and Age Estimation Implications of Changes in Facial Features: A Critical Review Study // IEEE Access. — 2018. — № 6. — С. 28290 - 28304.
2. Iqtait M., Susilawati Mohamad F., Alsuhiat F. Active Appearance Model for Age Prediction: A Comparison. // International Journal of Engineering & Technology. — 2018. — № 7. — С. 539 - 543.
3. Geng X., Smith-Miles K., Zhou Z.-H. Facial Age Estimation by Nonlinear Aging Pattern Subspace // Proceeding of the 16th ACM International Conference on Multimedia. — 2008. — С. 721 - 724.
4. Rybintsev A. Age estimation from a face image in a selected gender-race group based on ranked local binary patterns // Complex & Intelligent Systems. — 2017. — № 3(2). — С. 93 - 104.
5. Пакулич Д. В., Якимов С. А., Алямкин С. А. Распознавание возраста по изображению лица с использованием свёрточных нейронных сетей. // АВТОМЕТРИЯ. — 2019. — № 3. — С. 52 - 61.
6. Mark S., Andrew H., Menglong Z., Andrey Z., Liang-Chieh C. MobileNetV2: Inverted Residuals and Linear Bottlenecks // CVPR. — 2018.

## **ТЕХНОЛОГИЯ VPN**

Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени ФГБОУ ВО «Московский технический университет связи и информатики», г. Ростов-на-Дону, Россия

Ключевые слова: технология VPN, протокол, виртуальная частная сеть, удаленные офисы, удаленные сотрудники, безопасность, надежность, защита информации.

В работе рассмотрена технология виртуальной частной сети (VPN). Проанализированы различные инструменты и функции VPN. Описаны основные принципы работы протоколов VPN. Выделены достоинства и недостатки технологии. Обоснована актуальность VPN.

**I.A. Sosnovskiy, E.A. Gendrikson**

## **VPN TECHNOLOGY**

North Caucasus branch of Moscow Technical University  
of Communications and Informatics, Rostov-on-Don, Russia

Keywords: VPN technology, protocol, virtual private network, remote offices, remote employees, security, reliability, information protection.

This article presents virtual private network (VPN) technology. The main tools and functions of VPN are analyzed. Describes the basic principles of VPN protocols. The advantages and disadvantages of the technology are highlighted. The relevance of the VPN is justified.

Тема безопасности и анонимности в Интернете стала особенно актуальна с развитием информационных технологий. Крупные корпорации давно обеспокоены проблемами расширения, защиты информации и географического распределения. Однако в двадцать первом веке тема безопасности в Интернете также актуальна для обычных пользователей.

Концепция виртуальной частной сети, более известная как VPN, появилась как финансовая альтернатива защищенной коммуникации через общественные каналы связи, такие как Интернет, и вскоре стала технологией, широко используемой услугой, ориентированной на безопасность, гарантирующей целостность, конфиденциальность и подлинность информации. Изначально VPN-соединение разрабатывалось для решения задач в корпоративной среде, однако позже преимущества оценили и обычные пользователи.

Виртуальная частная сеть – это безопасный туннель между двумя или более компьютерами в интернете, позволяющий им получать доступ друг к другу, как в локальной сети. Существуют различные варианты использования VPN, среди них частная и корпоративная сферы.

Популярность технологии VPN среди обычных пользователей вполне понятна. VPN-соединение защищает проходящий через сеть трафик от злоумышленников и скрывает действия в Интернете от сетевых-провайдеров, которые могут продавать и передавать информацию другим компаниям или правительству. Виртуальная частная сеть также позволяет пользователям обходить ограничения доступа к заблокированным ресурсам.

Компании используют VPN для объединения или обособления сетей различных отделов. С помощью виртуальной частной сети организация может обойти не только локальные ограничения между подключенными устройствами, но и организовать единую сеть для всех удаленных офисов и филиалов. Так, например, после установки VPN-

---

подключения сотрудник компании, находясь дома, имеет доступ к корпоративным ресурсам и оборудованию.

Существуют четыре основных вида VPN, среди них VPN-брандмауэр, аппаратная VPN, программный VPN, безопасный уровень сокета (SSL) VPN. Каждый из них обладает своими достоинствами и недостатками и находит применение в той или иной области.

VPN-брандмауэр оснащен как брандмауэром, так и VPN-возможностями. Этот тип использует защиту, предоставляемую брандмауэрами, для ограничения доступа к внутренней сети и обеспечивает перевод адресов, аутентификацию пользователя, аварийные сигналы и протоколирование.

Аппаратная VPN является дорогостоящей, однако она решает проблему снижения пропускной способности сети, обеспечивает более высокую производительность и надежность.

Программный VPN используется при отсутствии контроля конечной точки с одной стороны и при использовании разных брандмауэров и маршрутизаторов. Этот тип обеспечивает гибкость с точки зрения управления трафиком.

Безопасный уровень сокета (SSL) VPN позволяет пользователям подключаться к VPN-устройствам с помощью веб-браузера. SSL используется для шифрования трафика между веб-браузером и устройством VPN.

Протоколы VPN представляют собой комплексный сервис, который мы используем для организации безопасного подключения между двумя устройствами. Это набор стандартов кодировки информации с последующей ее передачей от клиента (компьютера или устройства пользователя) к серверам, и обратно. Протоколы туннелирования VPN предлагают разные функции и уровни безопасности. Существует пять основных протоколов туннелирования: Протокол туннелирования защищенных сокетов (SSTP), Протокол туннелирования «точка-точка» (PPTP), Протокол туннелирования второго уровня (L2TP), OpenVPN и Internet Key Exchange версии 2 (IKEv2).

PPTP (Point-to-Point Internet Protocol) является одним из старейших VPN-протоколов. PPTP использует два соединения – одно для управления, другое для инкапсуляции данных. Первое работает с использованием TCP, в котором порт сервера 1723. Второе работает с помощью протокола GRE, который является транспортным протоколом (то есть заменой TCP/UDP). Технология VPN PassThrough позволяет клиентам за NAT установить подключение point-to-point и пользоваться протоколом GRE. PPTP поддерживается на большинстве операционных систем. Однако данный протокол считается ненадежным. PPTP удобно использовать для разблокировки контента, но не защиты информации.

Secure Socket Tunneling Protocol (SSTP) по большей части используется Windows-системами, однако он доступен и на Linux, RouterOS и SEIL. В отличие от PPTP, у него не диагностированы серьезные проблемы с безопасностью. SSTP отправляет трафик по SSL через TCP-порт 443. Это делает его полезным для использования в ограниченных сетевых ситуациях. SSTP предоставляет механизм для переноса трафика протокола «точка-точка» (PPP) по каналу SSL. Использование PPP позволяет поддерживать надежные методы аутентификации, а SSL обеспечивает безопасность на уровне транспорта с расширенным согласованием ключей, проверкой шифрования и целостности.

Layer 2 Tunneling Protocol (L2TP) был впервые предложен в качестве обновления протоколов L2F (Cisco) и PPTP (Microsoft). L2TP сам по себе не обеспечивает шифрование или аутентификацию, поэтому с ним используется IPsec. L2TP в паре с IPsec поддерживается многими операционными системами, стандартизирован в RFC 3193. L2TP/IPsec обеспечивает высокую безопасность передаваемых данных. Протокол может использовать шифрование 3DES или AES. У протокола L2TP иногда возникают проблемы из-за использования по умолчанию UDP-порта 500, который блокируется некоторыми брандмауэрами.

---

Internet Key Exchange version 2 (IKEv2) является протоколом IPsec, используемым для выполнения взаимной аутентификации, создания и обслуживания Security Associations (SA), стандартизован в RFC 7296. IKEv2 имеет такой же уровень безопасности, как и L2TP, так как он тоже защищен IPsec. IKEv2/IPsec может использовать ряд различных криптографических алгоритмов, включая AES, Blowfish и Camellia, в том числе с 256-битными ключами. IKEv2 поддерживает Perfect Forward Secrecy. IKEv2 устойчив к смене сетей благодаря поддержке MOBIKE. Протокол особенно хорошо подойдет для мобильных пользователей.

OpenVPN — это универсальный протокол VPN с открытым исходным кодом, разработанный компанией OpenVPN Technologies. OpenVPN стабилен и предлагает высокую скорость передачи данных. OpenVPN использует стандартные протоколы TCP и UDP и это позволяет ему стать альтернативой IPsec тогда, когда провайдер блокирует некоторые протоколы VPN. OpenVPN может работать на любом из портов TCP и UDP и может использоваться на всех основных платформах через сторонние клиенты: Windows, Mac OS, Linux, Apple iOS, Android. Для работы протокола необходимо специальное клиентское программное обеспечение. VPN-сервисы создают свои приложения для работы с OpenVPN, которые можно использовать в разных операционных системах и устройствах.

Таким образом, хорошо спроектированная виртуальная частная сеть предоставляет пользователю большое количество преимуществ, среди них возможность расширенных соединений в разных географических точках без использования выделенной линии, повышенная производительность для распределенных ресурсов, экономия времени и средств, возможность осуществления полноценной деятельности для удаленных офисов и сотрудников, а также повышенная безопасность обмена данными. Для реализации эффективной работы VPN требуются обеспечение возможности быстрого и качественного соединения для каждого пользователя, защита данных во время их движения в общедоступной сети, а также возможность расширения сети. В зависимости от запроса потребителя используются соответствующие элементы для реализации надежного подключения.

Технология VPN стремительно набирает популярность и укореняется в жизни современного человека. Виртуальная частная сеть позволяет защитить данные пользователя, обеспечить его анонимность в сети, обойти ограничения Интернет-провайдера, а также получить доступ к удаленным ресурсам. Однако стоит отметить наличие потенциальных недостатков безопасности технологии VPN. Именно поэтому для администраторов сети и безопасности, а также для сотрудников службы поддержки и для удаленных пользователей необходимо провести обучение, чтобы они следовали лучшим передовым методам безопасности во время внедрения и постоянного использования VPN.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ижунинов, М. А. Технология VPN: характеристика / М. А. Ижунинов. — Текст: непосредственный // Молодой ученый. — 2019. — № 50 (288). — С. 10-12. — URL: <https://moluch.ru/archive/288/65058/> (дата обращения: 10.10.2022).
2. Николахин А.Ю Использование технологии VPN для обеспечения информационной безопасности // Экономика и качество систем связи. 2018. № 3 (9). — Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-tehnologii-vpn-dlya-obespecheniya-informatsionnoybezopasnosti> (дата обращения: 10.10.2022).
3. Development of a real-time document approval system. Cherckesova L.V., Boldyrikhin N.V., Revyakina E.A., Safaryan O.A., Yengibaryan I.A. В сборнике: E3S Web of Conferences. 14th International Scientific and Practical Conference on State and Prospects for the Development of Agribusiness, INTERAGROMASH 2021. Rostov-on-Don, 2021. С. 08047.

---

**В.В. Ершов<sup>1</sup>, З.М. Галаев<sup>1</sup>, Н.В. Руденко<sup>2</sup>, В.А. Ступак<sup>2</sup>**

**ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ОБЪЕКТОВ СВЯЗИ В ЗОНАХ  
ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО И ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО  
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ**

Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени ФГБОУ ВО «Московский технический университет связи и информатики», г. Ростов-на-Дону, Россия<sup>1</sup>  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Донской государственный технический университет», г. Ростов-на-Дону, Россия<sup>2</sup>

Ключевые слова: автономное электроснабжение объектов, автономная система электроснабжения, возобновляемые источники электроэнергии, ветроэнергетическая установка, солнечная энергетическая установка, гибридные солнечно-ветро-дизельные энергетические установки.

В статье решается задача бесперебойного электроснабжения объектов в зонах централизованного и децентрализованного электроснабжения РФ, удаленных от источников питания в этих зонах на базе возобновляемых источников энергии. Проведен анализ ресурсов ветровой и солнечной энергии на территории РФ, выделены регионы, в которых возможно совместное использование энергии и солнца и ветра в зонах централизованного и децентрализованного электроснабжения. Сделан вывод о целесообразности применения в этих регионах в качестве источников электрической энергии для зон централизованного и децентрализованного электроснабжения в составе автономных систем электроснабжения возобновляемых источников энергии на базе использования энергии и ветра и солнца. Предложен состав автономных систем электропитания объектов для зон централизованного и децентрализованного электроснабжения. Рассмотрены структурные схемы автономных систем электроснабжения, позволяющих обеспечить бесперебойность электроснабжения объектов в указанных зонах. Описаны алгоритмы работы схем в эксплуатационных режимах.

**V.V. Ershov<sup>1</sup>, Z.M. Galaev<sup>1</sup>, N.V. Rudenko<sup>2</sup>, V.A. Stupak<sup>2</sup>**

**POWER SUPPLY OF COMMUNICATION OBJECTS IN ZONES  
CENTRALIZED AND DECENTRALIZED  
POWER SUPPLY**

North Caucasus branch of Moscow Technical University  
of Communications and Informatics, Rostov-on-Don, Russia<sup>1</sup>  
Federal State Budgetary Educational Institution higher education "Don State Technical  
University", Rostov-on-Don, Russia<sup>2</sup>

Key words: autonomous power supply of objects, autonomous power supply system, renewable energy sources, wind power plant, solar power plant, hybrid solar-wind-diesel power plants.

The article solves the problem of uninterrupted power supply of objects in the zones of centralized and decentralized power supply of the Russian Federation, remote from power sources in these areas based on renewable energy sources. The analysis of wind and solar energy resources on the territory of the Russian Federation has been carried out, regions have been identified in which it is possible to share energy and sun and wind in zones of centralized and decentralized power supply. It is concluded that it is expedient to use in these regions as sources of electrical energy for zones of centralized and decentralized power supply as part of autonomous power

---

supply systems of renewable energy sources based on the use of energy and wind and sun. The composition of autonomous power supply systems for objects for zones of centralized and decentralized power supply is proposed. Structural diagrams of autonomous power supply systems are considered, which make it possible to ensure the uninterrupted power supply of objects in these zones. The algorithms of operation of circuits in operational modes are described.

### **Введение.**

В энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 года отмечено, что «Основу электроэнергетики большинства стран мира в прогнозном периоде будут составлять существующие системы централизованного электроснабжения, базирующиеся на крупных электростанциях - традиционных (тепловые электростанции, атомные электростанции, гидроэлектростанции) или ветроэлектростанциях и солнечных электростанциях, функционирующих в составе электроэнергетических систем» [1].

На территории РФ зона централизованного электроснабжения занимает площадь около 35%. Для этой зоны характерным является неоднородность расположения объектов в рамках действующей государственной системы электроснабжения. Одни из них находятся в непосредственной близости от источников питания системы, другие - на значительных расстояниях. Удаленность объектов электропотребления от источников питания негативно сказывается на работе электроприемников по причине понижения у них напряжения, а также ведет к снижению эффективности системы электроснабжения из-за потерь электроэнергии при её транспортировке и распределении [2]. В ходе эксплуатации на удаленных объектах возникают ситуации, приводящие к нарушению стационарного режима работы и обусловленным этими обстоятельствами перерывам процесса электроснабжения объектов.

На зону децентрализованного энергоснабжения приходится 65% территории страны. Здесь проживает около 20 млн чел., распределенных по всему Крайнему Северу, который занимает 70% территории России. Негативное влияние удаленности объектов электропотребления от источников питания в меньшей степени, но проявляется для децентрализованного энергоснабжения по причине ограниченной установленной мощности источников питания конкретной энергосистемы [3].

Инфраструктура зон централизованного и децентрализованного электроснабжения с точки зрения нормального функционирования социальных и промышленных объектов в этих зонах как приемников электрической энергии широка и разнообразна по своему целевому и хозяйственному назначению. Устойчивое и бесперебойное функционирование этих объектов зависит от стабильности процесса их электроснабжения. С точки зрения организации и обеспечения возможности коммуникаций в производственной и социальной сферах в рамках этих зон крайне важными являются современные телекоммуникационные систем. Известно, что такие системы предъявляют повышенные требования к перерывам в их электроснабжении.

Главными элементами для обеспечения коммуникаций населения в этих регионах являются базовые станции (БС) системы сотовой связи. Их надежное функционирование обеспечивается автономными системами электроснабжения (АСЭ).

Таким образом, повышение надежности и бесперебойности удаленных от источников питания объектов централизованного и децентрализованного электроснабжения на базе возобновляемых источников энергии (ВИЭ) является актуальной научно-технической задачей.

### **Результаты исследований.**

Для решения этой задачи необходимо рассмотрение следующих вопросов:

- анализ ресурсов солнечной и ветровой энергии для построения АСЭ в регионах централизованного и децентрализованного электроснабжения;

- 
- разработка структурных схем АСЭ для объектов связи в регионах централизованного и децентрализованного электроснабжения.

### **Анализ ресурсов солнечной и ветровой энергии для построения АСЭ в регионах централизованного и децентрализованного электроснабжения.**

Ресурсная база солнечной и ветроэнергетики РФ территориально характеризуется районами централизованного и децентрализованного электроснабжения и представляется следующим образом:

- зонами эффективного применения ветроэнергетических установок (ВЭУ) являются [4,5] по субъектам Российской Федерации области: Архангельская, Астраханская, Волгоградская, Калининградская, Камчатская, Ленинградская, Магаданская, Мурманская, Новосибирская, Ростовская, Тюменская; края: Краснодарский, Пермский, Приморский, Хабаровский; республики: Дагестан, Калмыкия, Хакасия, Саха (Якутия); автономные округа: Ненецкий, Чукотский, Ямало-Ненецкий;
- наиболее перспективные регионы в плане использования солнечных батарей: Калмыкия, Ставропольский край, Ростовская область, Краснодарский край, Волгоградская область, Астраханская область и другие регионы на юго-западе, Алтай, Приморье, Читинская область, Бурятия и другие регионы Западной, Восточной Сибири и Дальнего Востока [6,7].

Анализ регионов РФ, находящихся в зонах централизованного и децентрализованного электроснабжения, на территории которых может быть использована совместно энергия солнца и энергия ветра, представляется следующими территориями [8,9]:

- области: Астраханская, Амурская, Оренбургская, Волгоградская, Ростовская.
- края: Краснодарский, Приморский, Хабаровский, Забайкальский, Алтайский; Камчатский, Ставропольский.
- республики: Бурятия, Дагестан, Калмыкия, Саха Якутия, Тыва, Хакасия.

Таким образом, для повышения надежности и бесперебойности электроснабжения объектов на указанных территориях целесообразно применять в качестве источников электрической энергии в составе АСЭ для зон централизованного и децентрализованного электроснабжения ВЭУ на базе использования и энергии ветра (ВЭУ) и энергии солнца (СЭУ). Важным элементом в составе АСЭ является накопитель энергии, в качестве которого обычно выступают аккумуляторные батареи (АБ). В настоящее время такие гибридные солнечно-ветровые установки находят широкое применение в автономной электроэнергетике. В совокупности с АБ и дизель-электрической установкой (ДЭУ) они представляют установки (ГСВДЭУ). Они успешно заменяют газотурбинные установки малой мощности, мазутные котельные и дизельные генераторы, расположенные как в зоне централизованного, так и децентрализованного электроснабжения. Их применение позволит увеличить к 2035 г. долю возобновляемых источников в производстве электроэнергии с 5% до 15% [10]. Состав АСЭ для объектов в регионах зон централизованного и децентрализованного электроснабжения формируется исходя из функционального назначения, совокупности решаемых задач и особенностей эксплуатации каждой такой установки.

Обеспечение устойчивой работы БС системы сотовой связи при централизованном электроснабжении на указанных территориях требует включения в ее состав в качестве источников питания ВЭУ, СЭУ и АБ, полагая, что они по своим техническим характеристикам смогут взять на себя нагрузку при возникновении аварийной ситуации в питающей сети Госэнергосистемы.

При децентрализованном электроснабжении на указанных территориях для обеспечения нормального функционирования станции в качестве источников питания в ее

составе должны быть ДЭУ, как основной источник, и ВЭУ, СЭУ и АБ, в качестве резервных.

### Разработка структуры АСЭ для объектов связи в регионах централизованного электроснабжения.

Схема АСЭ БС представлена на рисунке 1. Алгоритм работы схемы. Электрическая энергия от районной энергосистемы подается на трансформаторную подстанцию (ТП). При наличии напряжения в районной электросети и соответствия величины напряжения допусковым параметрам оно через трансформаторную подстанцию (ТП), коммутатор К1 и распределительный щит ЩР1 подается к приемникам станции. Кроме этого, напряжение через К1 подается на выпрямитель В1 для подзарядки аккумуляторной батареи (АБ). Потребляемая мощность контролируется датчиком потребляемой мощности (ДПМ), который формирует требуемое значение потребляемой мощности  $P_{Э.тр.}$ .

При исчезновении или выходе за пределы допусковых значений величины напряжения питающей сети в работу включаются ВЭУ или СЭУ, либо обе установки в зависимости от текущего значения потребляемой мощности. Установленные мощности ВЭУ ( $P_{ВЭУ}$ ) и СЭУ ( $P_{СЭУ}$ ) должны каждая в отдельности обеспечивать требуемое значение потребляемой мощности приемников. Выполнение этого требования обеспечивает питание приемников при совместной работе ВЭУ и СЭУ в зависимости от текущих погодных условий.

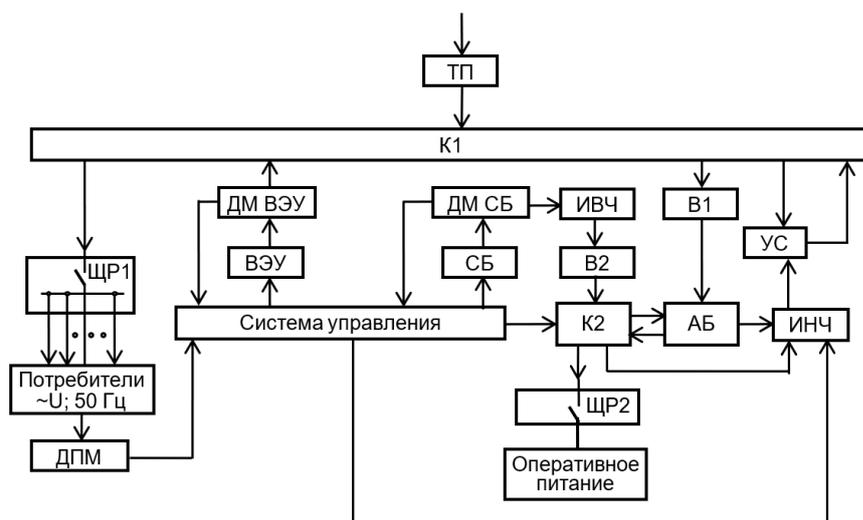


Рисунок 1. Структурная схема автономной системы электроснабжения БС при централизованном электроснабжении на основе гибридной солнечно - ветровой энергетической установки

При совместной работе установок электроэнергия к приемникам от ВЭУ подается через К1 и ЩР1. Электроэнергия к приемникам от СЭУ подается на высокочастотный инвертор (ИВЧ) через выпрямитель (В2), коммутатор (К2), низкочастотный инвертор (ИНЧ) на устройство согласования (УС). На второй вход УС через К1 подается напряжение с выхода ВЭУ. После согласования параметров напряжений с выхода ВЭУ и с выхода ИНЧ напряжение с выхода УС через коммутатор К1 также подается к приемникам станции. При этом ВЭУ и СЭУ работают совместно. В этом режиме АБ через коммутатор К2 и распределительный щит ЩР2 подключается к шинам оперативного питания.

Таким образом, при отсутствии напряжения питающей сети работа приемников станции осуществляется от ВЭУ или СЭУ либо от совместно работающих этих установок, в результате чего обеспечивается бесперебойность электроснабжения объектов связи.

## Разработка структуры АСЭ для объектов связи в регионах децентрализованного электроснабжения.

Базовым принципом построения такой АСЭ является максимально возможное использование энергии ветра и солнца и минимизация использования энергии ДЭУ. Основными источниками питания в схеме являются ВЭУ и СЭУ. Вырабатываемые ими мощности оцениваются датчиками мощности соответственно ВЭУ (ДМ ВЭУ) и СЭУ (ДМ СЭУ). Установленные мощности ВЭУ ( $P_{ВЭУ}$ ) и СЭУ ( $P_{СЭУ}$ ) целесообразно выбирать из условия возможности генерирования каждой из установок требуемой мощности приемников.

Резервный источник питания ДЭУ. Его вырабатываемая мощность оценивается датчиком ДМ ДЭУ. Суммарная потребляемая электрическая мощность приемников в каждый момент времени оценивается требуемым текущим значением ( $P_{\Sigma, TP}$ ) и контролируется датчиком потребляемой мощности (ДПМ).

При текущем значении генерируемой электрической мощности  $P_{СЭУ}$ , большем текущего требуемого значения  $P_{\Sigma, TP}$  приемники станции могут обеспечиваться от СЭУ. Аналогично – при текущем значении электрической мощности  $P_{ВЭУ}$ , все приемники могут обеспечиваться от ВЭУ.

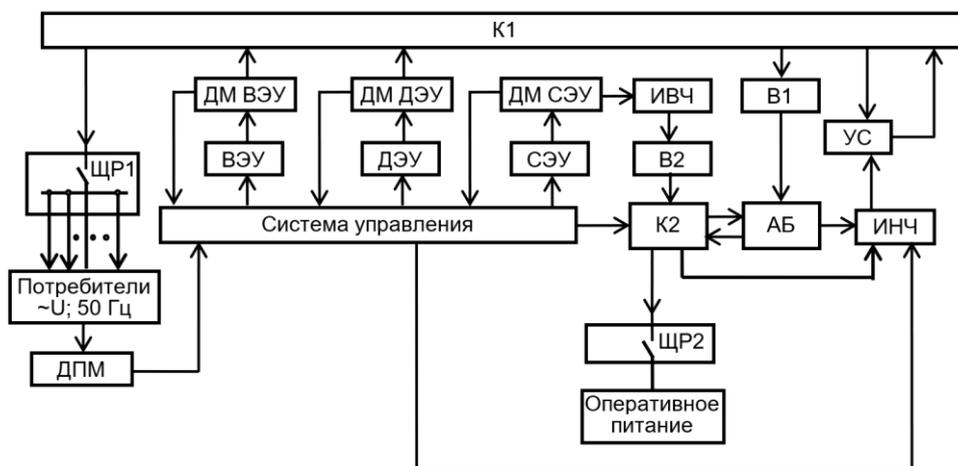


Рисунок 2. Структурная схема автономной системы электроснабжения на основе гибридной солнечно-ветровой энергетической установки и дизель-генератора

При недостаточном суммарном текущем значении  $P_{ВЭУ}$  и  $P_{СЭУ}$  включается в работу и обеспечивает потребителей станции ДЭУ. Таким образом, ДЭУ как резервный источник задействуется только в случае невозможности покрытия требуемой текущей мощности  $P_{\Sigma, TP}$  от ВЭУ и СЭУ. Описанный алгоритм реализуется схемой, представленной на рисунке 2.

При суммарных текущих значениях  $P_{ВЭУ}$  и  $P_{СЭУ}$ , достаточных для покрытия требуемой мощности приемники станции получают ее от ВЭУ и СЭУ. При этом переменное напряжение с выхода ВЭУ через коммутатор К1, распределительный щит ЩР1 подается к приемникам станции и выпрямителю В1 для подзарядки АБ. Постоянное напряжение с выхода СЭУ подается на высокочастотный инвертор ИВЧ, с выхода которого напряжение через выпрямитель В2, коммутатор К2, низкочастотный инвертор ИНЧ на устройство согласования (УС). На второй вход УС через К1 подается напряжение с выхода ВЭУ. После согласования параметров напряжений с выхода ВЭУ и с выхода ИНЧ напряжение с выхода УС через коммутатор К1 также подается к приемникам станции. При этом ВЭУ и СЭУ работают совместно. Через коммутатор К2 и распределительный щит ЩР2 АБ подключается к шинам оперативного питания.

В случае, если суммарное текущее значение электрической мощности  $P_{ВЭУ}$  и  $P_{СЭУ}$  оказывается значительно меньше требуемого текущего значения  $P_{\Sigma, TP}$  система управления через коммутатор К1 формирует команду на отключение всех приемников от ВЭУ и СЭУ, проводит запуск ДЭУ и после контроля ее выходных параметров переводит питание

---

приемников с ВЭУ и СБ на ДЭУ через коммутатор К1 и распределительный щит ЩР1. Зарядка АБ осуществляется от ДЭУ через коммутатор К1 и выпрямитель В1.

Таким образом, в данной схеме реализуется принцип максимально возможного использования энергии ветра и солнца и минимального использования энергии ДЭУ. При достаточных уровнях энергии ветра и солнца питание приемников осуществляется от ВЭУ или от СЭУ по отдельности, при недостаточности - посредством параллельно работы ВЭУ и СЭУ, чем достигается бесперебойность электроснабжения объектов связи.

#### **Выводы.**

1. Повышение надежности и бесперебойности электроснабжения удаленных от источников питания объектов связи зон централизованного и децентрализованного электроснабжения целесообразно осуществлять с применением ВИЭ на базе ВЭУ и СЭУ.
2. В зонах централизованного электроснабжения бесперебойность питания удаленных объектов достигается параллельной работой источников питания районной электросети и источников АСЭ.
3. В зонах децентрализованного электроснабжения бесперебойность питания удаленных объектов связи достигается параллельной работой ВЭУ и СЭУ.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Об утверждении Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 года. [Электронный ресурс]: URL: //https://docs.cntd.ru/document/565068231/ (дата обращения 12.09.2022 г.)
2. Возобновляемая энергетика для регионов. Интернет портал сообщества ТЭК: [Электронный ресурс]: URL: // http://www.energyland.info/analytic-show-99047 (дата обращения 14.09.2022 г.)
3. Анализ нынешнего положения изолированных систем энергоснабжения с высокими затратами на энергию. [Электронный ресурс]: URL: //http://www.cenef.ru/file/Discussion\_paper1.pdf\_(дата обращения 16.09.2022 г.)
4. Скорости ветра в России и строительство ветряных электростанций (ВЭУ) [Электронный ресурс]: URL: //https://manbw.ru/analytics/windrus.html /\_\_(дата обращения 15.09.2022 г.)
5. Безруких П.П. Ветроэнергетика. (Справочное и методическое пособие). М.: ИД «Энергия», 2010. 320 с.
6. Оценка технического потенциала ветровой и солнечной энергетики России. [Электронный ресурс]: URL: https://www.nftegas.info/upload/iblock/39b/39be0f511a6c899fc2f3dbc41f5700e1.pdf(дата обращения 19.09.2022 г.)
7. Алхасов А.Б. Возобновляемая энергетика. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2012. 256 с.
8. Ветровые районы России- карты по регионам. [Электронный ресурс]: URL: https://fasadesystem.ru/spravochnaya-informatsiya/vetrovye-rajony/\_\_(дата обращения 16.09.2022 г.)
9. Таблицы солнечных инсоляций по регионам России. [Электронный ресурс]: URL: //https://realsolar.ru/article/solnechnye-batarei/kolichestvo-solnechnoy-energii-v-regionah-rossii/(дата обращения 12.09.2022 г.)
10. Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики». Научные подразделения. Институт статистических исследований и экономики знаний. Форсайт-центр. Новости. Солнечно-ветровые установки повысят эффективность преобразования энергии. [Электронный ресурс]: URL: // https://foresight.hse.ru/news/152660612.html (дата обращения 22.09.2022 г.)

## АНАЛИЗ БЕСПРОВОДНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В КОРПОРАТИВНЫХ СЕТЯХ

<sup>1</sup>Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южный федеральный университет», Ростов-на-Дону, Россия

<sup>2</sup>Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени ФГБОУ ВО «Московский технический университет связи и информатики», г. Ростов-на-Дону, Россия

Ключевые слова: беспроводные технологии, корпоративные сети связи, Wi-Fi, WiMAX, Bluetooth, ZigBee.

В статье приведен анализ беспроводных технологий построения корпоративных сетей связи, с помощью которых возможно объединение различных сетей предприятия в единую систему, а также рассматривается настоящее состояние ряда технологий беспроводной связи.

N.K. Naimi<sup>1</sup>, B.P. Borisov<sup>2</sup>

## ANALYSIS OF WIRELESS DATA TRANSMISSION TECHNOLOGIES IN CORPORATE NETWORKS

<sup>1</sup>South Federal University, Faculty of Physics, Department of Radio physics, Rostov-on-Don, Russia

<sup>2</sup>North Caucasus branch of Moscow Technical University of Communications and Informatics, Rostov-on-Don, Russia

Keywords: wireless technologies, corporate communication networks, Wi-Fi, WiMAX, Bluetooth, ZigBee.

This article provides an analysis of wireless technologies for building corporate communication networks, with the help of which it is possible to combine various enterprise networks into a single system, and also examines the current state of a number of wireless communication technologies.

С учетом развития технологий в области беспроводных сетей и их проникновением в повседневную жизнь, сегодня имеет место спрос на установку или переход к беспроводным домашним сетям связи, не говоря уже о высокой популярности таких сетей на предприятиях. Такое внимание вызвано в первую очередь благодаря практичности беспроводных сетей, которые характеризуются мобильностью, доступной ценой, приемлемой пропускной способностью. С увеличением спроса на данный вид сетей можно сделать вывод, что требования к беспроводным технологиям будут меняться. В статье при анализе беспроводных технологий передачи данных под корпорацией будем понимать крупные и средние предприятия, имеющие удаленные подразделения чье территориальное расположение возможно в различных субъектах РФ.

Беспроводная связь обычно рассматривается как отрасль телекоммуникаций. Популярность беспроводной связи растет взрывообразными темпами, постоянно обнаруживая для операторов новые области применения – от сетевых игр на экранах сотовых телефонов до служб аварийной помощи. Это связано с распространением ноутбуков, планшетов, систем поискового вызова и возникновением систем класса «персональный секретарь» (Personal Digital Assistant (PDA)), а также расширением многофункциональных способностей сотовых телефонов.

Беспроводные сети связи призваны обеспечить деловое планирование, расчет времени, хранение документов и поддержание связи с удаленными станциями. Лозунгом этих систем стало «anytime, anywhere», то есть предоставление услуг связи вне зависимости от места и времени. Кроме того, беспроводные каналы актуальны там, где невозможна или затратная прокладка кабельных линий на большие расстояния. Еще совсем недавно большинство беспроводных компьютерных сетей передавало данные со скоростью от 1,2 до 14,0 Кбит/с, часто лишь короткие сообщения. Передача файлов больших размеров или длинные сеансы интерактивной работы с базой данных были недоступны. Широкие возможности появились с возникновением новых технологий беспроводной передачи данных, которые оперируют со скоростями в несколько десятков и сотен мегабит в секунду.

Для различных целей в корпоративных сетях связи используют различные беспроводные технологии передачи данных: Wi-Fi, WiMAX, Bluetooth, ZigBee и др. Основные характеристики и различия между используемыми технологиями приведен в таблице 1.

Таблица 1. Параметры беспроводных технологий связи.

Технологии	Bluetooth	Zigbee	Wi-Fi	WiMax	GPRS
Диапазон частот	2.4 ГГц	868/915 МГц 2.4 ГГц	2.4; 5 ГГц	2.4;5-66 ГГц	1800/1900МГц
Максимальная скорость передачи сигнала	720 Кбит/с	250 Кбит/с	до 11 Мбит/с	до 1 Гбит/с (WMAN) до 100 Мбит/с (mobile WMAN)	168 Кбит/с
Радиус действия	10 м	10–1000 м	10–100 м	до 150 км	35 км
Мощность	1–10 мВт	0,0032–1 мВт	31,6–100 мВт	199,5 мВт	1мВт - 8 Вт
Количество РЧ-каналов	79	1/10; 16	14(2.4 ГГц) 64(5 ГГц)	4; 8; 10; 20	124
Полоса пропускания канала	1 МГц	0,3/0,6 МГц 2МГц	20–25 МГц	20;10МГц	200КГц
Топология	Piconet	Звезда	BSS; IBSS; ESS	Сотовая	Сотовая

Рассмотрим перечисленные технологии более подробно. Основным и важнейшим фактором, стимулирующим переход к повсеместной беспроводной связи, стала "демократизация" беспроводной технологии, которая возникла на мобильном рынке с появлением стандарта 802.11 или WiFi. Заметен также быстрый рост количества мобильных устройств и мобильных сетей в домах, квартирах, на предприятиях и в городах. Сегодня можно легко и просто построить беспроводную сеть и обеспечить широкополосную мобильность в интересах крупных корпораций и индивидуальных пользователей [1, 2].

Одной из первых технологий, используемых на производстве при организации связи между РС в ограниченном помещении, была технология WiFi – марка технологии беспроводной сетевой связи, которая принадлежит WiFi Alliance. WiFi – это торговая фраза, означающая беспроводную технологию IEEE 802.11x передачи данных на короткие расстояния. Эта технология использует беспроводные средства для соединения персональных компьютеров, портативных устройств и других терминалов. Целью является улучшение совместимости между продуктами беспроводных сетей, основанных на IEEE 802.11 стандартах.

Как правило, для создания беспроводной сети необходимы точка доступа и беспроводные сетевые адаптеры. Таким образом, она может использовать беспроводную среду и координировать со структурой существующей проводной сети для совместного использования сетевых ресурсов. В результате получаемая стоимость и сложность установки намного ниже традиционной проводной сети.

Стандарты 802.11 имеют большое семейство, включающее около 22 различных типов. За последние десять лет наиболее широко использовался стандарт IEEE802.11a/b/g. Сейчас более популярным является стандарт 802.11n, который работает в диапазонах 2,4

---

ГГц и 5 ГГц со скоростью от 400 до 600 Мбит/с (теоретическое значение). С точки зрения покрытия, 802.11n использует технологию интеллектуальных антенн, включающую несколько групп независимых антенн с использованием антенных решеток. Она может динамично регулировать луч, чтобы каждый пользователь получал стабильные сигналы WLAN, а также способна уменьшить помехи от других сигналов [3].

Поскольку зона покрытия может быть расширена до нескольких сотен метров с помощью дополнительных устройств, значительно увеличивается мобильность WLAN. Стандарт 802.11n в основном сочетает в себе оптимизацию физического уровня и MAC-уровня, что значительно улучшает качество передачи данных и увеличивает пропускную способность технологии WLAN. Основная технология физического уровня включает в себя MIMO (множественный вход и множественный выход), MIMO-OFDM (мультиплексирование с ортогональным частотным разделением), каналы шириной 40 МГц, короткий защитный интервал и другие технологии, позволяющие повысить пропускную способность физического уровня до 600 Мбит/с.

Для более удаленного предоставления услуг связи была предложена технология WiMAX. Она позволила организовать передачу трафика в масштабах города. WiMAX, что расшифровывается как World Interoperability for Microwave Access, является стандартом на основе IEEE 802.16 технологии широкополосного беспроводного доступа в городских районах. Это стандарт воздушного интерфейса для микроволнового и миллиметрового диапазона волн. WiMAX также известен как IEEE Wireless MAN (Metropolitan Area Network).

Основываясь на стандарте IEEE 802.16, WiMAX имеет следующие особенности: он достигает около 50 км беспроводной передачи сигнала, что не может быть достигнуто беспроводной локальной сетью; зона покрытия сети в 10 раз больше, чем у вышек 3G. Благодаря строительству небольшого количества базовых станций город сможет достичь полного покрытия. В связи с этим беспроводная сеть расширяет диапазон приложений, обеспечивая скорость доступа до 70 Мб/с (при использовании 14 МГц).

Стандарты беспроводной связи для различных радиоканалов сильно отличаются друг от друга, что вызывает сложности различной степени. Например, процедуры входа в сеть и выхода из нее существенно отличаются в стандартах 802.11 и 802.16. В сетях 802.11 для добавления и передачи клиентов используются управляющие кадры, в то время как сети 802.16 используют начальную процедуру входа в сеть.

Технология передачи информации по беспроводному каналу связи Bluetooth была разработана командой компаний Ericsson, IBM, Intel, Toshiba и Nokia. Команда разработки была организована в начале 1998 года, а 20 мая 1998 года вышло официальное представление специальной рабочей группы SIG (Special Interest Group), призванной обеспечить беспрепятственное введение технологии, получившей наименование Bluetooth [4].

Bluetooth обеспечивает обмен информацией между такими устройствами, как карманные и обычные персональные компьютеры, мобильные телефоны, ноутбуки, принтеры, цифровые фотоаппараты, мышки, клавиатуры, джойстики, наушники, гарнитуры на надёжной, недорогой и повсюду доступной радиочастоте для близкой связи. Связь этих устройств может осуществляться в радиусе от 10 до 100 метров друг от друга даже в разных помещениях.

Технология ZigBee – это стандарт для недорогих, слабомощных беспроводных сетей с ячеистой топологией. Невысокая цена разрешает свободно использовать данную технологию для беспроводного контроля и наблюдения, а благодаря небольшой мощности сенсоры сети способны работать долгое время, используя независимые источники питания. Технология была изобретена группой фирм ZigBee. Эта группа служит органом, определяющим для ZigBee эталоны высоких уровней; она также публикует профили приложений, что разрешает изготовителям исходных комплектующих выпускать

совместимые продукты. Нижние уровни для данного стандарта разработаны IEEE и в основном определяются стандартами IEEE 802.15.4 [5].

GPRS (General Packet Radio Service) – это пакетная радиосвязь общего пользования, настройка над технологией мобильной связи GSM, осуществляющая пакетную передачу данных. GPRS разрешает абоненту сети сотовой связи производить обмен данными с другими устройствами в сети GSM и с внешними сетями, включая Интернет. Передача данных делится по направлениям «вниз» (downlink, DL) – от сети к абоненту и «вверх» (uplink, UL) – от абонента к сети. Мобильные терминалы делятся на классы по количеству разом используемых тайм-слотов для передачи и приёма данных [6].

На рисунке 1 представлен график зависимости дальности действия от пропускной способности различных стандартов (технологий).

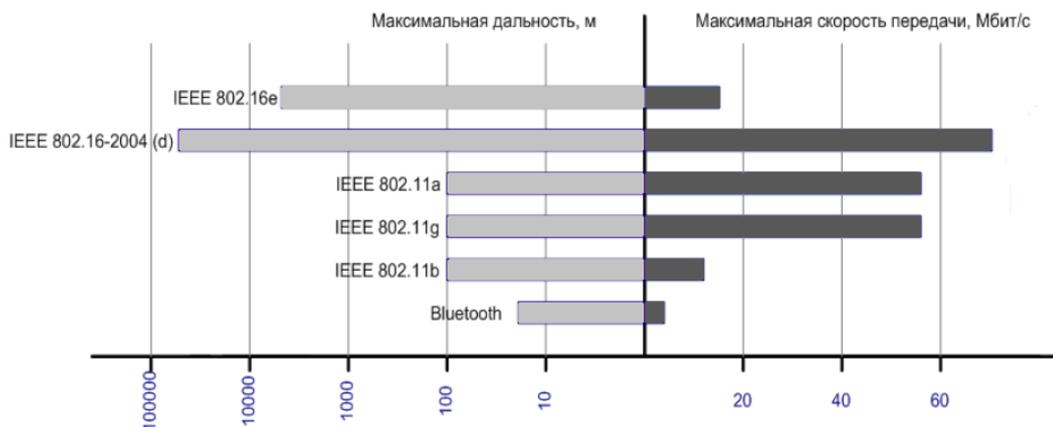


Рисунок 1. Дальность действия стандартов в зависимости от пропускной способности.

### Выводы.

Анализ основных технологий передачи данных в беспроводных сетях связи показал:

- протоколы Wi-Fi и Wi-Max обеспечивают более высокую скорость передачи данных;
- технологии Bluetooth, ZigBee и GPRS характеризуются более низкой скоростью.

Bluetooth и ZigBee предназначены для связи WPAN ввиду зоны покрытия, которая достигает 10 м, в то время как Wi-Fi ориентирован на WLAN с дальностью около 100 м, а Wi-Max и GPRS имеют радиус покрытия в несколько десятков километров для сети WMAN.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. – СПб.: Питер, 2002. – 672с.
2. Рошан П. Основы построения беспроводных локальных сетей стандарта 802.11. Практическое руководство по изучению, разработке и использованию беспроводных ЛВС стандарта 802.11. М.: Cisco Press Перевод с английского Издательский дом "Вильямс", 2004. 64 с.
3. Пахомов С.В. Анатомия беспроводных сетей. Компьютер-Пресс, №7, 2002. С. 23 - 32.
4. Якупова А.Р. Сети передачи данных на базе беспроводных технологий // В сборнике: Автоматизация, энерго- и ресурсосбережение в промышленном производстве: сборник материалов II Международной научно-технической конференции. 2017. С. 210-211.
5. Kirpichnikova I.M., Uskov A.Yu., Tsimbol A.I. Electrical load control systems based on wireless data networks with self-organizing topology // Bulletin of South Ural State University. Series: Power Engineering. 2020. Т. 20. № 1. С. 85-93.

- 
6. Корпоративные беспроводные сети. Решетникова И.В. Труды Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики. 2020. № 1. С. 231-233.

**А.В. Бородин, А.А. Бородина**

## **ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКОВ**

Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени ФГБОУ ВО «Московский технический университет связи и информатики», г. Ростов-на-Дону, Россия

Ключевые слова: сегнетоэлектрики, пьезоэлектрики, фазовые переходы, диэлектрическая проницаемость, спонтанная поляризация.

В статье перечислены особенности строения сегнетоэлектриков. У сегнетоэлектриков в определенном интервале температур и давлений существует спонтанная поляризация, направление которой может быть изменено электрическим полем и механическими напряжениями. При повышении температуры сегнетоэлектрики испытывают фазовый переход, сопровождающийся исчезновением спонтанной поляризации и изменением симметрии кристаллической решетки. При этом изменяются многие параметры кристалла. Рассмотрены наиболее перспективные направления применения сегнетоэлектрических материалов.

**A.V. Borodin, A.A. Borodina**

## **PROSPECTIVE DIRECTIONS OF USING FERROELECTRICS**

North Caucasus branch of Moscow Technical University  
of Communications and Informatics, Rostov-on-Don, Russia

Keywords: ferroelectrics, pyroelectric, phase transitions, dielectric permittivity, spontaneous polarization.

The article lists the peculiarities of the structure of ferroelectrics. Ferroelectrics have a spontaneous polarization in a certain temperature and pressure range, the direction of which can be changed by the electric field and mechanical stresses. When heating is increased, ferroelectrics experience a phase transition accompanied by the disappearance of spontaneous polarization and a change in the symmetry of the crystal lattice. At the same time, many parameters of the crystal change. The most promising applications of ferroelectrics materials are discussed.

Кристаллы называют сегнетоэлектриком, если он может находиться в двух или большем числе ориентированных состояний в отсутствие электрического поля и может быть переведен из одного состояния в другое под действием электрического поля. Любые два ориентированных состояния при нулевом электрическом поле имеют идентичную кристаллическую структуру и различаются только вектором электрической поляризации.

Сегнетоэлектрический фазовый переход представляет собой особый класс структурных фазовых переходов, который характеризуется возникновением спонтанной поляризации. Фазовые переходы подразделяются на переходы I и II рода. При фазовом переходе II рода меняются вторые производные термодинамического потенциала: диэлектрическая проницаемость и восприимчивость, теплоёмкость, коэффициент

---

теплового расширения, модуль упругости, пьезомодуль. При фазовом переходе I рода, кроме резкого изменения этих величин, испытывают скачок первые производные термодинамического потенциала: спонтанная поляризация, объем и энтропия, и выделяется скрытая теплота перехода.[1]

Температуру, при которой происходит фазовый переход, называют температурой Кюри, независимо от того, I или II рода этот переход. Вблизи фазового перехода II рода или близкого к нему перехода I рода обычно наблюдается большая чувствительность свойств сегнетоэлектрика по отношению к различным физическим воздействиям – температуре, механическим напряжениям, электрическому полю. При этом зависимость поляризации сегнетоэлектриков от механических напряжений и электрического поля может иметь нелинейный характер. У пирозэлектриков фазового перехода в непирозэлектрическое состояние не существует и соответствующие зависимости практически линейны.[2]

Спонтанная поляризация  $P_s$  в пирозэлектриках и сегнетоэлектриках возникает благодаря смещению ионов или упорядочению атомных групп, обладающих дипольным моментом. При этом в сегнетоэлектриках ионы, ответственные за появление  $P_s$ , сравнительно легко перемещаются, а дипольные группы сравнительно легко меняют направление электрического момента, благодаря чему и оказывается возможным сегнетоэлектрический фазовый переход. В пирозэлектриках такие ионы или дипольные группы жестко закреплены во всей температурной области существования твердого состояния. В этом случае внешние электрические поля не в состоянии переориентировать спонтанную поляризацию. Известны сегнетоэлектрические вещества с весьма высокими температурами Кюри, достаточно близкими к температурам плавления, например ниобат лития. Таким образом, «жесткость» некоторых сегнетоэлектриков весьма велика и по своим свойствам они приближаются к классическим пирозэлектрикам.

Температурная зависимость диэлектрической проницаемости выше сегнетоэлектрического перехода описывается законом Кюри – Вейсса:

$$\varepsilon = \frac{C}{T - \theta}.$$

Здесь  $C$  – постоянная Кюри;  $\theta$  – температура Кюри – Вейсса.

Наиболее симметричная фаза, совместимая с сегнетоэлектрической структурой, называется фазой прототипа. Для большинства сегнетоэлектриков она является неполярной. Прототип большинства сегнетоэлектриков существует как самая высокотемпературная фаза кристалла, но иногда кристалл может расплавиться прежде, чем фаза прототипа станет устойчивой. В результате малого отклонения от структуры прототипа сегнетоэлектрик приобретает спонтанную поляризацию  $P_s$ , которая убывает при увеличении температуры и исчезает непрерывно или скачком в точке Кюри. В некоторых случаях в параэлектрической области необходимо учитывать дополнительный член  $\varepsilon_0$ , практически не зависящий от температуры, и тогда

$$\varepsilon = \varepsilon_0 + \frac{C}{T - \theta}.$$

При фазовых переходах I рода температура перехода  $T_c > \theta$ , разность  $T_c - \theta$  достигает  $10^0$ , тогда как при фазовых переходах II рода  $T_c = \theta$ .

Поведение сегнетоэлектриков ниже точки Кюри обусловлена их доменной структурой. Причины образования доменов можно качественно объяснить следующим образом. Если спонтанно поляризован однородный кристалл, то заряды, возникающие на его поверхности, создают электрическое поле, которое называется деполяризующим.

---

Ниже температуры  $T_c$  в отсутствие электрического поля существует по крайней мере два направления, вдоль которых может быть направлена спонтанная поляризация. Различные области кристалла поляризуются в различных возможных направлениях так, чтобы минимизировать деполяризующие поля. Каждый однородно поляризованный объем называется доменом. Результирующая доменная структура обычно приводит к почти полной компенсации поляризации. Пирозлектрический эффект при этом оказывается очень слабым до тех пор, пока кристалл не поляризуется внешним полем.

Под влиянием внешнего электрического поля в многодоменном кристалле происходит перестройка доменной структуры, при этом в некотором объеме кристалла спонтанная поляризация меняет свое направление. Процесс переориентации спонтанной поляризации осуществляется путем движения доменных стенок, а также путем образования и прорастания зародышей новых доменов с направлением спонтанной поляризации, близким к направлению электрического поля.

Антисегнетоэлектрики образуют другую большую группу электроупорядочных кристаллов. В этих веществах ионы одного вида смещаются не параллельно друг другу, как в сегнетоэлектриках, а в противоположном направлении, что приводит к антипараллельной ориентации дипольных моментов.[3]

Многие сегнетоэлектрики характеризуются высокой диэлектрической проницаемостью, высоким пьезомодулем, интересными электрооптическими и пирозлектрическими свойствами и поэтому широко используются во многих областях современной техники: радиотехнике, гидроакустике, интегральной оптике, квантовой электронике, измерительной технике.[4] Сегнетоэлектрики находят широкое применение в радиотехнических конденсаторах, в генераторах оптических гармоник, в устройствах акустоэлектроники и оптической обработки информации, в пирозлектрических и пьезоэлектрических приемниках. Некоторые сегнетоэлектрики и антисегнетоэлектрики, например, ниобат лития, титанат лития и титанат бария, имеют выраженный электрооптический эффект. Этот эффект связан с изменением показателя преломления среды под действием внешнего электрического поля. Такие свойства сегнетоэлектриков используют для управления лазерным излучением. Продолжают привлекать внимание устройства, использующие диэлектрические, пьезоэлектрические и пирозлектрические свойства сегнетоэлектриков. Использование пирозлектрического эффекта для инфракрасного детектирования для визуализации инфракрасного изображения является особо перспективным по двум причинам: во-первых, потому что пирозлектрики дают возможность создавать простые схемы для построения изображения, а во-вторых, потому что нет другого подходящего способа для прямого построения изображения объектов при комнатной температуре.[5]

Все эти приложения были успешно реализованы благодаря достижениям в области синтеза новых материалов, а также прогрессу в технологии получения керамических сегнетоэлектриков на основе титаната бария и родственных соединений. Это позволяет изготавливать изделия из сегнетокерамики любой формы и в широком диапазоне размеров. Разработан способ горячего прессования изделий с практически нулевой пористостью, синтезирована прозрачная керамика.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бородин А.В., Захаров Ю.Н., Резниченко Л.А. Влияние полей объемных зарядов на пирозэффект в сегнетокерамике  $(1-x) \text{NaNbO}_3-x\text{KNbO}_3$ . Сборник трудов Международного симпозиума «Порядок, беспорядок и свойства оксидов», (“ODPO-2002”), Сочи, 2002г., с.41-42.
2. Захаров Ю.Н., Бородин А.В., Бородин В.З. Пирозлектрические свойства сегнетокерамики типа ЦТС в области морфотропного фазового перехода. - Известия РАН. Серия физическая. т.71, номер 5, 2007г., с.709 -710.

- 
3. Смоленский Г.А. и др. Физика сегнетоэлектрических явлений. – Л.:Наука, 1985., с.8-10.
  4. Бородин А.В., Бородина А.А. Пьезоэлектрический эффект и его применение в датчиках. - Труды Северо-Кавказского филиала московского технического университета связи и информатики, Ростов-на-Дону, 2021г., с. 54-57.
  5. Бородин А.В. Преимущества использования пьезоэлектрических приемников, Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения, 2016, Т.16.№4.с.19-21

**Е.А. Карпенко<sup>1</sup>, М.В. Кравчина<sup>2</sup>, А.В. Сергиенко<sup>2</sup>, Д.С. Андрашитов<sup>3</sup>**

### **ПРОБЛЕМЫ РЕАЛИЗАЦИИ ОБЛАЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В НИЗКООРБИТАЛЬНЫХ КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ ПЕРСОНАЛЬНОЙ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ И ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ И ТЕЛЕУПРАВЛЕНИЕ**

Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени ФГБОУ ВО «Московский технический университет связи и информатики», г. Ростов-на-Дону, Россия<sup>1</sup>  
Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Россия<sup>2</sup>  
Военная академия Ракетных войск стратегического назначения имени Петра Великого  
Балашиха, Россия<sup>3</sup>

Ключевые слова: спутниковая связь, облачные технологии, передача данных.

В работе рассматриваются проблемы организации управления многофункциональной системой спутниковой связи при решении задач информационного обмена с использованием облачных технологий.

**E.A. Karpenko<sup>1</sup>, M.V. Kravchina<sup>2</sup>, A.V. Sergienko<sup>2</sup>, D.S. Andrashitov<sup>3</sup>**

### **PROBLEMS OF CLOUD TECHNOLOGY IMPLEMENTATION IN LOW-ORBIT SPACE SYSTEMS OF PERSONAL SATELLITE COMMUNICATIONS AND DATA TRANSMISSION AND TELECONTROL**

North Caucasus branch of Moscow Technical University  
of Communications and Informatics, Rostov-on-Don, Russia<sup>1</sup>  
Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia<sup>2</sup>  
Peter the Great Military Academy of Strategic Missile Forces, Balashikha, Russia<sup>3</sup>

Key words: satellite communication, cloud technology, data transfer.

The paper considers the problems of managing a multifunctional satellite communications system when solving the problems of information exchange with the use of cloud technology.

#### **Введение.**

В настоящее время в развитых странах мира сформировался устойчивый тренд на целенаправленную информатизацию разведывательного сообщества. Это объясняется, тем, что в современных условиях политической, экономической и технологической обстановки информационные технологии рассматриваются в качестве инновационного инструмента повышения возможностей и конкурентоспособности государства при одновременной экономии средств [1].

---

В то же время в области использования информации наблюдается тенденция расширения численности пользователей при одновременном понижении их ранга (от стратегического уровня к тактическому, вплоть до единичного потребителя). Такие пользователи отличаются высоким уровнем требований к детальности, обзорности, периодичности и оперативности доставки информации [2], которые не обеспечиваются современными наземными системами управления и мониторинга. Для удовлетворения этих требований все чаще используются системы аэрокосмического мониторинга регионального и глобального масштаба, включающие различные оптоэлектронные, радиолокационные и лазерные съемочные системы, глобальные навигационные спутниковые системы ГЛОНАСС и ГЛОНАСС/*GPS*, а также современные спутниковые системы связи.

### **Постановка задачи.**

На данный момент отечественная космическая группировка по дистанционному зондированию Земли, включает всего лишь три спутника: гидрометеорологический спутник второго поколения «Электро-Л», гидрометеорологический и океанографический «Метеор-М» №1 и космический аппарат (КА) дистанционного зондирования Земли «Ресурс-ДК 1», а также спутник «Монитор-Э», который практически не эксплуатируется по целевому назначению [3]. Таким образом, объем требований к данным спутникам никак не сопоставим с их возможностями. Весьма важной остается и проблема отсутствия системы единых форматов хранения и представления данных по дистанционному зондированию земли и информационных продуктов в ведомственных информационных системах.

Решить указанные недостатки позволяет использование данных, полученных с иностранных космических аппаратов, в частности МЧС получает информацию с аппаратов *Terra, Aqua, SPOT 4/5* и др. Однако оплата за предоставляемые услуги довольно высока.

Актуальным в настоящее время является создание глобальной низкоорбитальной космической информационной системы (ГКНИС), основу которой составляет многоспутниковая орбитальная группировка малогабаритных космических аппаратов (МГКА) по принципу кластерной организации.

Под кластером МГКА понимается иерархически структурированная группа совместно выполняющих целевую задачу космических аппаратов, воспринимаемая как потребителем, так и наземным комплексом управления, как единый объект. Иерархию кластера составляют малогабаритный космический аппарат (МКА)-лидер, решающий задачи организации межспутникового взаимодействия и информационного обмена с наземным комплексом управления и потребителем, и несколько КА-ведомых, в рамках кластера решающих целевые задачи. Ключевым фактором успешного функционирования кластера МГКА является его способность решать самостоятельно часть задач, которые в настоящее время по традиционной технологии управления КА решаются наземными службами. Прежде всего это относится к возможности предварительной обработки полученной информации. Непрерывное (или высокопериодическое) наблюдение в режиме слежения, которое предполагается основным режимом работы ГКНИС на базе МГКА позволяет передавать потребителю не всю информацию, а лишь ту её часть, которая содержит существенные с точки зрения потребителя изменения с момента прошедшего наблюдения. Возможность резко снизить объем передаваемых данных является важнейшим условием реализуемости ГКНИС, так как канал связи «космос-земля» довольно энергоемок. Но осуществить такой режим работы можно лишь в случае способности бортовой аппаратуры отдельного космического аппарата произвести значительный объем вычислений в ходе предварительной обработки информации. Кроме того, такую обработку информации необходимо осуществлять крайне оперативно, фактически в режиме реального времени. Это приводит к возникновению еще одной проблемы – ограниченности вычислительных ресурсов отдельного МКА вне зависимости от его специализации в иерархии кластера. Очевидно, что как МКА-лидер, так и МКА-ведомый нуждаются в

значительных вычислительных ресурсах. Трудности создания высокопроизводительного компьютера малых габаритов, массы и низкого уровня энергопотребления, способного стабильно работать в условиях космического полета, определяют трудность создания МКА, способного решить требуемые вычислительные задачи в ходе своего функционирования. При этом трудность усугубляется тем, что если системные эффекты и позволяют снизить требования к массе и габаритам целевой аппаратуры, то необходимость их реализации в ходе многозвенного взаимодействия динамичных, удаленных друг от друга объектов наоборот предъявляет дополнительные требования к количеству и скорости обработки информации в каждом отдельном космическом аппарате. В результате при реализации ГКНИС её создателям придется иметь дело с ещё одним барьером – вычислительным, который обусловлен низкой производительностью вычислительных систем каждого отдельного МКА орбитальной группировки. Важно отметить, что преодоление этого барьера не зависит от степени энерговооруженности КА – вычисления являются не энергоемким процессом, а производительность компьютера слабо зависит от мощности системы электропитания.

Таким образом, возникает проблема обеспечения управляемости ГКНИС при ограниченности вычислительных ресурсов каждого из отдельных КА, которые составляют космическую систему. Вряд ли будет эффективным путь решения этой проблемы путем включения в состав космической системы отдельных «больших» КА, масса и габариты которых позволят установить на борту мощную БЦВМ, чтобы позволить таким КА играть роль вычислительных узлов в рамках орбитальной системы. Очевидно, что экономическая состоятельность ГКНИС будет в первую очередь зависеть от возможности использовать в её составе КА именно малой массы и габаритов, унифицированных по платформе служебных систем и производимых поточно конвейерным способом.

Предпосылками решения этой проблемы при сохранении унификации МКА в орбитальной системе может быть учет двух важных особенностей ГКНИС.

Первая особенность ГКНИС заключается в том, что её МКА в силу своей многочисленности действуют в зоне прямой видимости друг друга в условиях отсутствия помех со стороны атмосферы Земли. Максимальная дальность взаимодействия двух КА низкоорбитальной группировки зависит от высоты орбиты и высоты верхней границы атмосферы, ниже которой помехи взаимной связи приходится принимать в расчет. В простейшем случае максимальная дальность  $D_{КА}$  между двумя КА ( $КА_1 - КА_2$ ) на круговой орбите вычисляется по формуле, представлено на рисунке 1.

$$D_{КА} = \sqrt{(R_3 + H_{КА})^2 - (R_3 + H_A)^2}, \quad (1)$$

где  $R_3 = 6371$  км – радиус Земли;

$H_{КА}$  – высота орбиты КА, км;

$H_A$  – высота верхней границы атмосферы, км.

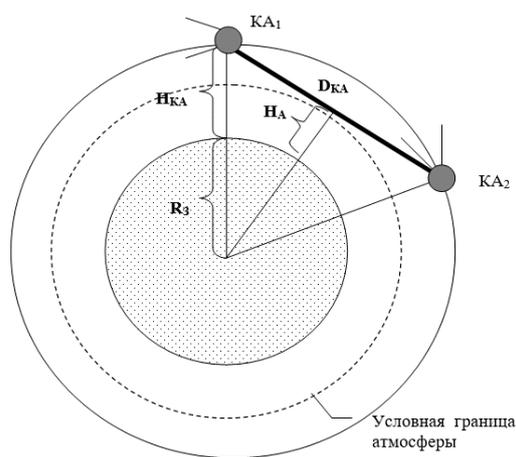


Рисунок 1. Максимальная дальность взаимодействия между КА орбитальной группировки без помех со стороны атмосферы

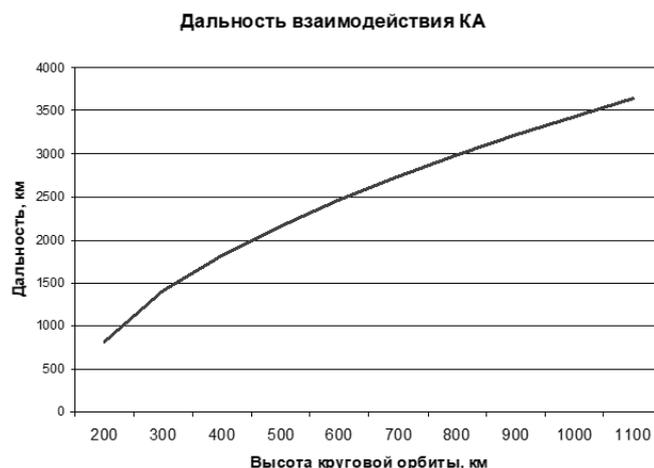


Рисунок 2. Зависимость дальности взаимодействия КА при условной высоте верхней границы атмосферы  $H_A=150$  км.

Для случая  $H_A=150$  км можно представить зависимость дальности  $D_{КА}$  от высоты орбиты  $H_{КА}$ , в качестве которой взяты типичные высоты для низкоорбитальной системы мониторинга, представлено на рисунке 2.

Не смотря на значительные расстояния, условия космического полета позволяют организовать между космическими аппаратами обмен данными при незначительных энергетических затратах. Примером может быть канал межспутниковой связи космической системы Iridium. В этой системе каждый КА орбитальной группировки имеет радиолинии связи с двумя соседними КА, находящимися в одной орбитальной плоскости с ним, и двумя КА в соседних (слева и справа) орбитальных плоскостях. Для поддержания межспутниковой связи на каждом КА имеются четыре щелевые антенные решетки с коэффициентом усиления 36 дБ. Точность управления диаграммой направленности каждой антенны составляет  $\pm 5^\circ$ . Используется полоса частот шириной 200 МГц в диапазоне 23,18–23,38 ГГц. Для исключения взаимных помех в межспутниковых каналах связи полоса частот шириной 200 МГц разбита на 8 отдельных частотных полос, которые образуют отдельные каналы связи. Скорость передачи информации в каждом канале 25 Мбит/с. В радиолинии применяется временное разделение каналов. При помощи фазовой манипуляции ФМ-4 производится кодирование информации, которое обеспечивает сжатие речевой информации в цифровом виде. Информация о сжатии, а также сигналы циклической и тактовой синхронизации передаются по каналу управления, для чего в радиолинии «КА—абонент» задействовано 4 радиоканала. Коэффициент сжатия информации (2,2/1) позволяет обеспечить передачу в радиолинии «КА—абонент» 55 речевых каналов на 25 несущих частотах. При передаче радиотелефонной информации вероятность ошибки на бит не выше 0,001, при передаче цифровых данных— 0,000001. Каждый канал межспутниковой линии связи поддерживает 600 телефонных каналов без сжатия (1300 каналов при коэффициенте сжатия информации 2,2/1).

Современные технологии связи, в том числе в области миллиметровых волн и особенно в оптическом диапазоне (по лазерному лучу) способны за пределами атмосферы обеспечить высокую пропускную способность обмена данными. Важно, что при этом энергоёмкость типичного МКА является достаточной для организации межспутникового канала связи

Вторая особенность заключается в том, что объекты наблюдения, которые могут интересовать потребителя ГКНИС, на поверхности Земли расположены довольно неравномерно, иллюстрируется на рисунке 3.

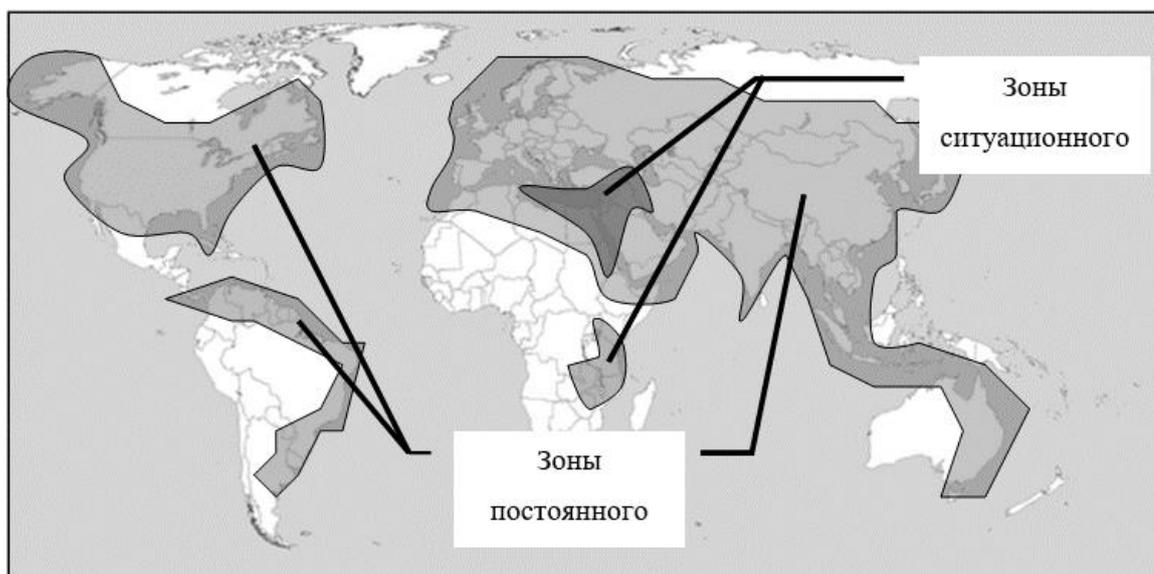


Рисунок 3. Зоны интенсивности наблюдения ГКНИС (условно).

При этом зоны интереса потребителя могут иметь как постоянный характер, что позволяет планировать использование ресурсов ГКНИС заблаговременно, так и ситуационный характер, что вызывает необходимость рассчитывать технические возможности ГКНИС для случая оперативного перенацеливания внимания на район, ранее не наблюдаемый, либо для случая повышения интенсивности наблюдения в зоне постоянного интереса.

Неравномерность интенсивности использования целевой аппаратуры космических аппаратов ГКНИС в сочетании с технологиями межспутникового обмена данными предоставляют возможность преодолеть «вычислительный барьер» отдельных КА путем организации взаимодействия между ними в рамках всей системы.

Основой такого взаимодействия является превращение всей совокупности МКА ГКНИС в единую вычислительную сеть, в которой перегруженный вычислениями объект имеет возможность передать часть своих функций по обработке информации другому объекту, который в данный момент используется не в полной мере. Эта идея полностью соответствует сущности сетевым информационным технологиям.

Такие сетевые информационные технологии обеспечивают при развёртывании орбитальной группировки КА достижение потенциальных возможностей космических систем по глобальности и оперативности, по доступу к информации о любых пространственных объектах в космическом и воздушном пространствах, на суше и море. Сегодня к таким технологиям, в первую очередь, относится получение и анализ изображений с низким, средним и высоким пространственным разрешением элементов земного рельефа, населенных пунктов и водной поверхности в различной цветовой гамме из космоса. Для задач оперативного контроля состояния природных ресурсов и экономически важных и/или опасных объектов РФ методы дистанционного зондирования Земли позволяют получать объективные данные в режиме реального времени с больших площадей, производить эффективную оценку ситуации на данной территории и оперативного принятия решения в чрезвычайной ситуации. Эти методы дают хороший экономический результат в части рационального использования предоставляемых ресурсов, а также с более высокой достоверностью позволяют производить учет материального ущерба, причиненного различного рода катаклизмами. Технологии дистанционного зондирования Земли позволяют создавать аналитические модели суточного прогнозирования на основе физических законов, но для прогнозирования развития ситуации требуются также данные за большие периоды времени, плюс

---

дополнительная гидрометеорологическая информация, наземные замеры. Вся эта информация в комплексе даёт актуальный, объективный, прозрачный срез данных, необходимый для всех заинтересованных структур. Создание подобной сетевой архитектуры возможно только при широком использовании космических средств, при этом глобальность и оперативность могут обеспечить только низкоорбитальные КС с соответствующими задачам орбитальной группировки КА.

В настоящее время к такой сетевой технологии относится, так называемая, облачная или рассеянная технология [4]. Она представляет собой технологию обработки данных, в которой компьютерные ресурсы и мощности предоставляются «КА-абоненту» как Интернет-сервис. «КА-абонент» имеет доступ к собственным данным, но не может управлять и не должен заботиться об инфраструктуре, операционной системе и собственно программном обеспечении, с которым он работает. С этой точки зрения всю систему ГКНИС, как совокупность взаимодействующих кластеров МГКА можно представить в виде единой сети. Ведь структурной основой реализации облачной технологии для наземных средств является кластерное построение сети компьютеров, которое в космосе может быть реализовано в виде кластерного построения многоспутниковой орбитальной группировки МКА, каждый из которых с точки зрения управления представляет собой периферийный компьютер ограниченной мощности в единой сети, предназначенной для решения ресурсоемких задач. Такое описание кластеров МКА практически соответствует определению кластера в терминологии облачных технологий как типа параллельной или распределенной вычислительной системы, состоящей из набора соединенных между собой и работающих совместно однородных компьютеров, которые рассматриваются как «единый интегрированный вычислительный ресурс» (*Single System Image, SSI*). Особенностью облачных технологий является обеспечение совместного использования ресурсов, распределенных по разным административным и географическим доменам, что применительно к орбитальной группировке, позволяет организовать информационный обмен не только между МКА одного кластера, но и между кластерами. Естественным для таких условий является решение передать часть ресурсоемких задач обработки информации от кластера, непосредственно решающего задачу наблюдения, к «незагруженным» на данный момент кластерам МКА. Такой подход требует представления всей орбитальной группировки МКА в виде единой иерархичной пространственно-распределенной сети разнородных вычислительных устройств, предназначенной для решения задач, вычислительный объем которых превышает не только возможности бортового цифрового вычислительного комплекса отдельного МКА, но и вычислительные возможности отдельного кластера МКА такой орбитальной группировки.

Существенным отличием ГКНИС, как облачной сети, является то, что существующие облачные технологии адаптированы для наземных немобильных компьютеров, среди которых значительная часть играет роль не вычислителей, а просто накопителей и «держателей» данных. В терминологии облачных вычислений такие компьютеры относят к первому уровню иерархии, в которой нулевой уровень представлен датчиками получения первичной информации, а второй уровень – периферийные компьютеры, собственно, и решающие задачу обработки информации. В ГКНИС роль нулевого уровня облачной иерархии играют МКА-ведомые, решающие целевую задачу по получению первичной информации. Они же, вместе с МКА-лидерами кластеров могут играть роль объектов второго уровня иерархии, обрабатывающих полученную информацию. Трудность возникает в том, что функции первого уровня иерархии, как хранилища накопленной информации, готовой для дальнейшей обработки, в ГКНИС возлагать на космические аппараты непродуктивно, а использование в качестве промежуточного хранилища наземной аппаратуры немедленно влечет за собой недопустимое увеличение объема передачи данных по линии «космос-земля-космос».

### **Заключение.**

В этой связи актуальным становится исследование вопроса о создании на базе мобильных космических носителей хранилища данных в виде управляемой «информационной волны». Предполагается, что первичные данные от целевых МКА (нулевого уровня облачной иерархии) будут переданы на некоторую совокупность МКА, территориально близких к КА нулевого уровня и временно играющих роль хранилища информации, к которому могут обращаться МКА второго уровня иерархии, решающие задачу обработки данных. Поскольку КА-хранилища через определенный промежуток времени окажутся в зоне интересов потребителя и будут привлечены к выполнению целевых задач, они обязаны передать свою часть базовой информации следующим за ними свободным КА. Процесс должен напоминать волну, перетекающую от одного носителя к другому с целью удержать гребень этой волны над теми участками Земли, где основная масса МКА ГКНИС не задействована для решения целевых задач. С учетом того, что ГКНИС должна быть рассчитана на обслуживание оперативно возникающих зон ситуативного интереса потребителя, возникает необходимость в разработке не только технологии формирования и поддержания «информационной волны», но и технологии её реконфигурации и переноса на другой участок «информационного затишья».

В рамках существующих облачных технологий подобные задачи пока не решены, поскольку специфика наземных компьютеров не вызвала необходимости в их разработке. В то же время разработка подобной технологии может оказаться ключевым моментом в создании экономически состоятельной ГКНИС.

Работа подготовлена в рамках научной темы "Разработка беспилотных технологий на основе комплексной поэтапной оптимизации с редукцией экстремальных задач и инструментов нейро-нечеткого моделирования" (FZNE-2022-0006).

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Кондратьев, А. Облачное будущее по-американски / А. Кондратьев, Ю. Затуливетер // Независимое военное обозрение. – 2013. – №4(745). – С. 8-9.
2. Макаренко, Д. М. Проблемы реализации *GRID*-технологий для решения задач информационного обмена в глобальной низкоорбитальной космической информационной системе / Д. М. Макаренко, А. Ю. Потюпкин // Вестник МАТИ. – 2012. – №19. – С. 242-249.
3. Галькевич, А. И. Концепция и перспектива создания и использования глобальной космической низкоорбитальной информационной системы "Космонет" для информационного обеспечения техносферной безопасности / А. И. Галькевич // Технологии техносферной безопасности. – 2011. – №4(38). – С. 1-7.
4. Широкова, Е. А. Облачные технологии / Е. А. Широкова // Современные тенденции технических наук. – 2011. – С. 30-33.
5. Modification and optimization of Miller - Rabin simplicity test algorithm implemented by parallel computation. Cherckesova L.V., Safaryan O.A., Trubchik I., Chumakov V., Yukhnov V.I., Yengibaryan I.A. В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Сер. "International Scientific and Practical Conference Environmental Risks and Safety in Mechanical Engineering, ERSME 2020" 2020. С. 012064.

## АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЛНОВОЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ АВТОНОМНЫХ ОБЪЕКТОВ СВЯЗИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Донской государственный технический университет», г. Ростов-на-Дону, Россия

Ключевые слова: электроснабжение, автономные объекты связи, потенциал волновой энергии, волновые электростанции, технические требования, поплавковый волновой генератор.

В статье рассмотрены рекомендации по созданию волновых электростанций на основе анализа потенциала волновой энергии, предложены основные технические требования к этим станциям у морских берегов России для электроснабжения автономных объектов связи. Выполнен анализ потенциала волновой энергии, который показал, что наибольшим потенциалом по волновой энергии обладают Берингово, Охотское и Баренцево моря, наименьший потенциал имеют Черное, Каспийское и Балтийское моря; волновые источники энергии целесообразно использовать в труднодоступных регионах Чукотки, Камчатки и Дальнего Востока. Сформулированы предложения по выбору основных технических требований к волновым электростанциям у морских берегов России. К ним относятся следующие: высокая надежность, экологичность, конструктивная прочность, простота конструкции и мобильность. Проведенный патентный поиск позволил найти поплавковый волновой генератор, удовлетворяющий указанными требованиями.

N.V. Rudenko, V.V. Evstafiev, Yu.Yu. Boyko

## ANALYSIS OF THE POSSIBILITY OF USING WAVE ENERGY FOR POWER SUPPLY OF AUTONOMOUS COMMUNICATION OBJECTS

Federal State Educational Institution of Higher Education "Don State Technical University",  
Rostov-on-Don, Russia

Key words: power supply, autonomous communication facilities, wave energy potential, wave power plants, technical requirements, float wave generator.

The article considers recommendations for the creation of wave power plants based on the analysis of the potential of wave energy, and proposes the main technical requirements for these stations near the sea coast of Russia for the power supply of autonomous communication facilities. An analysis of the potential of wave energy was carried out, which showed that the Bering, Okhotsk and Barents Seas have the greatest potential for wave energy, the Black, Caspian and Baltic Seas have the smallest potential; wave energy sources should be used in hard-to-reach regions of Chukotka, Kamchatka and the Far East. Proposals are formulated for the selection of the main technical requirements for wind farms near the sea coast of Russia. These include the following: high reliability, environmental friendliness, structural strength, simplicity of design and mobility. The conducted patent search made it possible to find a float wave generator that meets the specified requirements.

### **Введение.**

На 70% земля состоит из воды. Что является огромным ресурсом для возобновляемых источников энергии. Мировой технический потенциал энергии волн оценивается на уровне 11 400 тераватт-час в год. Его возобновимый потенциал на 1 700

терратт-часов в год составляет примерно 10% мировых потребностей в электроэнергии [1].

В России, большое количество населенных пунктов остается без сотовой связи, не говоря уже об интернете. Основная часть – это Сибирь и Дальний Восток. Именно там развитие сотовой связи довольно слабое, относительно центральных районов. Несмотря на всю сложность обустройства местность связью, многие уже начинают вкладывать средства в развитие инфраструктуры даже в малонаселенных местах. Зона покрытия стандарта 3G России представлена на рисунке 1 [2].

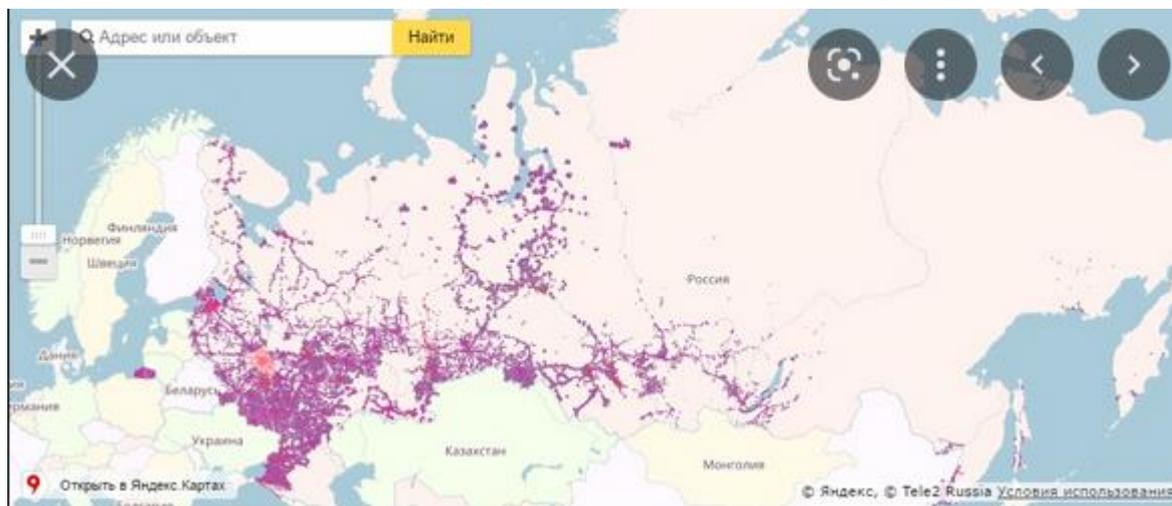


Рисунок 1. Зона покрытия стандарта 3G России

Проблема связи на Дальнем Востоке стоит очень остро, и с имеющейся инфраструктурой достаточно сложно её решить. Это касается как магистральных каналов связи с выходом в единую сеть страны, так и информационной инфраструктуры населенных пунктов. Десятая часть населения Дальнего Востока не имеет доступа к широкополосному интернету и качественной мобильной связи [2].

В этих регионах есть автономные объекты связи, но нет стабильного источника электроснабжения, однако в этих местах можно использовать волновую энергию.

Таким образом, разработка рекомендаций по созданию волновых электростанций (ВЭС) на основе анализа потенциала волновой энергии, а также предложений по выбору основных технических требований к ВЭС у морских берегов России для электроснабжения автономных объектов связи является актуальной задачей.

### **Результаты исследования.**

#### **Анализ потенциала волновой энергии.**

Россия самая большая по площади страна и её периметр омывают огромное количество морей, среди которых только Чёрное море является полностью незамерзающим. Моря, на которых можно использовать волновые электростанции круглогодично относятся к морям Атлантического океана: Балтийское море, Черное море, Азовское море. Каспийское море покрывается льдом с января по март на мелководной северной части. На моря Тихого океана: Берингово море, Охотское море, Японское море, более суровая зима. В зимний период Охотское полностью покрывается льдом, а у Берингова и Японского морях замерзают только побережья. Летом над Японским море часто проходят тайфуны. Из морей Северного Ледовитого океана только западная окраины Баренцева моря, не замерзает. В этих морях встречаются айсберги. Летом дрейфуют льдины у берегов.

Следовательно, на берегах указанных морей (кроме Черного) возможно использование мобильных ВЭС только в теплый период года [2]. Данные о

пространственном распределении энергии волн и ветра в омывающих морях, где возможно использование ВЭС представлены в таблице 1 [3].

Таблица 1. Данные о пространственном распределении энергии волн и ветра в омывающих морях, где возможно использование ВЭС

Водоем	Области	Энергия кВт/М	Высота, м	Длина, м	Период, с	Макс. Высота волн, м	Скорость ветра 100м, м/с
Берингово м.	Чукотский авт.окр, Камчатка	41.36	2.69	112.10	5.78	14.27	-
Баренцево м.	Ненецкий авт.окр	16.04	1.73	55.49	3.62	12.03	8.62
Белое море	Карелия, Архангельская обл.	5.96	1.13	38.13	3.04	8.91	8.59
Балтийское м.	Калининград	5.63	1.08	21.12	3.85	8.30	8.6
Черное м.	Крым, Краснодарский к.	1.67	0.67	13.12	3.15	7.54	6.5
Азовское м.	Крым, Ростовская обл.	2					
Каспийское м.	Дагестан, Калмыкия	4.12	1.02	-	-	6.54	8
Охотское м.	Камчатка, Хабаровский край	30.48	2.31	106.63	5.68	15.46	9.32
Японское м.	Приморский край	4.91	1.04	48.68	3.73	8.91	7.15

В результате анализа таблицы 1 можно сделать следующие выводы:

- наибольшим потенциалом по волновой энергии обладают Берингово, Охотское и Баренцево моря;
- наименьший потенциал имеют Черное, Каспийское и Балтийское моря;
- волновые источники энергии целесообразно использовать в труднодоступных регионах, например, Чукотке, Камчатке и Дальнем Востоке, где в некоторых районах электричества нет, и невозможно протянуть ЛЭП, а завозить дизельное топливо для электростанций дорого и не всегда возможно.

Можно также сформулировать предложения по выбору основных технических требований к ВЭС у морских берегов России. К ним относятся следующие:

- высокая надежность;
- экологичность;
- конструктивная прочность;
- простота конструкции;
- мобильность, т.е. возможность оперативного перемещения ВЭС в прибрежные районы, где отсутствует лед в теплый период года.

#### **Предложение по выбору ВЭС.**

Проведенный патентный поиск позволил найти поплавковый волновой генератор (ПВГ), удовлетворяющий указанными требованиями (рисунок 2) [4].

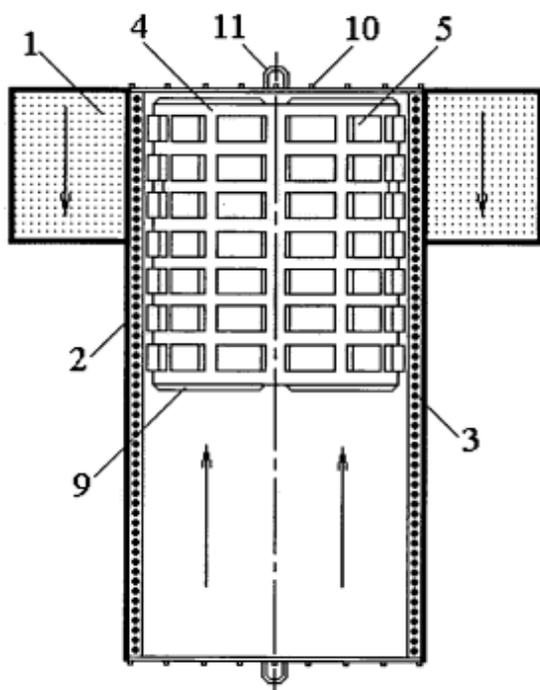


Рисунок 2. Продольный разрез ПВГ с одним вертикальным каналом с сердечником с постоянными магнитами

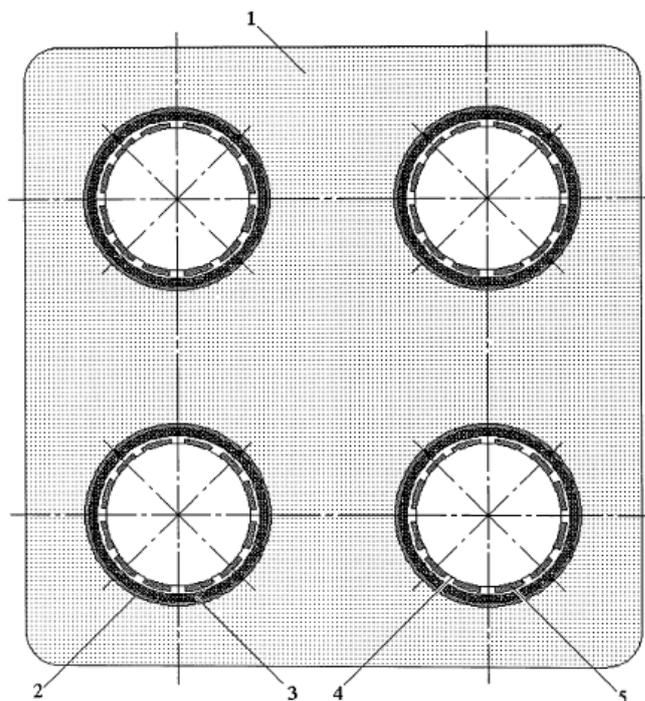


Рисунок 3. Вид сверху ПВГ с четырьмя каналами

Поплавковый волновой генератор содержит корпус (1) с прямолинейным вертикальным каналом (2), выполненный плавучим; обмотку статора (3) на внутренней стенке вертикального канала (2); сердечник (4) с постоянными магнитами (5), выполненный плавучим и размещенный внутри вертикального канала (2) с возможностью вертикального возвратно-поступательного движения относительно обмотки статора (3). Верхняя часть корпуса (1) выступает над поверхностью водоема, нижний конец вертикального канала (2) сообщается с водой водоема, верхний конец вертикального канала (2) сообщается с атмосферой, а инертность сердечника (4) отличается от инертности корпуса (1) так, что при наличии волн на поверхности водоема сердечник (4) и корпус (1) приобретают различные ускорения вдоль вертикальной оси. Это позволяет упростить конструкцию поплавкового волнового генератора и повысить надежность его работы.

Возможно наращивать мощность автономного источника энергии для электропитания различных автономных объектов связи за счёт добавления каналов, как показано на рисунке 3.

На верхней и нижней ограничительных решетках 10 выполнены рымы 11 для гибкой установки и крепления поплавкового волнового генератора при помощи троса 12 ко дну или шарнирной установки и крепления генератора при помощи жестких траверс 13 к борту судна или пирса, как показано на рисунке 4.

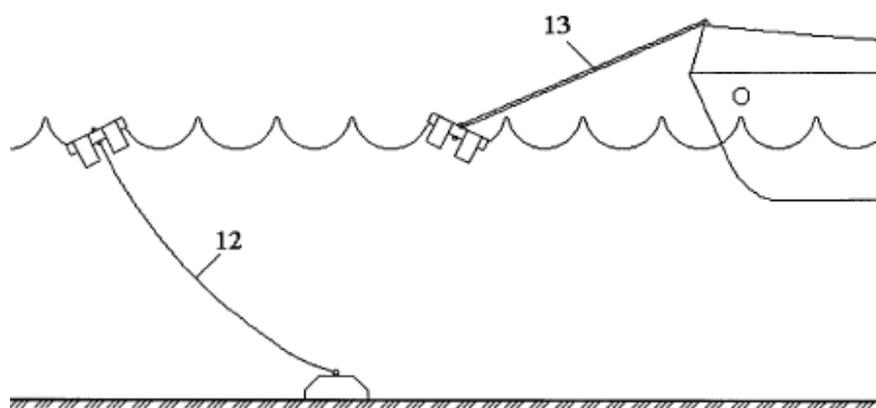


Рисунок 4. Варианты установки и крепления ПВГ

Работа поплавкового волнового электрогенератора осуществляется следующим образом. Под напором волн поплавок 1 начинает совершать вертикально- поступательные и боковые колебания, что в свою очередь приводит в колебательное возвратно-поступательное движение расположенные в вертикальных каналах сердечники 4 с установленными на них постоянными магнитами 5. В процессе колебательных движений сердечники 4 с установленными на них постоянными магнитами 5 возбуждают индукционные токи в обмотках 3, в результате чего возникает электродвижущая сила, которая индуцирует в обмотках 3 электрическое напряжение.

#### **Выводы.**

1. Анализ потенциала волновой энергии показал, что наибольшим потенциалом по волновой энергии обладают Берингово, Охотское и Баренцево моря, наименьший потенциал имеют Черное, Каспийское и Балтийское моря; волновые источники энергии целесообразно использовать в труднодоступных регионах Чукотки, Камчатки и Дальнего Востока.
2. Сформулированы предложения по выбору основных технических требований к ВЭС у морских берегов России. К ним относятся следующие: высокая надежность, экологичность, конструктивная прочность, простота конструкции и мобильность.
3. Проведенный патентный поиск позволил найти поплавковый волновой генератор, удовлетворяющий указанными требованиями.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Возобновляемые источники энергии в океанах // [Электронный ресурс] URL: [maritime-zone.com/news/view/vozobnovlyaemye\\_istochniki\\_energii\\_v\\_okeanah](http://maritime-zone.com/news/view/vozobnovlyaemye_istochniki_energii_v_okeanah) (дата обращения 15.10.2022 г.)
2. Минвостокразвития: у 10% населения Дальнего Востока нет доступа к качественной связи // [Электронный ресурс]: Рамблер / URL: <https://auto.rambler.ru/other/40531325-minvostokrazvitiya-u-10-naseleniya-dalnego-vostoka-net-dostupa-k-kachestvennoy-svyazi/> (дата обращения 15.10.2022 г.)
3. Атлас ресурсов волновой энергии // [Электронный ресурс] URL: <http://carto.geogr.msu.ru/wavenergy/> (дата обращения 15.10.2022 г.)
4. Наздратенко А.Е. 2009 Поплавковый волновой генератор No.WO2009017437A1 Международная заявка. No. PCT/RU2008/000319 // [Электронный ресурс]: Google Patents / URL: <https://patents.google.com/patent/WO2009017437A1/ru> (дата обращения 15.10.2022 г.)

## ОПТИМИЗАЦИЯ СЕТЕЙ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ ЗА СЧЕТ ИЗМЕНЕНИЯ МАРШРУТНОЙ МАТРИЦЫ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Донской государственный технический университет»,  
г. Ростов-на-Дону, Россия

Ключевые слова: сети телекоммуникаций, оптимизация сетей, диагностирование узких мест, перераспределение информационных потоков.

В статье рассмотрена задача оптимизации сетей телекоммуникаций на основе диагностирования узких мест и перераспределения информационных потоков между копиями одинаковых типов ресурсов системы без изменения качественных и количественных характеристик имеющихся ресурсов. Сформулирована задача оптимизации сетей телекоммуникаций в терминах модели сетей массового обслуживания. Разработанные процедуры позволят автоматизировать решение сформулированной задачи оптимизации сетей телекоммуникаций путем поиска и устранения узких мест с минимальными затратами на управление при обеспечении требуемой производительности. Работоспособность и практическая значимость результатов подтверждается методическим примером.

V.V. Evstafiev, N.V. Rudenko, Kh.Sh. Duguchieva

## OPTIMIZATION OF TELECOMMUNICATIONS NETWORKS DUE TO CHANGING THE ROUTE MATRIX

Federal State Educational Institution of Higher Education "Don State Technical University",  
Rostov-on-Don, Russia

Keywords: telecommunications networks, network optimization, bottleneck diagnostics, redistribution of information flows.

The article considers the problem of optimizing telecommunications networks based on diagnosing bottlenecks and redistributing information flows between copies of the same types of system resources without changing the qualitative and quantitative characteristics of the available resources. The problem of optimizing telecommunications networks is formulated in terms of a model of queuing networks. The developed procedures will automate the solution of the formulated problem of optimizing telecommunications networks by finding and eliminating bottlenecks with minimal management costs while ensuring the required performance. The efficiency and practical significance of the results is confirmed by a methodological example.

### **Введение.**

Современные сети телекоммуникаций включают в себя высокопроизводительные элементы [1, 2]. Причем эти элементы относятся к различным типам элементов, то есть являются копиями различных типов ресурсов [3,4]. Однако не всегда высокопроизводительные элементы обеспечивают требуемую высокую производительность всей сети [3,5]. В таких системах именно взаимосвязи между компонентами, а не компоненты сами по себе, определяют в большей мере качественные характеристики целостности [5,6]. Удачно правильная организованная взаимосвязь элементов сетей телекоммуникаций позволяет наиболее полно использовать потенциальные возможности её элементов [7], в противном случае, следует утверждать, что в сети имеются узкие места [5, 8]. Алгоритм общего решения задачи оптимизации

систем телекоммуникаций разработанный в [5] предполагает, вначале, на модели сетей массового обслуживания, диагностировать узкие места, далее, изменением значений элементов маршрутной матрицы добиться более полного согласования характеристик элементов сети.

Таким образом, задача оптимизация сетей телекоммуникаций на основе устранения узких мест и перераспределения информационных потоков между копиями одинаковых типов ресурсов системы без изменения качественных и количественных характеристик имеющихся ресурсов является актуальной.

### Постановка задачи.

С целью сокращения затрат оптимизацию необходимо начинать при имеющихся количественном и качественном составе ресурсов и только потом, если в этом есть необходимость, включать в сеть телекоммуникаций те или иные обоснованные ресурсы в обоснованных количествах. Оптимизация при имеющихся ресурсах возможна путем перераспределения потоков между копиями одинаковых типов ресурсов системы. Следовательно, задача оптимизации сети телекоммуникаций разбивается на две подзадачи: диагностирование узких мест; разгрузка узких мест перераспределением потоков между элементами системы.

### Результаты исследований.

Исходное состояние сети телекоммуникаций, характеризуется набором типов ресурсов по несколько копий в каждом. На сети поступает внешняя нагрузка. Взаимодействие элементов при функционировании сети известно. Каждый элемент системы характеризуется параметрами отражающие его производительность.

Критерий оптимизации - минимум затрат на перевод сети телекоммуникаций из исходного состояния в состояние, соответствующее оптимальному.

Изменяемые параметры – элементы маршрутной матрицы, то есть параметры, характеризующие взаимодействие элементов. Именно изменение этих параметров предполагает перераспределение потоков и достижение более полного согласования характеристик элементов. Ограничения: производительность после проведения оптимизации должна быть не хуже требуемой; распределение потоков проводится между копиями одинаковых типов ресурсов. Кроме указанных ограничений могут быть и другие, в зависимости от конкретной задачи.

Постановка задачи в формализованном виде описывается следующим образом.

Исходное состояние системы, обеспечивающее производительность  $\bar{t}_0$ ;

$$XO = \{M, QO, CB, COA, HO\}, \quad (1)$$

где  $\bar{t}$  – производительность сети, индекс реактивности;

$M = \{M(i)\}, i = \overline{1, L}$  – вектор производительностей элементов сети (интенсивностей обслуживания элементами своих входных потоков);

$L$  – количество элементов сети;

$Q = \{q(i, j)\}, i = \overline{0, L}, j = \overline{0, L}$  – маршрутная матрица,

$q(i, j)$  – вероятность того, что заявка (требование) после обслуживания в элементе  $i$  поступит на обслуживание в элемент  $j$ ;

$CB = \{CB(i)\}, i = \overline{1, L}$  – вектор коэффициентов вариации распределения интервалов времени между окончаниями обслуживания заявок (требования);

$COA = \{COA(0, i)\}, i = \overline{1, L}$  – вектор коэффициентов вариации распределения интервалов времени между поступлениями заявок (требований) в элемент от источника заявок;

$HO$  – скаляр, интенсивность источника заявок.

$$G_1 : X_1 \rightarrow \bar{t}, X_1 = \{M, Q, CB, COA, HO\} \quad (2)$$

- отображение по оценки производительности.  
Требуется найти минимум затрат на управление.

$$C(\Delta Q) \rightarrow \min \quad (3)$$

Необходимо учитывать следующие ограничения.

Основное ограничение

$$\bar{t} \leq \bar{t}_T \quad (4)$$

где  $\bar{t}_T$  - требуемое значение производительности сети телекоммуникаций, которое достигается в результате изменения элементов маршрутной матрицы;

Дополнительные ограничения:

- ограничение на изменения элементов маршрутной матрицы (по техническим и другим причинам)

$$[q(i, j)]_{\min} \leq q(i, j) \leq [q(i, j)]_{\max}, i = \overline{0, L}; j = \overline{0, L}; \quad (5)$$

- условие обеспечения стационарного режима функционирования сети массового обслуживания

$$\rho(i) < 1, i = \overline{0, L}; \quad (6)$$

- условие обеспечения стохастичности  $Q$ , сумма элементов по строке матрицы должно быть равно 1 (условие полной группы событий)

$$\sum_{j=0}^L q(i, j) = 1, i = \overline{0, L}; \quad (7)$$

- распределение потоков (в результате изменения маршрутной матрицы) проводить между копиями одинаковых типов ресурсов.

- распределение потоков (в результате изменения маршрутной матрицы) проводить между копиями (элементами  $i$  и  $j$ ) одинаковых типов ресурсов,

$$i = \overline{1, L}; \quad j = \overline{1, L}; \quad i \neq j \cap i \in RES[j], \quad (8)$$

где  $RES[j]$  - тип ресурса, к которому принадлежит элемент  $j$ .

Рассмотрим случай, когда затраты на изменение любого элемента  $Q$  одинаковы и функция затрат имеет линейную зависимость

$$C = c_0 \left[ \sum_{i=0}^L \sum_{j=0}^L |\Delta q(i, j)| \right], \quad (9)$$

где  $c_0$  – цена затрат элемента маршрутной матрицы.

#### Содержание процедур перераспределения потоков.

В рассматриваемой задаче изменяемыми параметрами являются элементы маршрутной матрицы  $q(i, j)$ ;  $i = \overline{0, L}$ ,  $j = \overline{0, L}$ . Дополнительное ограничение (7) по сохранению стохастичности матрицы требует, при изменении значения любого элемента  $Q$  (первичное изменение), так же изменять значения одного или нескольких элементов, находящихся на той же строке, где находится первично изменяемый элемент (назовем это изменение вторичным).

Первичное изменение

$$q(i, j) \pm \Delta$$

Вторичные изменения

$$\begin{aligned} q(i, 0) \mp \Delta \cdot d(0); \\ q(i, 1) \mp \Delta \cdot d(1); \\ \dots\dots\dots \\ q(i, l) \mp \Delta \cdot d(l); \\ \dots\dots\dots \\ q(i, L) \mp \Delta \cdot d(L). \end{aligned} \quad (10)$$

где  $l = \overline{0, L}$ ,  $l \neq j$ ,  $0 \leq d(l) \leq 1$ ,  $\sum_{l=0}^L d(l) = 1$ .

Даже если предположить, что первичное изменение известно, определение вторичных изменений значительно увеличит вычислительные затраты. Ведь каждый раз (для каждой комбинации вторичных изменений) необходимо вычислять в соответствии с отображением (2)

Учет особенностей оптимизируемой системы позволит упростить процедуры изменений значений элементов маршрутной матрицы. Воспользуемся алгоритмом общего решения задачи оптимизации системы телекоммуникаций, разработанным в работе [5]. Из этого алгоритма рассмотрим более подробно блок 4 имеющий название «Разгрузка узких мест перераспределением потоков между элементами системы». Причем в соответствии с принятым в данной работе ограничением перераспределение потоков осуществляется между копиями одинаковых типов ресурсов.

Процедуры перераспределения потоков предусматривают следующее. На первом этапе определяют узкое место системы по максимальному значению загрузки  $p(i)$ , и уточняется, к какому типу ресурса относится узкое место. Далее, анализируя загрузки только элементов, относящиеся к тому же типу ресурса, что и УМ, определяют, за счет какого элемента будет разгружаться УМ (назовем этот элемент антиподом УМ). Учет особенностей функционирования оптимизируемой конкретной сети и конкретной маршрутной матрицы позволит определить входной поток того элемента, который является УМ, и этот входной поток УМ частично перераспределить на вход элемента-антипода УМ, т.е. конкретизировать первичное и вторичные изменения маршрутной матрицы.

#### Формализация описанных выше процедур.

Под узким местом сети телекоммуникаций будем понимать элемент  $r(i)$ , который максимально загружен, поэтому для него выполняется условие

$$r(i) = \max_{j=1,L} p(j), \quad (11)$$

где  $p(j)$  – загрузка элемента, отношение интенсивности входного потока в элемент сети к интенсивности обслуживания элементом сети входного потока.

Рассмотрим формализацию процедур по перераспределению потоков только одного УМ. Обозначим множество элементов того же типа ресурсов, к которому принадлежит УМ, т.е. элемент  $r(i)$  –  $RES [r(i)]$ . Тогда в этом же множестве всегда найдется элемент с наименьшей загрузкой  $rq(i)$ , для которого выполняется следующее условие:

$$rq(i) = \begin{cases} q, & \text{если } p(q) = \min_{j \in RES[r(i)]} p(j); \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases} \quad (12)$$

Именно на вход элемента  $rq(i)$  целесообразно передавать часть входного потока элемента  $r(i)$ , чтобы разгрузить УМ.

Строку маршрутной матрицы, имеющей наибольшее значение вероятности, но не равное единице в  $r(i)$ -том столбце обозначим

$$rl(i) = \begin{cases} l, & \text{если } [q(l, r(i)) = \max_{j=1,L} q(j, r(i))] \cap [q(l, r(i)) \neq 1], j = \overline{1; L}; \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases} \quad (13)$$

Равенство вероятности единице исключает из рассмотрения этот элемент, т.к. вероятность равная единице запрещает взаимодействие этого элемента с другими. Если вероятность в  $l$ -ной строке и  $r(i)$ -м столбце равна 1, т.е.  $q(l, r(i)) = 1$ , то элемент взаимодействует только с элементом  $r(i)$ , следовательно, с выхода  $ql(i)$  элемента поток передается только элементу  $r(i)$  и никакому другому.

В маршрутной матрице максимальная вероятность, в большинстве случаев, определяет максимальный поток. Это обусловлено тем, что сумма вероятностей в каждой строке маршрутной матрицы равна 1 (полная группа событий). Поэтому целесообразно с выхода элемента, номер которого соответствует строке  $rl(i)$ , часть входного потока передавать не элементу  $r(i)$ , а чтобы его разгрузить, другому элементу  $rq(i)$ , менее загруженному в этом типе ресурсов.

Таким образом, первичное и вторичное изменение маршрутной матрицы по разгрузке УМ осуществляется следующим образом

$$\begin{cases} q(rl(i), r(i)) = q^*(rl(i), r(i)) - \Delta; \\ q(rl(i), rq(i)) = q^*(rl(i), rq(i)) + \Delta, \end{cases} \quad (14)$$

где  $*$  – знак принадлежности значения параметра до изменения его значения;  
 $\Delta$  – значение изменения элементов маршрутной матрицы.

### Результаты моделирования.

Рассмотрим пример, иллюстрирующий практическую значимость предложенного подхода.

#### Пример.

Рассмотрим сеть телекоммуникаций, состоящую из 15 элементов ( $L=15$ ). Интенсивность источника  $H_0 = 2$  ед. потока/ч. Система имеет 5 типов ресурсов по 3 копии в каждом типе ресурсов. Остальные исходные данные приведены в таблице 1.

В таблице 1 также приведено соответствие номера элемента одному из 5 типов ресурса. К первому типу ресурса относятся элементы: 1; 2; 3. К второму типу ресурса

относятся элементы: 4; 5; 6. К третьему типу ресурса относятся элементы: 7; 8; 9. К четвертому типу ресурса относятся элементы: 10; 11; 12. К пятому типу ресурса относятся элементы: 13; 14; 15.

Значения изменений маршрутной матрицы: основного  $\Delta = 0,12$ .

Таблица 1. Исходные данные примера

Тип ресурсов															
Пар. №	Элементы 1-го типа ресурсов			Элементы 2-го типа ресурсов			Элементы 3-го типа ресурсов			Элементы 4-го типа ресурсов			Элементы 5-го типа ресурсов		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$M(i)$ [ед. потока/ч]	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	4,5	4,5	4,5	4,0	4,0	4,0	2,0	2,0	2,0
$CB(i)$	0,3	0,3	0,3	0,7	0,7	0,7	1,2	1,2	1,2	1,5	1,5	1,5	0,8	0,8	0,8
$COA(i)$	0,7	0,8	0,9	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–

Функция затрат определяется выражением (9). В данном случае затраты будут определяться суммарными изменениями элементов маршрутной матрицы

$$\sum_{i=0}^L \sum_{j=0}^L |\Delta q(i, j)|$$

и функцию затрат условно можно выразить этой суммой.

В результате анализа исходных данных и с учетом формализованных в работе процедур условием примера является следующее.

Требуется выполнить оптимизацию перераспределения потоков в сети телекоммуникаций между копиями одинаковых типов ресурсов по обеспечению выполнения основного ограничения (4), то есть достижения требуемой производительности системы  $\bar{i}_T = 8,61$ ч.

Первоначальная маршрутная матрица  $Q_0$  представлена в таблице 2.

Таблица 2. Первоначальная маршрутная матрица  $Q_0$

Типы ресурсов																
		Элементы 1-го типа ресурсов			Элементы 2-го типа ресурсов			Элементы 3-го типа ресурсов			Элементы 4-го типа ресурсов			Элементы 5-го типа ресурсов		
j \ i	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0		0,25	0,30	0,45												
1	0,40				0,4			0,20								
2	0,30					0,5			0,20							
3	0,40						0,3			0,30						
4		0,30									0,70					
5			0,40									0,60				
6				0,50									0,50			
7		0,20									0,30			0,50		
8			0,25									0,35			0,40	
9				0,20									0,40			0,40
10					0,6			0,40								
11						0,5			0,50							
12							0,4			0,60						
13								1,00								
14									1,00							
15										1,00						

**Решение.**

В ходе определения производительности системы, соответствующие исходным данным, используя отображение  $G_1(2)$ , получены результаты, указанные в таблице 3, что обеспечивает  $\bar{t}_0 = 8,90\text{ч}$ . Первоначальная структура оптимизируемой сети телекоммуникаций представлена на рисунке 1.

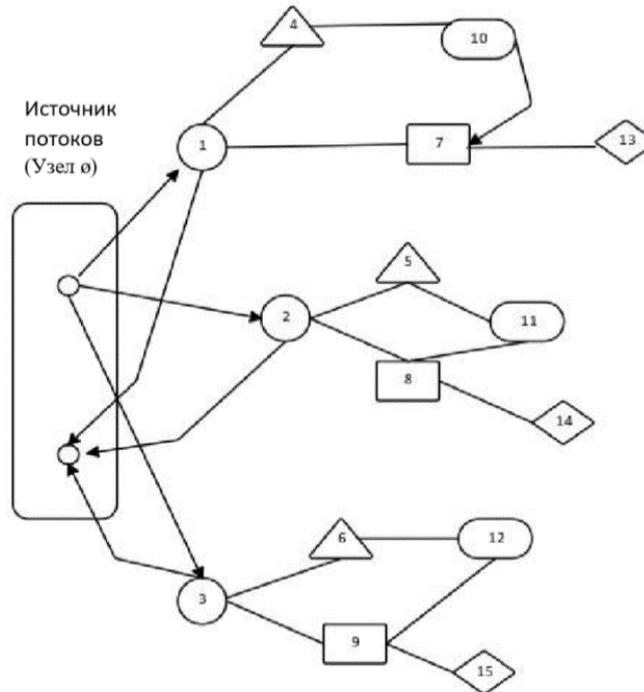


Рисунок 1. Первоначальная структура оптимизируемой сети телекоммуникаций

Так как  $\bar{t}_0 = 8,90\text{ч} > \bar{t}_T = 8,61\text{ч}$ , определяем узкие места, анализируя загрузки элементов. Узкие места при исходных данных примера являются элементы 3 и 9, как видно из таблицы 3, где приведены результаты решения примера  $\rho(3) = 0,75$ ;  $\rho(9) = 0,69$ .

Таблица 3. Результаты решения примера

Тип ресурсов															
№	Элементы 1-го типа ресурсов			Элементы 2-го типа ресурсов			Элементы 3-го типа ресурсов			Элементы 4-го типа ресурсов			Элементы 5-го типа ресурсов		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Пар.															
$H(i)$	1,25	2,00	2,25	1,38	2,02	1,46	1,67	2,36	3,09	1,46	2,04	1,96	0,83	0,94	1,23
$\rho(i)$	0,42	0,67	0,75	0,46	0,67	0,49	0,37	0,53	0,69	0,37	0,51	0,49	0,42	0,47	0,62

Следовательно, разгружая элементы  $r(i)=3$  и  $r(k)=9$  можно обеспечить более полное использование потенциальных возможностей системы.

Выполнив формализованные процедуры (11), (12) и (13) определяем:

$$rq(i)=1; \quad rl(i)=6;$$

$$rq(k)=7; \quad rl(l)=12.$$

Перераспределение потоков между копиями одинаковых типов ресурсов осуществлено в соответствии с выражением (14).

Структура сети телекоммуникаций, иллюстрирующая перераспределение потоков с входа элемента 9 на вход элемента 7 представлена на рисунке 2.

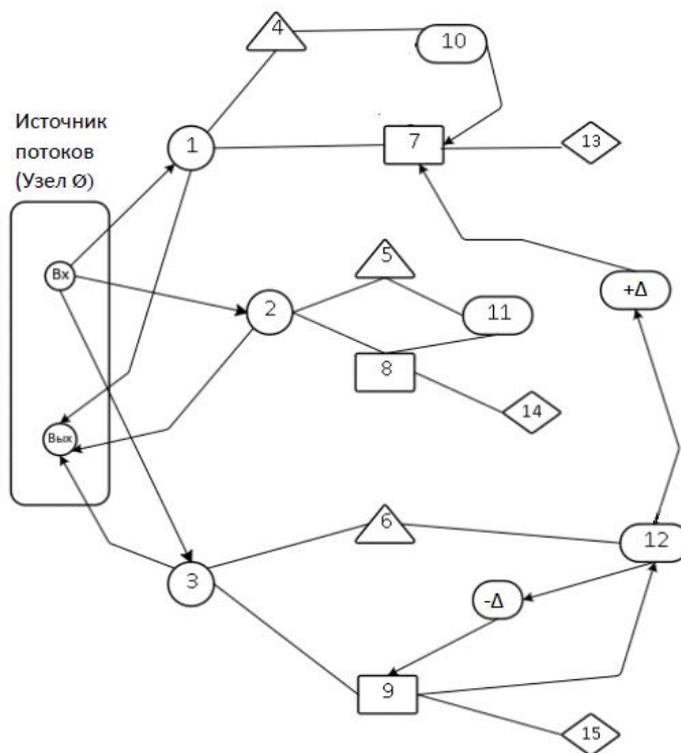


Рисунок 2. Схема перераспределения потоков с входа элемента 9 на вход элемента 7

В результате получаем маршрутную матрицу  $Q1$ , представленную в таблице 4. Расчёт производительности сети телекоммуникаций с использованием отображения  $G_1$  согласно выражения (2) с учетом полученной матрицы  $Q1$  обеспечивает  $\bar{t} = 8,58с$ .

Таблица 4. Маршрутная матрица  $Q1$

Типы ресурсов		Элементы 1-го типа ресурсов			Элементы 2-го типа ресурсов			Элементы 3-го типа ресурсов			Элементы 4-го типа ресурсов			Элементы 5-го типа ресурсов		
j \ i	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0		0,25	0,30	0,45												
1	0,40				0,40			0,20								
2	0,30					0,5			0,20							
3	0,40						0,30			0,30						
4		0,30									0,70					
5			0,40									0,60				
6		0,12		0,38									0,50			
7		0,20									0,30			0,50		
8			0,25									0,35			0,40	
9				0,20									0,40			0,40
10					0,60			0,40								
11						0,5			0,50							
12							0,40	0,12		0,48						
13								1,00								
14									1,00							
15										1,00						

---

Структура сети на рисунке 2 отличается от структуры сети на рисунке 1 тем, что дополнительно имеется передача потока  $\Delta$  между элементами 12 и 9, а так же 12 и 7, что и отражено в 12 строке матрицы  $Q1$ .

Суммарные изменения элементов маршрутной матрицы определяются слагаемыми в выражениях (9) и (10).

$$\sum_{i=0}^L \sum_{j=0}^L |\Delta q(i, j)| = 0,12 + 0,12 + 0,12 + 0,12 = 0,48.$$

Функция затрат  $C=c_0*0,48$  ед. затрат.

В результате изменений (14) получим маршрутную матрицу  $Q1$ , которая обеспечивает производительность сети телекоммуникаций

$$\bar{t}_0 = 8,58\text{ч.} < \bar{t}_r = 8,61\text{ч.}$$

Таким образом, требуемая производительности системы достигнута, задача решена.

**Практическая значимость исследования** заключается в том, что разработанные в статье процедуры позволят автоматизировать решение сформулированной задачи оптимизации сетей телекоммуникаций путем поиска и устранения узких мест с минимальными затратами на управление при обеспечении требуемой производительности.

#### **Выводы.**

1. Наиболее целесообразным путем оптимизации сетей телекоммуникаций для более полного использования потенциальных возможностей её элементов является перераспределение потоков между копиями одинаковых типов ресурсов без изменения качественных и количественных характеристик имеющихся ресурсов.
2. Сформулированная в работе постановка задачи оптимизации сетей телекоммуникаций в терминах модели сетей массового обслуживания позволила разработать формализованные процедуры, обеспечивающие поиск решения и его последующую реализацию.
3. Работоспособность и практическая значимость предложенного в работе научно-методического аппарата подтверждается методическим примером.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. *Лелли Т.* 5G (пятое поколение мобильной связи) // Портал *TADIVISER* [Электронный ресурс]: URL:<https://www.tadviser.ru/index.php/>(дата обращения: 15.10.2022 г.).
2. Emerging Trends in 5G/IMT2020// Geneva Mission Briefing Series. September 2016 [Электронный ресурс]: URL: <https://www.itu.int/en/membership/documents/missions/gva-mission-briefing-5g-28sept2016.pdf> (дата обращения: 15.10.2022 г.).
3. Сети связи пост-NGN / Б.С. Гольдштейн, А.Е. Кучерявый.- СПб.: БХВ-Петербург.2013.-160 с.
4. *Шувалов В.П., Егунов М.М., Минина Е.А.* Обеспечение показателей надежности телекоммуникационных систем и сетей.- М.: Горячая линия – Телеком, 2016, 168с.
5. *Evstafev V.V., Rudenko N.V.* Improving the dynamics of information flows for optimizing telecommunication systems // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 16. Ser. "Dynamics of Technical Systems, DTS 2020" 2021. С. 012131.

- 
6. *Воскобойников А.Э.* Системные исследования: базовые понятия, принципы и методология. [Электронный ресурс]: информационно-гуманитарный портал «Знание. Понимание. Умение». 2013. №6. URL.: [http://www.zpu-journal.ru/e-zpu/2013/6/Voskoboynikov\\_Systems-Research/](http://www.zpu-journal.ru/e-zpu/2013/6/Voskoboynikov_Systems-Research/) (дата обращения: 15.10.2022).
  7. Развитие сетей 5G в мире // Портал *TADIVISER* [Электронный ресурс]: URL:<https://www.tadviser.ru/index.php/> (дата обращения: 15.10.2022 г.).
  8. *Евстафьев В.В., Руденко Н.В., Нагметуллаев Р.Р., Кузёма Е.А.* Анализ способов диагностирования узких мест телекоммуникационных систем // Труды Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики. 2021. № 1. С. 83-86.

**Н.А. Хачатрян<sup>1</sup>, Б.П. Борисов<sup>1,2</sup>**

### **ОРГАНИЗАЦИЯ МОБИЛЬНОЙ БАЗОВОЙ СТАНЦИИ**

Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону, Россия<sup>1</sup>  
Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени ФГБОУ ВО  
«Московский технический университет связи и информатики», г. Ростов-на-Дону, Россия<sup>2</sup>

Ключевые слова: мобильная связь, радиорелейная линия, Wifi радио тракт, LTE, 3G  
В статье рассматривается организация мобильной базовой станции, описываются способы подачи внешнего электропитания, а также проводится сравнение РРЛ и Wifi для подачи транспортного сигнала на базовую станцию.

**N.A. Khachatryan<sup>1</sup>, B.P. Borisov<sup>1,2</sup>**

### **ORGANIZATION OF A MOBILE BASE STATION**

South Federal University, Rostov-on-Don, Russia<sup>1</sup>  
North Caucasus branch of Moscow Technical University  
of Communications and Informatics, Rostov-on-Don, Russia<sup>2</sup>

Keywords: mobile communications, radio relay line, Wifi radio tract, LTE, 3G  
The article discusses the organization of a mobile base station, describes how to supply external power, and compares RRL and Wifi to supply a transport signal to the base station.

На данный момент в России очень активно развивается мобильная сеть связи и особое положение в ней занимают базовые станции, которые обеспечивают доступ абонентам к высококачественному голосовому общению и быстрой пакетной передаче данных. Базовые станции покрывают всю территорию Ростовской области, их количество исчисляется тысячами. Однако в нашем регионе существует крайне распространенная проблема лесных и степных пожаров. В результате подобных природных катаклизмов часто страдает гражданская инфраструктура, в том числе и объекты связи. Абоненты, а также ОПП, ФАП и поселковые администрации остаются без связи, что крайне критично в современном цифровом мире. Инфокоммуникационная инфраструктура является одной из важнейших целей национального проекта «Цифровая экономика». В связи с этим встает вопрос быстрой организации связи на различных инфраструктурах с помощью мобильных базовых станций.

Базовые станции, стандартно используемые, представляют собой комплекс радиотехнической аппаратуры, антенной фидерной установки, и электроэнергетической инфраструктуры. Часть аппаратуры располагается в телекоммуникационных шкафах, либо контейнерах. В случае экстремальных ситуаций, к примеру пожаров, сильно подвержены телекоммуникационные шкафы, так как устройства расположены в них крайне плотно и легко поддаются огню. Также в случае повреждения электропитающей установки телекоммуникационного шкафа её быстрый ремонт не является возможным ввиду линейных размеров и плохой ремонтпригодности. АФУ зачастую располагается на разных видах столбов, мачт, труб и башен. И в случае повреждения их конструктива быстрый ремонт или замена АФУ без подъемника также не представляются возможными. В связи с этим, операторы мобильной связи используют мобильные базовые станции.

Мобильная базовая станция представляет собой такой же комплект техники и устройств, как и регулярная базовая станция, однако имеет преимущество в виде перемещения. Зачастую она выполнена как прицеп к автомобилю. По внутреннему содержанию она не отличается от базовой станции контейнерного исполнения, имеет в себе также 19 дюймовые стойки, с электропитающей установкой и приемопередающей аппаратурой. Главным преимуществом является легко сборная мачта. Ее можно оперативно собрать нескольким сотрудникам и поднять АФУ на достаточную высоту, с учетом рельефа.

В рамках производственной практики в ПАО «МТС» проводились мероприятия по сборке, и настройке мобильной базовой станции. Одним из важным моментов организации мобильной базовой станции является развертка мачты для АФУ.

На рисунке 1 представлен процесс сборки мачты, а на рисунке 2 представлен вид мачты с расположенными на ней антеннами WiFi и РРЛ.



Рисунок 1. Сборка мачты



Рисунок 2. Вид мачты

Основной задачей при организации связи была доставка транспортного сигнала до цифрового модуля Ericson Base Band мобильной БС с помощью WiFi радиотракта.

При построении радиотракта электроснабжение базовой станции было организовано с помощью бензинового генератора и через 5-ти разъемное съемное соединение электропитание было подано на вводной автомат базовой станции. Передача трафика

---

реализовывалась с помощью цифрового модуля Ericson Baseband 5216 в диапазонах: LTE L18 (1800 МГц) и 3G UMTS (2100 МГц). Для организации вещания с помощью этого цифрового модуля требуется подать на него транспортный сигнал с соответствующими параметрами виртуальной локальной сети. Для этой цели обычно используются комплекс РРЛ аппаратуры.

Применение РРЛ комплекса для организации транспорта на оконечной базовой станции предполагает необходимость размещения «тарелки» антенны и внешнего блока РРЛ. Затем необходимо провести юстировку по направлению к РРЛ, к которой мы привязываем данную базовую станцию. На этом этапе возможны сложности, так как антенны являются достаточно узко направленными и могут быть расположены на разных высотах, так как высота мачты мобильной базовой станции ограничена. Следующим шагом, является необходимость проведения частотного планирования и согласно рекомендациям по частоте вещания настройка РРЛ. На внешний блок РРЛ также требуется протянуть электрический кабель для питания, и оптический кабель для передачи данных. Далее имеют место особенности прокладки оптических линий, таких как сложность доставки и монтажа на высоте.

Все эти проблемы удается решить с помощью WiFi тракта. Его использование возможно, и, следовательно, целесообразно в случаях прямой видимости до соседней базовой станции и на расстояниях не больше 5-ти километров. WiFi аппаратура намного удобнее для быстрой и качественной организации транспортного сигнала. Антенны имеют маленький вес и легко устанавливаются на высоте. К самой антенне требуется протянуть лишь кабель в УТР исполнении категории 5Е, электропитание не требуется. В контейнере же требуется установить небольшой блок управления WiFi-антенной. Он имеет интерфейс для подачи электропитания, а также 2 интерфейса RJ-45 для связи с антенной и цифровым блоком. Точная юстировка не требуется ввиду более широкой диаграммы направленности, частотное планирование также сильно упрощено ввиду того, что, WiFi работает на частоте 2.4 ГГц.

В ходе производственной практики удалось организовать Wifi тракт между регулярной базовой станцией ПАО «МТС» и мобильной базовой станцией. Антенны располагались на расстоянии всего 100 метров друг от друга, но этого было достаточно для тестового запуска в учебных целях. Были использованы антенные системы Cambium Networks eRMP 1000 Force 200. Они имеют следующую особенность:

- eRMP Force 200 спроектирована таким образом, чтобы максимально продуктивно работать с учетом интерференции радиоволн при различных природных/погодных условиях.

Конфигурируемые режимы работы точки доступа позволяют её адаптировать к максимальным эффектом к симметричной и ассиметричной передаче данных, при этом обеспечивается низкая задержка (rtt) порядка 2 - 3 ms.

Поддержка QoS для обеспечения приоритетности разнородного трафика, который делят на три основные категории и называют "triple play" - VoIP, Video, Data (голосовая связь, видео, передача данных)

Сочетание высокого коэффициента усиления параболической антенны (25dBi) и мощного передатчика (до 30dBm) позволяет получить весьма большие расстояния для радиоканалов.

Данная точка доступа может быть как клиентской точкой в системе точка-многоточка, так и радиомостом для систем точка-точка.

Оборудование WiFi использовано в формате моста, что позволило передавать транспортный сигнал от смарт-роутера фирмы Tellabs напрямую в транспортный порт Baseband.

После простого монтажа антенн и кабелей можно приступить к настройке. Настройка происходила через удобный Web – интерфейс. На стороне регулярной базовой

станции необходимо было произвести настройку Access Point, с установленной частотой и шириной канала, см. рис. 3.

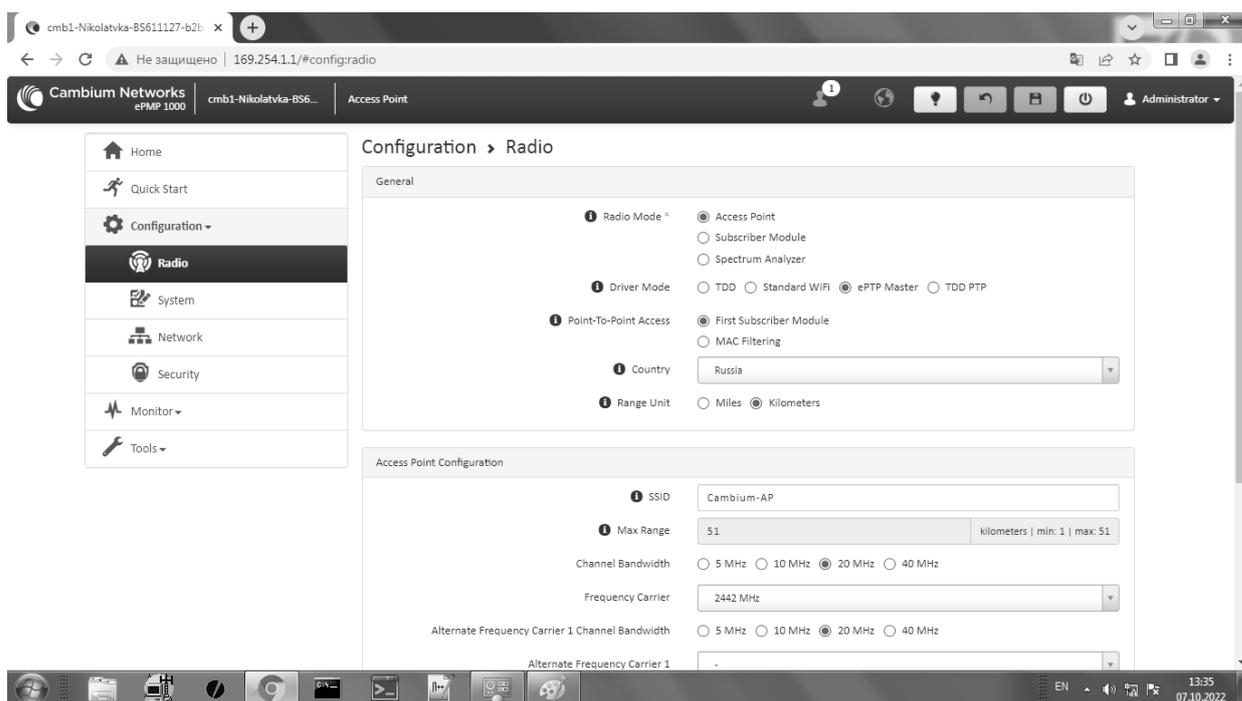


Рисунок 3. Настройка Access Point

На стороне мобильной БС необходимо было выполнить настройку Subscriber Module. См. рис. 4.

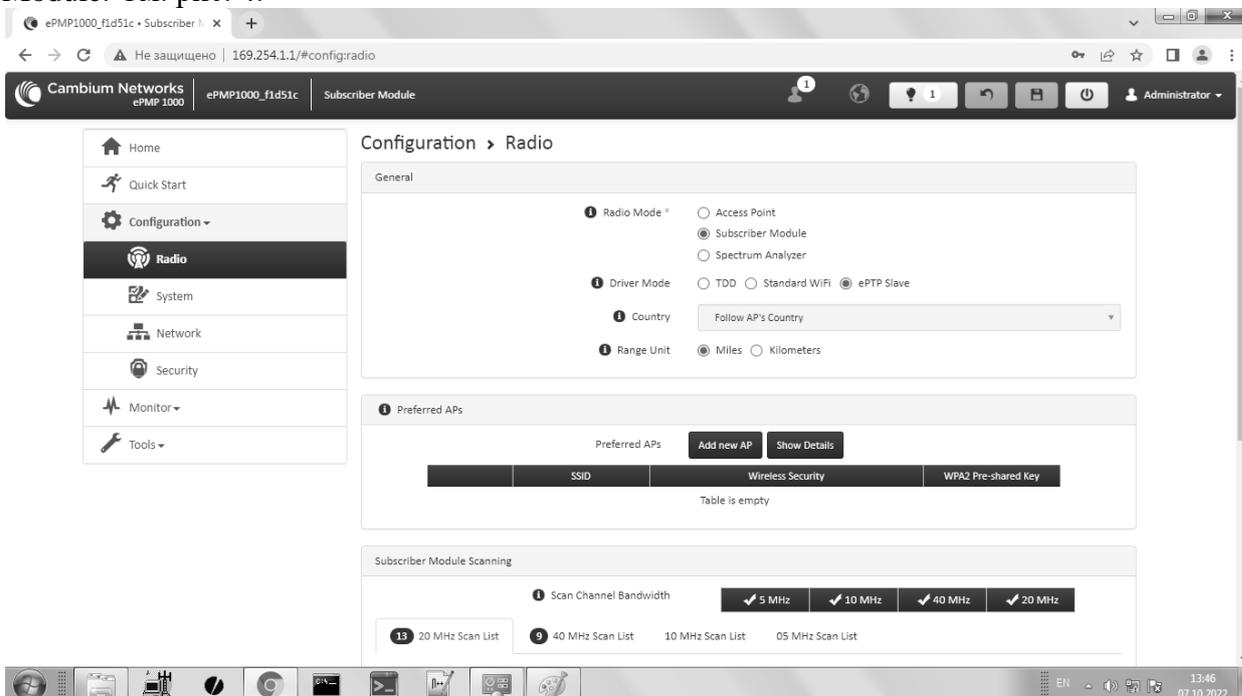


Рисунок 4. Настройка Subscriber Module

Сразу после настройки ответной стороны на Access Point сразу начал отображаться соответствующий Subscriber Module. Для передачи неизменного сигнала от Tellabs до

Baseband нужно было ограничить на Subscriber Module возможность изменения и настройки VLAN. После этого уже можно было подключить патчкорда согласно схеме (рисунок 5):

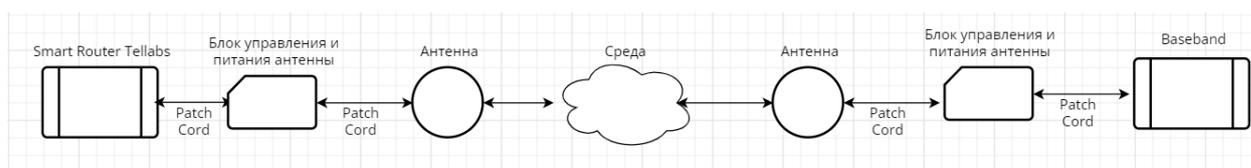


Рисунок 5. Принципиальная схема

В итоге удалось получить устойчивую связь между WiFi точками моста, а цифровой блок стал доступным у дежурного инженера в офисе, что позволит ему в дальнейшем настраивать и отслеживать работу данной мобильной базовой станции. См. рис. 6.

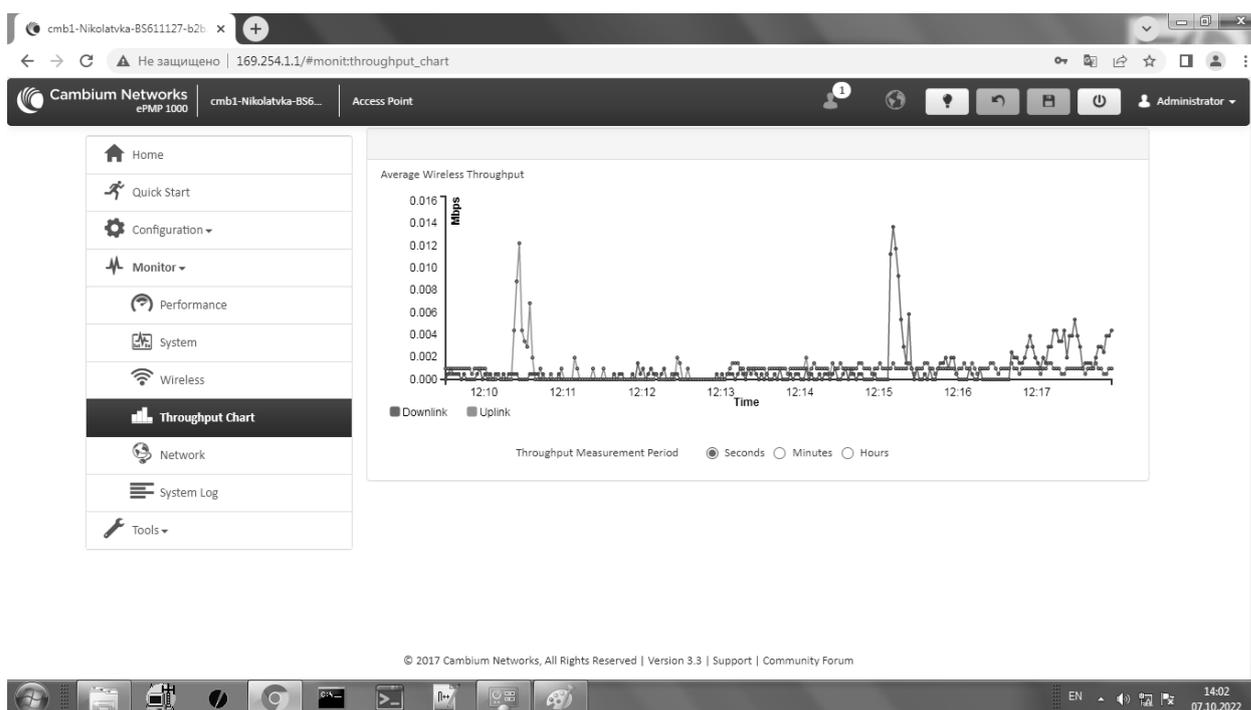


Рисунок 6. Стабильный WiFi канал

Таким образом, технология и оборудование WiFi позволяет обеспечить мобильную базовую станцию достаточным трафиком, проще чем при использовании РРЛ.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ericsson, Baseband Description. // Ericsson AB. – 2017
2. Cambium Networks, USER GUIDE ePMP 1000 | ePMP 2000, Force 110 |130 | 180 | 190 | 200, System Release 3.5.6. // Cambium Networks. – 2019
3. NEC Corporation, iPASOLINK 200 6 - 38GHz 10 - 400 Mbps DIGITAL RADIO SYSTEM// NEC Corporation. – 2010
4. Корпоративные беспроводные сети. Решетникова И.В. Труды Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики. 2020. № 1. С. 231-233.

## ОБЗОР ТЕНДЕНЦИЙ И МЕТОДОВ ФИШИНГА

Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Россия<sup>1</sup>  
Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени ФГБОУ ВО  
«Московский технический университет связи и информатики», г. Ростов-на-Дону, Россия<sup>2</sup>

Ключевые слова: фишинг, спам, рассылка, вредоносные сообщения, методы реализации фишинга.

В статье произведен анализ современных тенденций и видов фишинга – мошеннических атак, являющихся частью социального инжиниринга и полагающиеся на невнимательность пользователя, «человеческий фактор». Описаны основные методы реализации.

E.A. Yadrets<sup>1</sup>, N.V. Boldyrikhin<sup>2</sup>

## OVERVIEW OF PHISHING TRENDS AND METHODS

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia<sup>1</sup>  
North Caucasus branch of Moscow Technical University  
of Communications and Informatics, Rostov-on-Don, Russia<sup>2</sup>

Key words: phishing, spam, mailing, malicious messages, phishing methods.

The article analyzes current trends and types of phishing - fraudulent attacks that are part of social engineering and rely on the user's inattention, the "human factor". The main implementation methods are described.

Фишинг – это мошенническая атака, реализуемая посредством рассылки спама на электронную почту, либо распространяемая через социальные сети в виде вредоносной ссылки или выдачи в интернет-поисковике в виде точной копии искомой страницы или рекламы, ссылающейся на неё.

Основной принцип заключается в том, что невнимательный пользователь, перейдя по ссылке встретит точную копию сайта, банка или любой другой компании или сервиса, услугами которой он пользуется. Пользователю предложат указать учетные данные и сведения об учетной записи, либо другую важную чувствительную конфиденциальную информацию. Затем фишинговый сайт собирает введенные данные и передает их создателям этой «наживки», открывая мошенникам полный доступ ко всем предоставленным пользователем данным. При этом пользователь может даже не догадываться, что он попался на крючок мошенникам [1-2].

Целью данной статьи является обзор методов и тенденций применения фишинга в настоящее время.

Одним из распространенных примеров являются фишинговые рассылки, нацеленные на работников компаний. Содержание электронного письма выглядит как обычное сообщение от отдела кадров, службы технической поддержки, либо в виде уведомления от рабочих сервисов или инструментов. В теле письма содержится вредоносная ссылка или зараженный документ, запуск которой может привести к компрометации данных организации и самого работника.

Распознать фишинговое письмо бывает довольно сложно, нужно обращать внимание на домен отправителя, не допущена ли там ошибка или пропущен какой-либо знак. Так же следует обращать внимание на количество получателей письма, чтобы определить является ли эта рассылка массовой.

---

Создание копий страниц популярных стриминговых сервисов, онлайн кинотеатров. При переходе по ссылке сервис предложит продлить текущую подписку или оформить новую и выдаст форму оплаты с вводом банковских реквизитов карты. Если оформить оплату, данные карты попадут в руки мошенников.

Письма, манипулирующие подписками на популярные сервисы. Пользователю присылают письмо от лица сервиса, полностью копируя оформление легитимного письма, предлагая оформить подписку, либо сообщая что истекает срок подписки и её нужно продлить или уведомляя, что срок действия пробного периода заканчивается, и подписка автоматически продлится и будут списываться деньги со счета. Прикрепляя в письме ссылку, скрытую под видом кнопки отмены или продления с перенаправлением на поддельный сайт, в котором нужно указать учетные данные или банковские реквизиты.

Использование темы инвестиций, создание фальшивых интернет-страниц или мобильных приложений известных компаний, банков. Этот тип фишинга распространяется через рекламу в популярных мобильных приложениях или электронных письмах. Обещая пользователям огромные денежные выплаты или доступ к торгам криптовалютой, акциями, газом и нефтью. При этом мошенники просят заполнить форму-заявление, содержащее паспортные данные и информацию об банковской карте для «подтверждения счета» и начисления выплат [2].

С повышением уровня грамотности населения в сфере кибербезопасности, мошенники так же усложняют фишинговые схемы. Недавний громкий инцидент зафиксировала команда «РТК-Солар», было обнаружено около двух тысяч фальшивых доменов брендов «Красное и белое» и «Додо пицца». Мошенники предлагали получить вино или пиццу за 1 рубль, при этом привязав карту к платному сервису, который регулярно списывал денежные средства с карты жертвы. Для получения «приза» жертва должна была переслать ссылку на фишинговый сайт друзьям в мессенджере. Благодаря такому подходу увеличился охват возможных жертв и эффективность работы схемы, потому что ссылка от друга вызывает большее доверие, чем почтовый спам. Так же для распространения информации, мошенники создавали группы в социальных сетях. Прикрепляемая ссылка после перехода перенаправляла на один из тысяч доменов, проходя через цепочку промежуточных сайтов, что позволило продлить работу зловредных сайтов [3].

Рассматривая методы и тенденции в сфере фишинга, очевидно, что ключевым во всех случаях является человеческий фактор, простая невнимательность или любопытство. Без должной проверки источника полученной информации, выполнение требуемых действий может быть губительно. Злоумышленники постоянно совершенствуют фишинговые схемы, адаптируя их под современные тенденции и громкие инфоповоды.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тенденции и методы фишинга / [Электронный ресурс] // Microsoft Learn : [сайт]. – URL: <https://learn.microsoft.com/ru-ru/microsoft-365/security/intelligence/phishing-trends?view=o365-worldwide> (дата обращения: 24.10.2022).
2. 10 популярных «фишинговых» тем в 2021 году по версии Positive Technologies / [Электронный ресурс] // Positive Technologies : [сайт]. – URL: <https://www.ptsecurity.com/ru-ru/research/analytics/10-populyarnyh-fishingovyh-tem-v-2021-godu-po-versii-positive-technologies/> (дата обращения: 24.10.2022).
3. Мошенники использовали бренды «Красное и белое» и «Додо пицца» для хищения денег у граждан / [Электронный ресурс] // Ростелеком-Солар : [сайт]. — URL: <https://rt-solar.ru/events/news/3006/> (дата обращения: 24.10.2022).
4. Программное средство обнаружения устройств прослушивания сетевого трафика в оптоволоконной сети OTDR2. Андрющенко А.А., Манин А.А., Решетникова И.В., Черкесова Л.В. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2022617599, 22.04.2022. Заявка № 2022617132 от 22.04.2022.

## ОСОБЕННОСТИ НОРМИРОВАНИЯ АНАЛОГОВЫХ ОКОНЧАНИЙ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ НА ОСНОВЕ СЕТЕВЫХ ТРАКТОВ

Академия ФСО России, Орёл

Ключевые слова: сеть связи, граф, структура, вероятность связности, сетевой тракт, аналоговое окончание.

Указывается, что групповому тракту, в зависимости от нормализованного числа каналов, присваивают название: первичный, вторичный, третичный, четверичный или  $N$ -ый групповой тракт. Показывается, что существуют нормы на характеристики основных сетевых трактов.

К.А. Batenkov

## FEATURES OF NORMALIZATION OF ANALOG TERMINALS OF TELECOMMUNICATION NETWORKS BASED ON NETWORK PATHS

The Academy of Federal Security Guard Service of the Russian Federation, Orel

Keywords: communication network, graph, structure, connectivity probability, network path, analog termination.

It is indicated that the group path, depending on the normalized number of channels, is assigned the name: primary, secondary, tertiary, quaternary or  $n$ th group path. It is shown that there are norms for the characteristics of the main network paths.

*Тракт групповой (group link)* – набор технических средств систем передачи информации, предназначенный для трансляции сигналов электросвязи нормированного числа каналов, например тональной частоты или основных цифровых каналов, в диапазоне частот или со скоростью, характерных для этого группового тракта [1]. Групповому тракту присваивают название, в зависимости от нормированного числа каналов: первичный, вторичный, третичный, четверичный групповой тракт.

*Тракт групповой типовой (typical group link)* – групповой тракт, параметры и структура которого удовлетворяет нормам взаимосвязанной сети связи РФ.

*Тракт сетевой (network link)* — типовой групповой тракт или несколько последовательно соединенных типовых групповых трактов, на входе и выходе которых включена аппаратура образования тракта [1, 2, 3, 4]. При наличии транзитов одинакового порядка с этим сетевым трактом, он называется составным, при их отсутствии – простым. При наличии в составном сетевом тракте элементов или участков, организованных и в кабельных системах передачи, и в радиорелейных, тракт является комбинированным. В зависимости от способа передачи сигналов тракт называется аналоговым или цифровым.

Существуют нормы на параметры сетевых трактов, приведенные в таблице 1 [2, 3, 5].

Для общего относительного временного интервала воздействия импульсных помех, амплитуда которых превышает порог анализа, и краткосрочных пропаданий уровня считается допустимым превышение нормы в двадцати процентах часовых временных отрезков. Для относительного временного интервала воздействия импульсных помех, амплитуда которых превышает порог анализа, считается допустимым превышение нормы в двадцати процентах часовых временных отрезков и отклонение от норм в условиях соответствия норм на общее относительное время воздействия импульсных помех и краткосрочных пропаданий уровня [3, 6, 7, 8]. Для относительного временного интервала

краткосрочных пропаданий уровня считается допустимым превышение нормы в двадцати процентах часовых временных отрезков, отклонение от норм в условиях выполнения норм на общее время воздействия импульсных помех и краткосрочных пропаданий уровня [1, 9, 10]. В норму на относительный временной интервал краткосрочных пропаданий уровня сигнала входят и краткосрочные пропадания вследствие переключения источников питания (не превышает 150 мс).

Таблица 1. Нормы на характеристики сетевых трактов

Характеристика	Сетевой тракт		
	Первичный	Вторичный	Третичный
рабочая полоса частот, кГц	60,6–107,7	312,2–551,4	812,6–2043,7
измерительная (опорная) частота, кГц	83,92	408,08	1555,92
диапазон частот со всплесками затухания, кГц	83,95–84,6	411,7–412,3	1547,7–1555,5
диапазон частот со всплесками фазы, кГц	82–86	405–419	1527–1577
относительный уровень передачи на входе, дБ	-36		
относительный уровень передачи на выходе, дБ	-23		
остаточное затухание, дБ	-13		
входное сопротивление, Ом	150	75	75
максимальная средняя передаваемая мощность за час, дБм (мВт)	1,8 (1,5)	5,6 (3,6)	11,5 (14)
максимальная средняя передаваемая мощность за минуту, дБм (мВт)	6,1 (4,1)	7,5 (5,6)	12,1 (16,1)
затухание несогласованности, дБ (коэффициент отражения)	20 (0,1)		
затухание асимметрии входных и выходных цепей, дБ	43	–	–
среднеквадратическое отклонение остаточного затухания от его среднего значения, дБ	0,5		
изменение частоты передаваемого сигнала в тракте протяженностью 12500 км (при 49 транзитах), Гц	1,5		
изменение частоты передаваемого сигнала в тракте протяженностью 2500 км (при 9 транзитах), Гц	1		
интервал между соседними изменениями фазы передаваемого сигнала в сетевом тракте протяженностью не более 12500 км (при $n$ транзитах) при переключении генераторного оборудования систем передачи, ч	$2\sqrt{\frac{49}{n}}$	$2,5\sqrt{\frac{49}{n}}$	$3\sqrt{\frac{49}{n}}$
неравномерность амплитудно-частотной характеристики тракта при установке, дБ	1		
неравномерность амплитудно-частотной характеристики тракта при изменении во времени, дБ	1,6	2	2
отклонение значения группового времени прохождения сигнала при наличии $n$ транзитных фильтров, мкс (на краях полосы частот, кГц)	$115n + 30$ (65–103)	$50n + 25$ (330–530)	$15n + 20$ (900–1900)
амплитудная характеристика при наличии $n$ простых сетевых трактов, дБ (предельное повышение уровня на входе тракта, дБм0)	$0,3\sqrt{n} (+24)$	$0,3\sqrt{n} (+26)$	$0,3\sqrt{n} (+28)$
среднее значение псофометрической мощности шумов на выходе сетевого тракта ( $L$ – протяженность тракта, тыс. км)	$P_w = \begin{cases} 4(1 + L), L < 1,5, \\ 7 + 2L, L \geq 1,5, \end{cases}$		
среднее значение мощности невзвешенного шума в сетевом тракте за минуту, пВт0 ( $P_w$ – среднее значение псофометрической мощности шумов)	$27,6P_w$	$138P_w$	$707P_w$
защищенность от внятных переходных влияний между двумя любыми трактами, дБ ( $n$ – число простых трактов)	$74 - 10 \lg n$		
суммарное относительное время действия импульсных помех, превышающих порог анализа – 15 дБм0 длительностью более 500 мкс и кратковременных пропаданий уровня более чем на 18–20 дБ длительностью более 500 мкс ( $L$ – протяженность тракта, тыс. км)	$\frac{6 \cdot 10^{-5} \cdot L}{12,5}$		
относительное время действия импульсных помех, превышающих порог анализа – 15 дБм0 длительностью более 500 мкс ( $L$ – протяженность тракта, тыс. км)	$\frac{1,2 \cdot 10^{-5} \cdot L}{12,5}$		

Продолжение Таблицы 1.

относительное время действия кратковременных пропаданий уровня сигнала (занижение более чем на 18–20 дБ длительностью более 500 мкс) ( $L$ – протяженность тракта, тыс. км)	$\frac{4,8 \cdot 10^{-5} \cdot L}{12,5}$
защищенность сигнала в сетевом тракте протяженностью 12500 км от продуктов паразитной модуляции, возникающих из-за пульсаций в цепях питания, при номинальном относительном уровне передачи для каждого из продуктов модуляции, отличающихся по частоте от полезного сигнала $\pm 50k$ и $\pm 100k$ Гц, $k = 1, 2, \dots, 8$ (вплоть до частоты 400 Гц), дБ	50
защищенность сигнала в сетевом тракте протяженностью 2500 км от продуктов паразитной модуляции, возникающих из-за пульсаций в цепях питания, при номинальном относительном уровне передачи для каждого из продуктов модуляции, отличающихся по частоте от полезного сигнала $\pm 50k$ и $\pm 100k$ Гц, $k = 1, 2, \dots, 8$ (вплоть до частоты 400 Гц), дБ	57

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нормы на электрические параметры каналов тональной частоты магистральной и внутризоновых первичных сетей : Утв. М-вом связи РФ 15.04.96. – М. : МК-Полиграф, 1996. – 96 с.
2. Нормы на электрические параметры сетевых трактов магистральной и внутризоновых первичных сетей. I часть : Утв. М-вом связи РФ 08.01.1997. – М. : МК-Полиграф, 1996. – 134 с.
3. Нормы на электрические параметры линейных трактов магистральной и внутризоновых первичных сетей. II часть : Утв. М-вом связи РФ 08.01.1997. – М. : МК-Полиграф, 1996. – 168 с.
4. Rec. G.233. Recommendations concerning translating equipments. – 1993. – Geneva : ITU-T, 1993. – 13 p.
5. ГОСТ 21655–87. Каналы и тракты магистральное первичной сети единой автоматизированной системы связи. Электрические параметры и методы измерений. – Введ. 1989–01–01. – М. : Издательство стандартов, 1988. – 106 с.
6. Батенков К. А. Точные и граничные оценки вероятностей связности сетей связи на основе метода полного перебора типовых состояний // Труды СПИИРАН. 2019. Т. 18. № 5. С. 1093–1118.
7. Батенков К. А. Числовые характеристики структур сетей связи // Труды СПИИРАН. 2017. № 4 (53). С. 5–28.
8. Батенков К. А., Батенков А. А. Анализ и синтез структур сетей связи по детерминированным показателям устойчивости // Труды СПИИРАН. 2018. № 3 (58). С. 128–159.
9. Батенков А. А., Батенков К. А., Фокин А. Б. Вероятность связности телекоммуникационной сети на основе приведения нескольких событий несвязности к объединению независимых событий // Информационно-управляющие системы. 2021. № 6 (115). С. 53–63.
10. Батенков А. А., Батенков К. А., Фокин А. Б. Формирование сечений телекоммуникационных сетей для анализа их устойчивости с различными мерами связности // Информатика и автоматизация. 2021. Т. 20. № 2. С. 371–406.

## АНАЛИЗ СЕТЕВЫХ АТАК

Ростовский государственный университет путей сообщения, Ростов-на-Дону, Россия<sup>1</sup>  
Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени ФГБОУ ВО  
«Московский технический университет связи и информатики», г. Ростов-на-Дону, Россия<sup>2</sup>

Ключевые слова: информационная безопасность, компьютерные сети, сетевые атаки, стек TCP/IP

В статье проведен анализ современных атак на информационные системы с использованием сетевых протоколов. Классификация атак проведена в применительно к стеку TCP/IP. Рассмотрены методы противодействия сетевым атакам.

N.V. Boldyrikhin<sup>1</sup>, I.V. Reshetnikova<sup>2</sup>

## ANALYSIS OF NETWORK ATTACKS

Rostov State Transport University, Rostov-on-Don, Russia<sup>1</sup>  
North Caucasus branch of Moscow Technical University  
of Communications and Informatics, Rostov-on-Don, Russia<sup>2</sup>

Keywords: information security, computer networks, network attacks, TCP/IP stack

The article analyzes modern attacks on information systems using network protocols. Classification of attacks is carried out in relation to the TCP / IP stack. Methods for counteracting network attacks are considered.

В настоящее время на первый план выходят проблемы обеспечения информационной безопасности. Это касается крупных компаний и небольших предприятий, а также физических лиц, пользующихся современными средствами коммуникации. Количество преступлений в информационной сфере неуклонно растет. Большое количество инцидентов информационной безопасности совершается посредством использования сетей связи, в первую очередь – IP-сетей [1-5]. Поэтому представляется актуальным проведение классификации угроз, реализуемых с использованием протоколов межсетевого взаимодействия.

Наиболее логичной представляется классификация угроз по уровням стека протоколов TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol), поскольку само функционирование IP-сети рассматривается именно по уровням TCP/IP: канальному, сетевому, транспортному, и прикладному [3,4,5].

*Канальный уровень.* Канальный уровень подготавливает фреймы для передачи по локальной среде. На данном уровне могут быть реализованы следующие атаки:

- подслушивание (сбор информации без ее подмены), которая нарушает конфиденциальность данных, передаваемых по сети;
- перехват сообщений (исходное сообщение перехватывается злоумышленником, модифицируется и отправляется получателю); атака нарушает конфиденциальность и целостность информации;
- подмена доверенного объекта (один объект выступает в роли другого объекта, который в момент атаки может временно блокироваться); атака может нарушать конфиденциальность и целостность информации;
- DoS (Denial of Service, «отказ в обслуживании»); атака нарушает доступность информации и может быть реализована, например, через широкоэвещательный шторм.

---

На канальном уровне могут быть реализованы следующие механизмы защиты: туннелирование, аутентификация, шифрование, также используется контроль целостности передаваемых сообщений.

*Сетевой уровень.* Сетевой уровень представляет собой уровень маршрутизации IP-пакетов. На сетевом уровне производится организация взаимодействия между сетями. Протоколы сетевого уровня не зависят от физических интерфейсов приёмопередатчиков, передающей среды, технологических особенностей канального уровня.

Атаки, которые реализуются на сетевом уровне, во многом похожи на атаки канального уровня, а именно: подслушивание, перехват, подмена объекта, отказ в обслуживании, однако здесь манипуляции связаны с IP-пакетами. Также существует ряд атак, характерных только для третьего уровня, например, навязывание ложного маршрута (атака может нарушать конфиденциальность и целостность информации), подмена IP-адреса (атака нарушает целостность информации).

На сетевом уровне применяются следующие методы защиты: межсетевое экранирование, аутентификация, шифрование.

*Транспортный уровень.* Транспортный уровень предназначен для передачи сегментов, сформированных из наборов данных, полученных от прикладного уровня. На данном уровне применяются два протокола: TCP и UDP (User Datagram Protocol). Протокол UDP удобен при передаче видео и аудиопотоков, однако при передаче файлов желателен протокол TCP.

Атаки, реализуемые на транспортном уровне:

- скрытый отказ в обслуживании, который может быть спровоцирован непрерывным потоком запросов на установление TCP-соединений (SYN-flooding);
- явный отказ в обслуживании, вызванный передачей злоумышленником пакетов с нестандартными атрибутами или имеющих длину, превышающую максимально допустимый размер, что может привести к сбою сетевых устройств, участвующих в обработке запросов;
- подмена доверенного объекта сети, заключающаяся в блокировании исходного объекта и передаче по каналам связи сообщений от его имени;
- сетевая разведка реализуется путем сканирования портов, по которым можно определить потенциальные жертвы нападения.

На транспортном уровне в качестве мер защиты применяются методы аутентификации и межсетевые экраны с контролем соединения.

*Прикладной уровень.* На прикладном уровне происходит первоначальное взаимодействие приложений с сетью. К протоколам седьмого уровня относят: HTTP (Hyper Text Transfer Protocol), FTP (File Transfer Protocol), SMTP (Simple Mail Transfer Protocol), SSH (Secure Shell), DNS (Domain Name System) и многие другие.

К атакам прикладного уровня относятся:

- парольные атаки на конкретные приложения или учетные записи;
- атаки на DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) и DNS – серверы;
- атаки, использующие уязвимости протоколов прикладного уровня FTP, HTTP, POP (Post Office Protocol Version), Telnet, и т.д.;
- атаки программно-математического воздействия с использованием вредоносных программ, распространяемых по сети (сетевые и почтовые черви, файловые вирусы, троянские программы).

В качестве мер защиты прикладного уровня используют межсетевые экраны с анализом трафика, прокси-серверы, системы обнаружения вторжений, антивирусное программное обеспечение, парольные политики, а также комплексные системы SIEM (Security information and event management).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Boldyrikhin, N.V., Safaryan, O.A., Razumov, P.V., Porksheyan, V.M., Smirnov, I.A., Korochentsev, D.A., Cherckesova, L.V., Romanov, A.M.* Controlling the Resources of the Intrusion Detection System at Network Objects Monitoring // ICCAIS 2020 - 3rd International Conference on Computer Applications and Information.
2. *Razumov, P.V., Safaryan, O.A., Smirnov, I.A., Porksheyan, V.M., Boldyrikhin, N.V., Korochentsev, D.A., Cherckesova, L.V., Osikov, S.A.* Developing of Algorithm of HTTP FLOOD DDoS Protection // ICCAIS 2020 - 3rd International Conference on Computer Applications and Information Security, статья № 9096870
3. *Астаханов, А.* Актуальные вопросы выявления сетевых атак / URL: [http://www.infosecurity.ru/\\_gazeta/content/030211/article07.html](http://www.infosecurity.ru/_gazeta/content/030211/article07.html) (дата обращения 5.11.2019)
4. *Костров, Д.* Системы обнаружения атак / URL: <https://www.bytemag.ru/articles/detail.php?ID=6608> (дата обращения 5.11.2019)
5. *Лапонина, О.Р.* Основы сетевой безопасности. Криптографические алгоритмы и протоколы взаимодействия: учебное пособие. Москва: Интернет- Университет Информационных Технологий (ИНТУИТ), 2016

**П.Е. Сухопаров<sup>1</sup>, И.Е. Афонин<sup>1</sup>, И.В. Решетникова<sup>2</sup>**

### **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОДВИЖНЫХ РАДИОРЕЛЕЙНЫХ СТАНЦИЙ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ РАДИОСВЯЗИ МЕЖДУ ПОЛЕВЫМИ АЭРОДРОМАМИ**

Краснодарское высшее военное авиационное училище лётчиков  
имени Героя Советского Союза А.К. Серова, Краснодар, Россия<sup>1</sup>

Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени ФГБОУ ВО  
«Московский технический университет связи и информатики», г. Ростов-на-Дону, Россия<sup>2</sup>

Ключевые слова: полевой аэродром, система связи, автоматизированная система управления, радиорелейная связь.

Статья посвящена обоснованию актуальности использования радиорелейных станций радиосвязи для обеспечения устойчивого обмена информацией между взаимодействующими и подчиненными авиационными частями и подразделениями при их рассредоточении по разветвленной сети полевых аэродромов. Акцентируется внимание на то, что именно наличие устойчивой радиосвязи является обязательным условием для решения задач управления силами и средствами воздушно-космических сил. Рассмотрены особенности функционирования радиорелейной связи между полевыми аэродромами и приведены требования, предъявляемые к антеннам радиорелейной связи.

**P.E. Suhoparov<sup>1</sup>, I.E. Afonin<sup>1</sup>, I.V. Reshetnikova<sup>2</sup>**

### **THE RELEVANCE OF THE ORGANIZATION OF RADIO COMMUNICATION BETWEEN FIELD AIRFIELDS USING RADIO RELAY STATIONS**

Krasnodar Higher Military Aviation School of Pilots named after  
Hero of the Soviet Union A.K. Serov, Krasnodar, Russia<sup>1</sup>

North Caucasus branch of Moscow Technical University  
of Communications and Informatics, Rostov-on-Don, Russia<sup>2</sup>

---

Keywords: field airfield, communication system, automated control system, radio relay communication.

Abstract. The article is devoted to the substantiation of the practicality of using radio relay stations to ensure a stable exchange of information between interacting and subordinate aviation units and subdivisions when they are dispersed over an extensive network of field airfields. It is emphasized that it is the presence of a stable radio communication that is a prerequisite for solving the tasks of controlling the forces and means of the aerospace forces. The features of the functioning of radio relay communication between field airfields are considered and the requirements for radio relay communication antennas are given.

В настоящее время в ряде ведущих стран, в первую очередь в США, активно развиваются новые высокотехнологичные средства вооруженной борьбы, в том числе высокоточное оружие (ВТО), которое уже находится в арсеналах целого ряда государств и широко используется ими при решении своих военно-политических и экономических проблем. Анализ опыта локальных войн и вооруженных конфликтов последних лет с участием стран блока НАТО позволяет сделать вывод о том, что средствам ВТО отводится существенная роль при решении тактических и стратегических задач.

В случае начала вооруженного конфликта противник массово применяет ВТО по командным пунктам (КП) системы государственного и военного управления, элементам системы противовоздушной обороны (ПВО) и другим объектам критической государственной инфраструктуры (крупные промышленные объекты, электростанции, узлы железнодорожного и воздушного транспорта и т.д.), в том числе по аэродромам базирования авиации воздушно-космических сил (ВКС) [1].

Боеготовность и боеспособность авиации ВКС, как одной из составляющих ВС РФ, во многом определяется качеством системы управления, позволяющей своевременно и в полном объеме решать сложные и ответственные задачи, связанные с поддержанием на должном уровне обороноспособности государства. В соответствии с этим на систему боевого управления и связи возлагаются задачи, основной из которых является своевременный и качественный обмен информацией в виде приема и передачи приказов и распоряжений нижним звеньям управления, получение донесений из подчиненных соединений и частей, обеспечение надежного взаимодействия между соединениями и частями ВКС в мирное и, особенно, в военное время.

В условиях угрозы нанесения противником массированного применения средств воздушно-космического нападения авиация ВКС, для повышения ее живучести, может быть рассредоточена по разветвленной сети полевых аэродромов. Однако такие аэродромы в силу своего географического положения и дефицита времени развертывания средств связи и радиотехнического обеспечения не всегда могут быть оснащены полноценной системой связи и автоматизированной системой управления (АСУ) войсками и оружием. В этом случае могут быть использованы мобильные средства связи и АСУ.

В свою очередь системы связи и АСУ должны соответствовать требованиям [5], предъявляемым к ним системой управления ПВО по таким параметрам, как:

своевременность – способность обеспечивать прохождение и обработку всех видов информации в заданные сроки или в реальном масштабе времени (при обеспечении требуемых уровней достоверности и безопасности связи);

достоверность – способность обеспечивать воспроизведение передаваемых сообщений в пунктах приема с заданной точностью;

безопасность – способность противостоять несанкционированному получению, уничтожению и (или) изменению информации, передаваемой (принимаемой, хранимой, обрабатываемой, отображаемой) с использованием технических средств связи и автоматизации управления, а также способность ликвидировать нарушение обмена информацией, возникшее вследствие всех видов воздействий на систему связи и АСУ, их элементы.

---

Эффективность функционирования средств связи и АСУ при ведении боевых действий может существенно снижаться в условиях применения противником средств РЭБ. Низкая эффективность применения каналов радиосвязи при постановке противником помех обусловлена тем, что резко ухудшается качество функционирования приемо-передающих устройств. Воздействие помех на приемо-передающие устройства системы, входящей в состав системы связи и АСУ аэродрома, затрудняет или исключает возможность приема сигналов и команд с вышестоящих звеньев управления и, следовательно, значительно затрудняет выполнение поставленной перед авиационным полком (дивизией) боевой задачи.

В случае рассредоточения средств авиационных частей и соединений по полевым аэродромам с одной стороны повышается их живучесть, но с другой стороны возникает ряд проблем, связанных с устойчивостью управления и взаимодействия по причине снижения качества передаваемой информацией в каналах радиосвязи, обусловленного ухудшением электромагнитной обстановки. Также определенные ограничения могут накладываться особенности рельефа местности, большие расстояния между аэродромами, а также удаленность пунктов управления (ПУ).

Возможности существующих полевых узлов связи авиационного полка по организационно-техническому построению, функциональной принадлежности элементов и специальным возможностям аппаратных станций могут существенно затруднять их готовность к обеспечению необходимым перечнем и качеством услуг связи должностных лиц вышестоящих пунктов управления, а также информационное обеспечение (поддержку) в принятии ими решений.

В таких условиях становится актуальным изыскание путей улучшения качества связи с взаимодействующими и подчиненными авиационными частями, рассредоточенными по разветвленной сети полевых аэродромов, с целью повышения устойчивости управления авиационными частями и подразделениями.

Одним из возможных направлений преодоления указанных трудностей является использование радиорелейных линий, что позволяет качественно обеспечивать решение поставленных задач как стационарными, так и подвижными КП [2]. Кроме того, такие каналы могут также использоваться в качестве резервных каналов связи для волоконно-оптических систем. При этом указанные системы связи сочетают в себе высокую надежность, возможность цифровой технологии передачи данных и высокую пропускную способность [3]. При этом возможность организации радиорелейной связи с заданными требованиями по обеспечению необходимого уровня живучести, помехоустойчивости, и рабочего сектора во многом определяется характеристиками антенн, используемых в системах радиорелейной связи и АСУ.

Необходимость существенного улучшения параметров радиотехнических систем управления войсками или создание новых перспективных средств связи ВКС диктует и повышение требований, предъявляемых к антенным системам, таких как уменьшение веса и габаритов антенн, заданная полоса пропускания, простота в эксплуатации, высокий энергетический потенциал радиолинии, надежность и т.д.

В соответствии с тем, что при организации взаимодействия с вышестоящими звеньями управления, а также с соседними полками в условиях территориального рассредоточения средств РТО и связи авиационных частей и соединений, прием приказов, сигналов и донесений формируется с различных азимутальных направлений, что приводит к необходимости обеспечения оперативной смены положения приемо-передающей антенны. Кроме того, для расширения зоны уверенного приема. Это, в свою очередь диктует необходимость использования специальных довольно громоздких антенно-мачтовых опорно-поворотных устройств, которые для расширения зоны уверенного приема должны иметь значительную высоту, что неизбежно приводит к снижению показателя оперативности при разворачивании и сворачивании пунктов связи на полевых аэродромах.

В условиях активного радиопротиводействия противника антенно-фидерные устройства радиорелейных систем связи и АСУ должны обладать высокой помехозащищенностью, что может быть достигнуто за счет снижения уровня бокового и заднего излучения

Особое влияние на помехоустойчивость каналов радиорелейной связи, электромагнитную совместимость и их разведзащищенность от средств радиотехнической разведки оказывают характеристики излучения и, в первую очередь, диаграмма направленности. Так, повышение помехоустойчивости и разведзащищенности связано с возможностью формирования ДН с низким уровнем боковых лепестков (высоким коэффициентом защитного действия), высоким уровнем кросс поляризационной развязки, обеспечивающим возможность работы в системах с поляризационным уплотнением.

Для оценки влияния диаграммы направленности антенны на помехоустойчивость и разведзащищенность можно воспользоваться уравнением радиолинии I типа [4], на основании которого получено выражение характеризующее отношение сигнал/помеха на выходе антенны в виде

$$Q = \frac{P_{nep}^{(1)} \eta_{nep}^{(1)} G_{nep}^{(1)} R_2^2 |F_{np}(\theta_1, \varphi_1)|^2}{P_{nep}^{(2)} \eta_{nep}^{(2)} G_{nep}^{(2)} R_1^2 |F_{np}(\theta_2, \varphi_2)|^2} \quad (1)$$

В соотношении (1)  $P_{nep}^{(1)}$  представляет собой мощность передатчика полезного сигнала;  $\eta_{nep}^{(1)}$  - КПД передатчика полезного сигнала;  $G_{nep}^{(1)}$  - КНД антенны, используемой для передачи полезного сигнала;  $P_{nep}^{(2)}$  - мощность передатчика помехового сигнала;  $\eta_{nep}^{(2)}$  - КПД передатчика станции помех;  $G_{nep}^{(2)}$  - КНД антенны, используемой для передачи помехового сигнала;  $F(\bullet)$  - нормированная ДН рассматриваемой антенны;  $\theta_1$  и  $\theta_2$  - угол максимума ДН и соответственно угол, которым определяется направление прихода помехи;  $R_1$ ,  $R_2$  является расстоянием между передающей сигнал и приемной антеннами и антенной станции помех и приемной антенной соответственно.

В то же время, диаграмма направленности антенны, как отмечалось ранее, определяет и разведзащищенность системы связи при передаче команд и сигналов. Это определяется тем, что мощность, излучаемая антенной в направлении антенны системы радиоразведки противника, может быть записана в виде:

$$P_{разв} = \frac{P_{nep} \eta_{nep} G_{nep} G_2 \lambda^2}{4\pi R^2} |F_{nep}(\theta_{разв}, \varphi_{разв})|^2, \quad (2)$$

где  $P_{nep}$ ,  $\eta_{nep}$ ,  $G_{nep}$  является мощностью, КПД, КНД передающей антенны соответственно;  $G_2$  - КНД антенны системы радиоразведки противника,  $F_{nep}(\theta_{разв}, \varphi_{разв})$  диаграмма направленности антенны в направлении антенны системы радиоразведки противника.

Соотношения (1), (2) показывают, что повышение помехоустойчивости и разведзащищенности определяется формированием низкого уровня боковых и задних лепестков ДН.

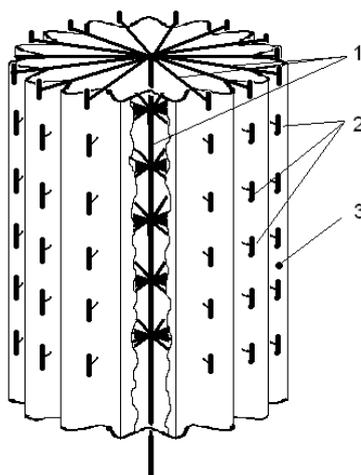
Кроме того, конструкция антенны в значительной степени определяет коэффициент технической готовности и живучести пункта управления. В частности, с конструкцией антенны связана и возможность оперативного изменения направления связи в зависимости от изменения обстановки.

Таким образом, антенны перспективных станций радиорелейной связи по сравнению с существующими должны удовлетворять следующим требованиям:

- более низкий уровень боковых и задних лепестков ДН;
- возможность оперативной смены направления связи;
- возможность свертывания и развертывания антенных систем в короткие сроки;
- малые массо-габаритные характеристики.

В качестве одного из вариантов построения антенн радиорелейной связи может служить антенная система, включающая в свой состав совокупность кольцевых антенных решеток, размещенных вблизи поверхности металлического цилиндра с сечением в виде звездообразного контура. Форма несущей конструкции определяется тактико-техническими требованиями к углу разворота главного максимума диаграммы направленности (ДН) антенны. Выбор продольно ориентированных излучателей определяется условиями распространения электромагнитных волн над поверхностью земли.

Для улучшения характеристик согласования элементов АР, снижения уровня боковых лепестков ДН возможно использование цилиндрической конструкции, поперечное сечение которой представляет собой контур с определенным образом выбранными параметрами. При этом для обеспечения одинаковых характеристик каждого излучателя изменение геометрических параметров такого контура должно соответствовать шагу их размещения в составе решетки. Одним из вариантов является изменение параметров контура по закону  $R = R_0 + \Delta R \cos(N\varphi)$ , как показано на рисунке 1 [5]. Параметр  $N$  выбирается из условия обеспечения идентичности характеристик излучателей. Для исключения дополнительных главных максимумов в ДН расстояние между излучателями принимается равным  $0,5\lambda \dots 0,6\lambda$ .



1 – несущий каркас; 2 – излучатели;

3 – металлическая фольга или прочная металлическая пленка

Рисунок 1. Цилиндрическая антенна подвижной радиорелейных станций радиосвязи

Решение вопросов, направленных на повышение живучести средств связи и АСУ, относится, прежде всего, к излучающему раскрытию антенной системы, поскольку аппаратный модуль антенны (СВЧ-тракт, система управления лучом, передающее и приемное устройства и т.д.) может быть размещен в отсеках подвижного ПУ или КП.

Как следует из проведенного анализа, применение радиорелейных линий радиосвязи, обеспечивающих устойчивое функционирование средств связи и АСУ в условиях ведения противником радиоэлектронной борьбы, может повысить устойчивость управления авиационными частями и подразделениями в случае их рассредоточения по разветвленной сети полевых аэродромов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Афонин И.Е., Ермаков Д.А. Некоторые аспекты анализа информационного конфликта в технической сфере // Инновационные технологии в образовательном процессе. Сборник материалов XX Южно-Российской научно-практической конференции. – Краснодар: КВВАУЛ, 2019.– С. 42-46.
2. Фролов О.П. Антенны и фидерные тракты для радиорелейных линий связи. – М.: Радио и связь, 2001. –416с.
3. Основы проектирования цифровых радиорелейных линий связи: учебное пособие / М. А. Быховский, Ю. М. Кирик, В. И. Носов [и др.]; под ред. М. А. Быховского. – М.: Горячая линия – Телеком, 2014. – 334 с.
4. Распространение радиоволн: учебник для вузов по специальности «Радиосвязь и радиовещание» / Е. Л. Черенкова, О. В. Чернышев. – М.: Радио и связь, 1984. – 272 с.
5. Габриэльян Д.Д., Звездина М.Ю., Лабунько О.С., Сухопаров П.Е. Взаимосвязь геометрических параметров и поверхностного импеданса звездного контура // Электромагнитные волны и электронные системы. 2008. Т.13. №5. С. 33-34.
6. Оценка вариации Аллана при использовании метода статистической стабилизации частоты генераторов. Юхнов В.И., Енгибарян И.А., Сафарьян О.А., Сахаров И.А. Труды Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики. 2019. № 1. С. 147-150.

**П.Е. Сухопаров<sup>1</sup>, В.А. Романенко<sup>1</sup>, В.И. Юхнов<sup>2</sup>**

### **ФОРМИРОВАНИЕ ИМПЕДАНСНЫХ СВОЙСТВ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ КОНСТРУКЦИИ ЗА СЧЕТ ИЗМЕНЕНИЯ ЕЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ**

Краснодарское высшее военное авиационное училище лётчиков  
имени Героя Советского Союза А.К. Серова, Краснодар, Россия<sup>1</sup>

Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени ФГБОУ ВО  
«Московский технический университет связи и информатики», г. Ростов-на-Дону, Россия<sup>2</sup>

Ключевые слова: цилиндрическая антенна, поверхностный импеданс, диаграмма направленности, ряд Фурье.

В статье рассмотрен один из типов структур, позволяющих реализовать импедансные граничные условия. Проведены исследования взаимосвязи геометрических параметров структуры и достигаемого значения поверхностного импеданса.

**P.E. Sukhoparov<sup>1</sup>, V.A. Romanenko<sup>1</sup>, V. I. Yukhnov<sup>2</sup>**

### **FORMATION OF IMPEDANCE PROPERTIES OF A CYLINDRICAL STRUCTURE DUE TO CHANGES IN ITS GEOMETRIC PARAMETERS OF THE CROSS SECTION**

Krasnodar Higher Military Aviation School of Pilots named after  
Hero of the Soviet Union A.K. Serov, Krasnodar, Russia<sup>1</sup>  
North Caucasus branch of Moscow Technical University  
of Communications and Informatics, Rostov-on-Don, Russia<sup>2</sup>

Keywords: cylindrical antenna, surface impedance, radiation pattern, Fourier series.

The article considers one of the structure types allowing the impedance boundary conditions realization is considered. The correlation research of the structure geometrical parameters to the attained surface impedance value is carried out.

### Введение.

На современном этапе развития антенной техники в условиях постоянного ее усложнения становится актуальной задача реализации импедансных свойств поверхностей и управления их характеристиками для цилиндрических антенн. Импедансные граничные условия, с помощью которых можно добиться заданных характеристик излучения и согласования, можно получить на металлических цилиндрах со слоем магнитодиэлектрика, с использованием высокоимпедансных, а также гофрированных структур [1,2]. Однако применение радиопоглощающих покрытий приводит к увеличению веса самой антенны, что является немаловажным фактором при применении таких антенн на мобильных объектах, например, самолетах, автомобилях, антеннах базовых станций. Также можно отметить, что при моделировании антенн с радиопоглощающими покрытиями можно

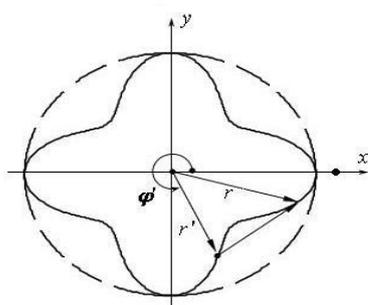


Рис. 1

столкнуться с отсутствием эффективных в вычислительном плане электродинамических моделей структуры электромагнитного поля вблизи покрытия, позволяющих изменять вид и характеристики покрытия.

В то же время реализовать импедансные граничные условия можно с помощью звездного контура, обеспечивающего данные свойства для поверхности идеально проводящего кругового цилиндра. Решение данного вопроса возможно путем использования численно-аналитических методов, позволяющих наряду с обеспечением приемлемых вычислительных затрат

учитывать и физические свойства объектов исследования. Основой таких методов может служить использование  $2\pi$ -периодичности спектрального представления возбуждаемых полей.

Рассмотрим бесконечный вдоль образующей идеально проводящий цилиндр, с поперечным сечением, контур которого описывается соотношением (1). Данный цилиндр возбуждается электрическим диполем с электрическим моментом  $zI_0l$ .

$$R(\varphi) = R_0 + \Delta R \cos(N\varphi), \quad (1)$$

В соотношении (1)  $R_0, \Delta R, N$  - геометрические параметры звездообразного контура, определяющие радиус, глубину канавки, и количество вершин соответственно. Геометрия задачи приведена на рис. 1.

С использованием спектрального представления выражение для  $z$ -компоненты полного поля имеет вид [3]:

$$E_z = -\frac{iW_0}{k} \int_{-\infty}^{\infty} \beta^2 \exp(-ih|z - z_0|) \left\{ I_0 l H_0^{(2)}(\beta r) + \int_L j_z^{sc}(\beta x', \beta y') H_0^{(2)}(\beta r') dx' dy' \right\} dh, \quad (2)$$

где  $j_z^{sc}(\cdot)$  - плотность поверхностного тока, возбуждаемого на цилиндре;  $H_0^{(2)}(\cdot)$  - функция Ганкеля 2-го рода нулевого порядка;  $\beta^2 = h^2 - k^2$ ;  $k$  - волновое число свободного пространства.

Функция Ганкеля отраженного поля по углу  $\varphi$  является периодической с периодом  $2\pi$ . Следовательно, её можно разложить в ряд Фурье по тригонометрическим функциям:

$$H_0^{(2)}(\beta r') = \sum_{k=1}^{\infty} (C_k \cos(k\varphi) + D_k \sin(k\varphi)) \quad (3)$$

Аргумент функции Ганкеля отраженного поля можно представить в виде:

$$\beta r = \beta \sqrt{(\rho(\varphi) \cos \varphi - \rho(\varphi') \cos \varphi')^2 + (\rho(\varphi) \sin \varphi - \rho(\varphi') \sin \varphi')^2}, \quad (4)$$

где  $\rho(\varphi), \rho(\varphi')$  - расстояние до излучателя и точки излучения соответственно.

Из выражения (4) видно, что аргумент зависит от двух переменных  $\varphi$  и  $\varphi'$ , и так как координаты точки наблюдения являются  $2\pi$  - периодическими функциями по углу  $\varphi'$ , то коэффициенты  $C_k, D_k$  также можно разложить в ряд Фурье:

$$C_k = \sum_{m=0}^{\infty} N_m^k \cos(m\varphi') + M_m^k \sin(m\varphi')$$

$$D_k = \sum_{m=0}^{\infty} P_m^k \cos(m\varphi') + Q_m^k \sin(m\varphi') \quad (5)$$

Аналогично, раскладывая в ряд Фурье падающее поле и ток на поверхности цилиндра, получаем:

$$I_0 I H_0^{(2)}(\beta r) = \sum_{q=0}^{\infty} S_q \cos(q\varphi) + R_q \sin(q\varphi)$$

$$j_z^{sc} = \sum_{l=0}^{\infty} A_l \cos(l\varphi') + B_l \sin(l\varphi') \quad (6)$$

Подставляя выражения (5), (6) в соотношение (2) получаем интегральное выражение с двумя неизвестными коэффициентами  $A_l, B_l$ , которое позволяет свести решение данного интегрального уравнения к системе (7) линейных алгебраических уравнений:

$$\begin{cases} I_0 I S_t = - \sum_{m=0}^{\infty} (\pi A_m N_m^t + \pi B_m M_m^t) \\ I_0 I R_t = - \sum_{m=0}^{\infty} (\pi A_m P_m^t + \pi B_m Q_m^t) \end{cases} \quad (7)$$

Решение системы линейных уравнений (7) дает возможность найти распределение тока на поверхности цилиндра, с помощью которого возможно определить диаграмму направленности (ДН) продольного вибратора в присутствии цилиндра со звездным контуром.

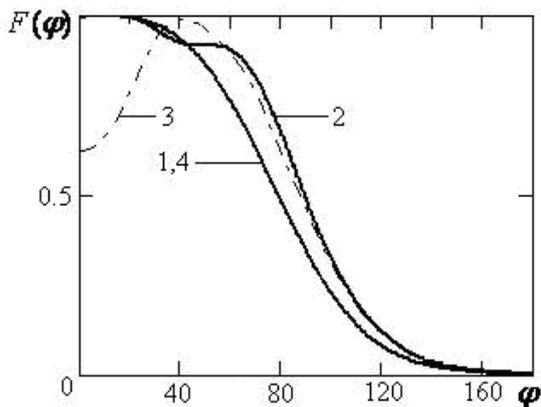


Рис.2

Результаты исследований влияния параметров звездного контура на ДН приведены на рис. 2-4. Во всех случаях рассматривалось положение вибратора, показанное на рис.1 при удалении вибратора на расстояние  $0.25\lambda$  от поверхности эквивалентного кругового цилиндра. При этом на рис. 2 показаны ДН продольного вибратора в присутствии звездного контура для случая  $R_0 = 2\lambda$ ,  $\Delta R = 0.1\lambda$  при различных значениях параметра  $N$ . Из приведенных результатов следует, что при  $N = 0$  ДН излучателя

полностью совпадает с диаграммой направленности продольного вибратора, расположенного вблизи эквивалентного кругового цилиндра радиуса  $R_0 + \Delta R$  (кривая 1). При увеличении значения  $N$  диаграмма направленности приобретает вид, характерный для продольного вибратора, расположенного вблизи эквивалентного кругового цилиндра с импедансными граничными условиями (кривые 2, 3) [3]. Однако дальнейшее увеличение значения  $N$ , соответствующее уменьшению периода следования «канавок», приводит вновь к обращению в нуль значения поверхностного импеданса. Данный эффект, как показано в [4], имеет место и в случае гребенчатой структуры.

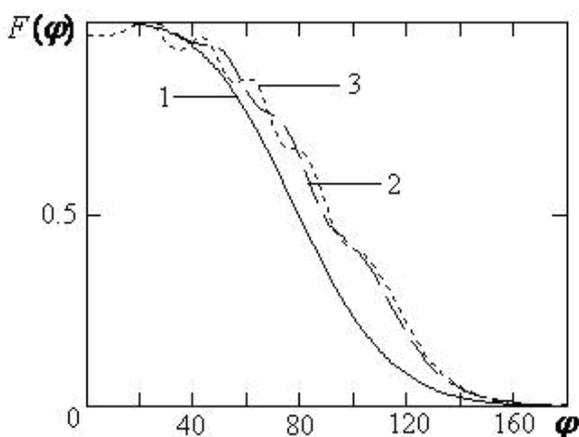


Рис.3

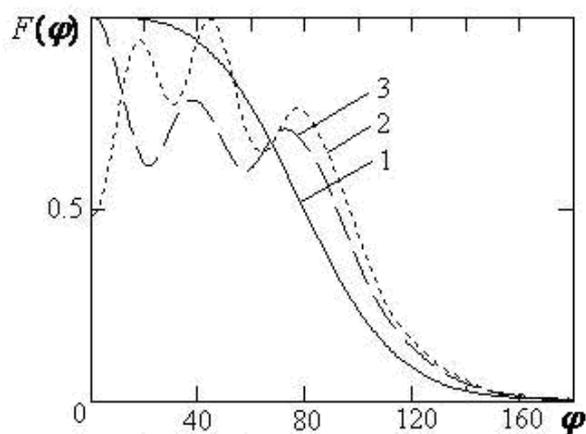


Рис.4

На рис.3, 4 представлены результаты исследований влияния глубины канавки звездообразного контура  $\Delta R$  на ДН вибратора при  $N=4$  (рис.3) и  $N=8$  (рис.4) соответственно. Приведенные кривые показывают, что при  $\Delta R=0$  в обоих случаях ДН (кривые 1) совпадает с диаграммой вибратора идеально проводящего кругового цилиндра, возбуждаемого продольным электрическим диполем. Увеличение значения  $\Delta R$ , т.е. глубины «канавки», приводит к увеличению поверхностного импеданса эквивалентного кругового цилиндра и соответствующему изменению ДН. Однако при  $N=64$  значения поверхностного импеданса практически равны нулю независимо от величины  $\Delta R$ .

### Заключение.

Таким образом, в статье исследованы вопросы реализации импедансных свойств цилиндрической поверхности путем изменения геометрических параметров идеально проводящей цилиндрической поверхности с сечением в виде звездного контура

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Вайнштейн Л.А.* Электромагнитные волны. - М.: Радио и связь, 1988. – 440 с.
2. *Clavijo, S., Diaz, R.E., McKinzie, W.E.,* Design Methodology for Sievenpiper High-Impedance Surfaces: An Artificial Magnetic Conductor for Positive Gain Electrically Small Antennas. // IEEE Trans. Antennas and Propag. – 2003. - v.51 - № 10. - С.2678-2690.
3. *Габриэлян Д.Д., Звездина М.Ю., Сияевский Г.П.* Методы решения задач дифракции для цилиндрических поверхностей с радиопоглощающими покрытиями // Успехи современной радиоэлектроники. – 2006. - №6. - С.68-80.
4. *Марков Г.Т., Чаплин А.Ф.* Возбуждение электромагнитных волн. - М.: Радио и связь, 1983. - 296 с.

## КОНЦЕПЦИЯ СЕТЕЦЕНТРИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИОННО АВИАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Краснодарское высшее военное авиационное училище лётчиков  
имени Героя Советского Союза А.К. Серова, Краснодар, Россия <sup>1</sup>  
Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени ФГБОУ ВО  
«Московский технический университет связи и информатики», г. Ростов-на-Дону, Россия <sup>2</sup>

Ключевые слова: сетецентрическая технология, бортовая радиолокационная станция.

В статье рассмотрены основные положения концепции «бесконтактных войн» и требования к бортовым радиолокационным станциям боевых самолетов нового поколения в свете особенностей сетецентрической войны.

V.G. Rudenko<sup>1</sup>, G.I. Zakharenko<sup>1</sup>, V.V. Ershov<sup>2</sup>

## THE CONCEPT OF A NETWORK-CENTRIC INFORMATION AVIATION SYSTEM

Krasnodar Higher Military Aviation School of Pilots named after  
Hero of the Soviet Union A.K. Serov, Krasnodar, Russia <sup>1</sup>  
North Caucasus branch of Moscow Technical University  
of Communications and Informatics, Rostov-on-Don, Russia <sup>2</sup>

Key words: network-centric technology, on-board radar station.

The main provisions of the concept of «contactless wars» and the requirements for airborne radar stations of new-generation combat aircraft in terms of the features of network-centric warfare are considered.

Важным направлением развития современной боевой авиации является создание интегрированной системы, базирующейся на новых концепциях ведения боевых действий, одной из которых является концепция «бесконтактных войн». Концепция исходит из возможности достижения желательных исходов конфликта за счет поражения критически важных элементов инфраструктуры страны-противника, определяющих его государственное, экономическое и военное функционирование. Особенности боевых действий в рамках этой концепции является расширение пространства вооруженной борьбы. Боевые действия охватывают всю территорию страны-противника и ведутся централизованно. Удары наносятся по целям на всю глубину территории противника независимо от удаления до госграниц, в отличие от прошлого периода, когда боевые действия велись в большей степени в рамках наземных операций и перемещающейся линии фронта. Основные боевые действия ведутся бесконтактно (без наземных операций), с использованием воздушных ударов. Считается, что разрушение упомянутых критических элементов парализует способность страны-противника к активному противодействию и является решающим фактором завершения конфликта на выгодных условиях.

В рамках этой концепции важная роль принадлежит высокоточному оружию (ВТО). Как средство ведения войны ВТО практически показало высокую эффективность в ходе последних локальных конфликтов. Высокоточное вооружение потенциально обладает свойствами, отвечающими требованиям войн XXI века, в том числе способно реализовать новые принципы ведения боевых действий, такие, как дозированное реагирование, высокоточное избирательное поражение, мониторинг театра военных действий в реальном масштабе времени, интеграция боевых и информационных средств и централизованное

---

планирование боевых операций, минимизация собственных потерь, минимизация побочных ущербов мирному населению и инфраструктуре и др. Уже сегодня ВТО ассоциируется с превосходством в информационной сфере: разведке, управлении войсками и оружием и создании разведывательно-ударной системы.

В боевых действиях в Сирии и на Украине были продемонстрированы новые концепции и технологии, включая интеграцию цифровых данных различных информационных датчиков, цифровое представление и отображение района и хода боевых действий на больших цветных экранах, оперативное управление и распределение информации. Во время боевых действий действовал объединенный командный пункт - объединенный центр планирования воздушных операций, который осуществлял планирование ударов и управление боевыми действиями.

Все это получило общее определение сетецентрической технологии ведения боевых действий. И уже сегодня можно представить, как будет выглядеть эта технология в самом ближайшем будущем и в части структуры информационной сети, определяющей существование интегрированной боевой системы, и в части облика центрального управляющего узла этой сети [1].

Важную роль в такой технологии ведения боевых действий ближайшего будущего будет отведена авиационной ударной системе. В условиях локального конфликта условия обнаружения, свойства и информационные признаки для большинства целей носят экстремальный характер:

большое число целей являются мобильными, что обостряет значимость временного фактора (временного запаздывания момента нанесения удара относительно момента обнаружения);

информационные признаки целей могут быть достаточно низкими, в том числе с учетом возможности маскировки, затенения и экранирования, например, рельефом, что связано с необходимостью широкого использования активных, в основном радиолокационных, разведывательных средств;

большинство целей могут находиться под прикрытием средств обороны противника.

В локальных конфликтах назначение авиационных разведывательных средств связано с информационным обеспечением непосредственных боевых действий в заданном районе. Основное требование связано с необходимостью высокой оперативности выдачи информации в виде, обеспечивающем применение ударных средств. Информационная система обеспечения непосредственных боевых действий в заданном районе включает два основных функциональных уровня: разведывательные комплексы основного длительного наблюдения (мониторинга) и комплексы оперативной разведки.

Концептуально разведывательные авиационные комплексы длительного наблюдения предназначаются для ведения комплексной разведки из зон барражирования вне района боевых действий. Такой способ боевого применения самолета связывается с наличием угрозы со стороны ПВО противника. При этом разведывательные действия могут осуществляться как в мирное время, так и в условиях боевых действий. Для решения задач мониторинга привлекаются средства космической разведки [2].

В классе разведывательных самолетов разведки и управления выделяются «большие» самолеты, создаваемые обычно на основе транспортных или гражданских самолетов. Космические разведывательные средства потенциально обладают большими возможностями в длительном, постоянном мониторинге и контроле наземной обстановки в удаленных регионах мира, в том числе недоступных в мирное время разведывательным самолетам. Эффективность таких действий во многом определяется характеристиками бортовой аппаратуры. Для перспективной космической разведывательной системы ставится задача обнаружения и слежения за мобильными наземными целями.

Ударная авиация в составе интегрированной боевой системы выполняет функции исполнительного средства. Поэтому повышение значимости авиации и авиационных

---

средств поражения позволит на практике успешно решать стратегические задачи в конфликтах различного уровня при минимальных собственных потерях.

Авиация становится многоцелевой и активно используется в локальных конфликтах в неядерном оснащении для нанесения первых ударов по ключевым объектам противника. Для новых видов авиационного оружия преобладающими являются качества высокоточности и избирательности, а также низкой стоимости поражения.

В рамках такой системы определился типаж оружия для поражения наземных целей, в том числе выделились два приоритетных класса оружия по дальности действия:

- оружие большой дальности для поражения важных целей в глубине района ведения боевых действий с обеспечением пусков оружия вне зон ПВО, в том числе из нейтральных зон без пересечения границ других стран;
- оружие общего назначения для решения задач поражения наземных целей на ТВД.

Высокоточное оружие большой дальности — это в первую очередь высокоточные неядерные крылатые ракеты большой дальности воздушного и морского базирования. В контексте концепции «бесконтактных войн» это оружие первого удара, когда система ПВО противника не подавлена, что определяет высокие требования по дальности и выживаемости оружия в системе ПВО противника.

Локальные конфликты и борьба с терроризмом повысили значимость задачи поражения меняющих позицию целей, а также мобильных целей. Эта боевая задача всегда относилась к разряду сложных. Основным средством борьбы с мобильными целями остается пилотируемая ударная авиация, хотя в последнее время получает активное развитие использование беспилотных летательных аппаратов (дронов). Ударные авиационные комплексы способны обнаружить мобильную цель и осуществить пуск оружия после обнаружения и установления информационного контакта с атакуемой целью бортовыми информационными средствами. Время атаки относительно времени момента обнаружения определяется временем получения целеуказания и временем полета самолета и ракеты к цели. Время целеуказания зависит от характеристик боевой системы, в рамках которой применяется оружие в соответствии с циклом информационного обеспечения и боевого управления, в том числе зависит от длительности цикла обновления разведывательной информации, обработки и передачи целеуказания, схемы передачи целеуказания (перед вылетом самолета или оперативно в процессе полета и т.п.).

Концепция сетцентрической информационно-ударной системы предусматривает создание единой распределенной информационно-коммуникационной сети, связывающей информационные датчики (источники данных), лиц, принимающих решения (командование) и исполнителей (ударные средства различного типа), что обеспечивает возможность адресного взаимодействия всех участников системы, в том числе обмен информации между участниками боевых операций в рамках оперативных информационно-командных циклов «информация – поражение» [3].

В прошедших конфликтах было достигнуто существенное сокращение длительности цикла «обнаружение – поражение» с часов до десятка минут. Это повысило не только темп процесса управления силами и средствами, но и темп операций, эффективность поражения сил противника, живучесть своих войск, а также уровень самосинхронизации боевых действий.

Необходимо учитывать, что боевой конфликт — это развивающийся во времени процесс, для которого определяющее значение имеют не только уровни эффективности, но и интенсивность выполнения тех или иных функций. В технологическом плане интегрированная система вооружения должна включать [4]:

- территориально распределенную сеть, обеспечивающую интеграцию географически распределенных составляющих вооружения ВС: разведывательных и информационно-управляющих средств, исполнительных средств поражения;

- 
- систему создания и непрерывного обновления геоинформационной модели зоны национальных интересов, в том числе обеспечивая необходимую геоинформацию по районам возможных конфликтов;
  - разведывательную систему, включающую системы информационных датчиков различного физического принципа функционирования, а также системы комплексирования и обработки информации;
  - систему планирования операций и подготовки боевых заданий;
  - систему информационного обеспечения высокоточного оружия, разведывательных систем и других составляющих интегрированной системы, включая высокоточное навигационное и картографическое обеспечение;
  - системы средств высокоточного поражения.

Среди последней группы этих составляющих и управляемое вооружение, и боевые самолеты, представленные в общей информационной сети своими комплексами бортового оборудования. Оно предназначено для получения, обработки и передачи данных. Важная роль в таком комплексе принадлежит бортовым радиолокационным станциям (БРЛС). Рассмотрим более подробно требования к БРЛС боевых самолетов нового поколения в свете особенностей сетецентрической войны.

Серьезный момент в авиации XXI века — это появление РЛС с активными фазированными антенными решетками (АФАР) на боевых многофункциональных самолетах. Прорыв в этой области уже произошел. Он дает очень много тактических возможностей для применения высокоточного оружия и самой организации боевых операций. АФАР — это уход от единого мощного высоковольтного приемопередатчика к совокупности низковольтных приемопередающих модулей, образующих апертуру антенной решетки и управляемых цифровым устройством, которое и осуществляет обработку и интеграцию сигналов отдельных модулей в общее изображение. Преимущество таких АФАР - в высокой надежности, в более чем десятикратном увеличении наработки на отказ. Можно говорить о сравнимости надежности такого локатора с АФАР с надежностью самого планера, а планер служит десятки лет.

Следующие преимущества - это повышение помехозащищенности, трехкратное расширение полосы частот БРЛС, управление формой диаграммы направленности, одновременная работа на нескольких несущих частотах, повышение чувствительности приемного тракта (как минимум вдвое), повышение мощности излучения, а значит, и увеличение дальности обнаружения целей, возможность совмещения режимов «воздух - воздух» и «воздух - поверхность», интегрированная апертура станции, которую можно одновременно использовать для ведения радиотехнической разведки, для постановки активных помех, и как локатор. Тут и сопровождение цели в скрытом, пассивном режиме, десятикратное повышение мощности активных помех в главном лепестке диаграммы направленности.

Если противник использует АФАР, то использование АФАР нашей авиацией нейтрализует его преимущества. Широкие полосы частот, обеспечиваемые применением АФАР для режимов радиотехнической разведки и радиолокации, показаны вместе с узкой полосой обычного типа РЛС (это 500-600 МГц по сравнению с 3-5 ГГц для АФАР). Наблюдая в режиме радиотехнической разведки пространство и фиксируя частоты излучения противника, можно отстроиться от частоты противника, работая в режиме локации на своей частоте, а на частоте противника поставить мощную помеху прямым лепестком. Если сравнить потенциал станции активных помех, то встречное излучение БРЛС с АФАР (а антенна сама усиливает, и луч может быть достаточно узконаправленным) всегда больше, чем у любой станции активных помех, излучающей энергию в достаточно больших телесных углах. У АФАР же энергия излучается прицельно в узком угле. Уже на дальности порядка 200 км практически прямое излучение может ослепить станцию противника, если она работает на принципах пассивной ФАР или целевой решетки, а

---

головки ракет могут быть полностью подавлены на дальностях порядка 10 км при обычных мощностях, которые дает станция с АФАР.

В условиях атаки можно использовать режим синтезированной апертуры для уточнения координат цели по мере приближения к цели, если внешнее целеуказание оказалось достаточно грубым. За 10, 5, 2-1,5 мин до момента пуска оружия «воздух-поверхность» идет уточнение координат цели. В результате этого точность целеуказания доходит до единиц (3-5) метров по сравнению с десятками (20-30) метров промаха, если бы использовались данные только первоначального внешнего целеуказания.

Можно успешно использовать локатор с АФАР для атаки подвижных целей, выше рассматривались стационарные цели. Патрульный самолет, наблюдающий район боевых действий и обнаруживающий подвижную цель, по каналам связи с сетевцентрической системой выдает корректирующие команды по целеуказанию на борт атакующего самолета. Проводимые испытания отечественных и иностранных систем показали высокую эффективность поражения подвижных ракетных установок и других маневрирующих наземных целей.

Для режима «воздух - воздух» многолучевая АФАР позволяет использовать радиокомандную коррекцию, особенно для ракет, траектория которых формируется с баллистическим участком для достижения большей дальности. Так, ракета типа AMRAAM в этом случае может достигать дальности 200-300 км, что позволило американцам отказаться от целого класса ракет большой дальности, используя на больших дальностях «средние ракеты». Локатор может применяться для получения информации о захвате цели ракетой и подрыве ее боевой части, что важно для фиксации факта поражения цели, для выставки инерциальной платформы ракеты и т.д.

Использование БРЛС с новыми характеристиками позволит эффективно использовать боевые самолеты в перспективной сетевцентрической войне.

Таким образом, создание единой распределенной информационно-коммуникационной сети в сетевцентрической информационно-ударной авиационной системе обеспечит важное взаимодействие и обмен информацией всех участников данной системы.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Руденко В.Г. Направления и проблемы развития авионики перспективных бортовых авиационных комплексов. Сборник научных трудов 9-го Международного научного симпозиума «Специальная связь и безопасность информации», Терскол, 2021, с. 149-153.
2. Руденко В.Г. Совместное использование различных методов навигации в спутниковых радионавигационных системах. Межвузовский сборник научных трудов. Выпуск 24. Краснодар: КВВАУЛ, 2020, с. 120-122.
3. Афонин И.Е., Макаренко С.И., Ковальский А.А. Обоснование перспективных направлений развития системы противокосмической обороны РФ в интересах своевременного вскрытия и отражения «быстрого глобального удара» средств воздушно-космического нападения. ВКС РФ, журнал «Теория и практика» № 16, 2020, с. 99-115.
4. Афонин И.Е., Карыпов К.М. Методы радиолокационного распознавания воздушных целей. Материалы 3-й Международной НПК, посвященной 60-летию образования Армавирского механико-технологического института, Армавир, 2019, с. 48-51.

## ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ УДАЛЕННОГО ДОСТУПА В СЕТИ

Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени ФГБОУ ВО «Московский технический университет связи и информатики», г. Ростов-на-Дону, Россия

Ключевые слова: удаленный доступ, защита информации, коммутируемые линии и виртуальные частные сети.

В статье рассмотрены виды удаленного доступа, а также защита информации, передаваемая через коммутируемые линии и виртуальные частные сети.

I.A. Engibaryan, A.E. Evsikova, E.O. Vladimirova

## PROTECTION INFORMATION WHEN USING REMOTE ACCESS ON THE NETWORK

North Caucasus branch of Moscow Technical University  
of Communications and Informatics, Rostov-on-Don, Russia

Keywords: remote access, information protection, switched lines and virtual private networks.

The article discusses the types of remote access, as well as the protection of information transmitted through dial-up lines and virtual private networks.

С развитием новых цифровых технологий ценность информации в мире возрастает. И на сегодняшний день очень важно иметь возможность получать информацию из различных источников, например, организовывать передачу данных между филиалами организаций. Компьютерная сеть многих предприятий не ограничивается локальной сетью. Пользователи могут находиться на большом расстоянии от основного офиса, например, если филиал находится в другом городе или если сотрудник организации предпочел дистанционную работу. И для того, чтобы оставаться конкурентоспособным на рынке, необходимо иметь быстрый и безопасный доступ к информации.

Нарушение информационной безопасности на различных уровнях остается одной из самых распространенных проблем современного общества. Поэтому разработка комплексной защиты передаваемых данных остается всегда актуальной.

Удаленный доступ (remote access) – это любой тип программного обеспечения, предоставляющего доступ к удаленному компьютеру. Программы для удаленного доступа могут предоставлять доступ к другому компьютеру по запросу (с паролем) или автоматически, также они могут подключать пользователей к удаленным ресурсам или предоставлять доступ к главному компьютеру из других мест.

Различают два основных вида удаленного доступа:

- соединение по коммутируемой линии (dial-up connection);
- соединение с использованием виртуальных частных сетей (Virtual Private Networks, VPN).

Соединение по коммутируемой линии, или подключение удаленного доступа – безусловно старая, но имеющая спрос по сей день технология. Она имеет небольшую скорость передачи данных, так как на качество связи влияет состояние линии, во время работы модема телефонная линия занята. Но несмотря на все недостатки это универсальный и давно испытанный способ доступа в интернет. Так как через обычный модем можно получить доступ отовсюду, где есть стандартная телефонная розетка.

---

Соединения по коммутируемым линиям могут осуществляться с использованием следующих средств связи: телефонные сети, сеть ISDN (Integrated Services Digital Network), ATM поверх ADSL.

Для соединений удаленного доступа по коммутируемым линиям было разработано несколько специальных протоколов:

- протокол SLIP (Serial Line Internet Protocol) – межсетевой протокол для последовательного канала;
- протокол PPP (Point-to-Point Protocol) – протокол соединения «точка-точка».

Преимущества PPP перед SLIP заключаются в том, что PPP может адаптировать несколько других сетевых технологий, а не ограничиваться только Интернетом и TCP/IP, поддерживает сжатие и шифрование данных. PPP использует механизм согласования для настройки параметров связи между двумя одноранговыми узлами PPP, а также отбрасывает поврежденные пакеты на принимающей стороне. Перед инициированием связи сначала аутентифицируются два конечных пользователя.

Поскольку PPP является последним и усовершенствованным протоколом, он предлагает несколько дополнительных функций, а также предоставляет услуги прямой связи.

Виртуальная частная сеть VPN является зашифрованным или инкапсулированным коммуникационным процессом, который безопасным образом передает данные из одной точки в другую; безопасность этих данных обеспечена устойчивой технологией шифрования, и передаваемые данные проходят через открытую, незащищенную, маршрутизируемую сеть.

Главной отличительной чертой данной технологии является использование сети Internet в качестве магистрали для передачи корпоративного IP-трафика. Сети VPN предназначены для решения задач подключения конечного пользователя к удаленной сети и соединения нескольких локальных сетей. Структура VPN включает в себя каналы глобальной сети, защищенные протоколы и маршрутизаторы. VPN-устройство располагается между внутренней сетью и Интернетом на каждом конце соединения. При подключении к Интернету через VPN, трафик из точки отправления проходит через зашифрованный туннель, обеспечивая защиту данных и перенаправляет их в точку назначения. Этот процесс принято называть «туннелированием». Благодаря туннелированию частная информация становится скрытой для других пользователей Интернета. Перед тем, чтобы попасть в интернет-туннель, данные шифруются, что обеспечивает их дополнительную защиту.

Система безопасности VPN – это броня, которая защищает всю корпоративную информацию от несанкционированного доступа. Важнейшие элементы защищенного соединения это – управление доступом, аутентификация и шифрование.

Протокол VPN оказывает влияние на общий уровень безопасности системы. Причиной этому является тот факт, что протокол VPN используется для обмена ключами шифрования между двумя конечными узлами. Если этот обмен не защищен, злоумышленник может перехватить ключи и затем расшифровать трафик, сведя на нет все преимущества VPN.

Существуют различные виды VPN протоколов – для связи, для шифрования трафика и другие.

- Internet Protocol Security (IPsec) – это набор протоколов для обеспечения защиты данных, передаваемых по IP-сети. IPsec шифрует весь IP-пакет, используя Authentication Header (AH), ставит цифровую подпись каждой единице данных, передаваемой через VPN-соединение. Encapsulating Security Protocol (ESP), который обеспечивает конфиденциальность, целостность и аутентификацию пакета при передаче;

- Point-to-Point Tunneling Protocol (PPTP) – один из старейших VPN протоколов, используемых до сих пор, изначально был разработан компанией Microsoft. PPTP использует два соединения – одно для управления, другое для инкапсуляции данных.

---

Первое работает с использованием TCP. Второе работает с помощью протокола GRE, который является транспортным протоколом (то есть заменой TCP/UDP);

- Layer 2 Tunneling Protocol (L2TP) сам по себе он не обеспечивает шифрование или аутентификацию, часто с ним используется IPsec. L2TP/IPsec считается безопасным и не имеет серьезных выявленных проблем (гораздо безопаснее, чем PPTP). L2TP/IPsec может использовать шифрование 3DES или AES, хотя, учитывая, что 3DES в настоящее время считается слабым шифром, он используется редко. Протокол L2TP/IPsec позволяет обеспечить высокую безопасность передаваемых данных, прост в настройке и поддерживается всеми современными операционными системами. Однако L2TP/IPsec инкапсулирует передаваемые данные дважды, что делает его менее эффективным и более медленным, чем другие VPN-протоколы;

- Internet Key Exchange version 2 (IKEv2) является протоколом IPsec, используемым для выполнения взаимной аутентификации, создания и обслуживания Security Associations (SA). Благодаря поддержке Mobility and Multi-homing Protocol (MOBIKE) IKEv2 очень устойчив к смене сетей. Это делает IKEv2 отличным выбором для пользователей смартфонов, которые регулярно переключаются между домашним Wi-Fi и мобильным соединением или перемещаются между точками доступа. IKEv2/IPsec может использовать ряд различных криптографических алгоритмов, включая AES, Blowfish и Camellia, в том числе с 256-битными ключами;

- OpenVPN – это универсальный протокол VPN, имеющий главное преимущество – это открытый исходный код. На сегодняшний день является самым популярным протоколом VPN. Будучи открытым стандартом, он прошел не одну независимую экспертизу безопасности. Он стабилен и предлагает хорошую скорость передачи передачу зашифрованного контента на скорости до 2000 Мбит в секунду. OpenVPN использует стандартные протоколы TCP и UDP и это позволяет ему стать альтернативой IPsec тогда, когда провайдер блокирует некоторые протоколы VPN;

- WireGuard является новым VPN-протоколом. Позиционируется разработчиками как замена IPsec и OpenVPN для большинства случаев их использования, будучи при этом более безопасным, более производительным и простым в использовании. Все IP-пакеты, приходящие на WireGuard интерфейс, инкапсулируются в UDP и безопасно доставляются другим пирам. WireGuard легковесный – он состоит всего из четырех тысяч строк кода. WireGuard использует современную криптографию: Curve25519 для обмена ключами, ChaCha20 для шифрования, Poly1305 для аутентификации данных, SipHash для ключей хеш-таблицы, BLAKE2 для хеширования;

- SoftEther имеет открытый исходный код. На сегодняшний день SoftEther VPN является альтернативой VPN-сервером существующим уже VPN-продуктам (OpenVPN, IPsec). SoftEther VPN также имеет оригинальный надежный протокол SSL-VPN для проникновения через любые виды. Ультраоптимизированный протокол SSL-VPN SoftEther VPN обладает очень высокой пропускной способностью, низкой задержкой и устойчивостью к брандмауэру.

Сети VPN имеют несколько преимуществ над коммутируемыми линиями связи. Главные из них – гибкость и удобство использования. Благодаря виртуальным частным сетям организациям удастся использовать наименьшее количество модемов, серверов доступа, коммутируемых линий и других технических средств, которые необходимы предприятиям, чтобы обеспечить удаленным пользователям доступ к своим сетевым ресурсам компании.

На сегодняшний день VPN сети являются наиболее востребованными компаниями на современном рынке. Эта технология предоставляет значительный диапазон преимуществ практически каждому активному пользователю сети Интернет.

---

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Браун С. Виртуальные частные сети VPN., Лори, 2001. Москва, 504с.
2. Кобылянский, В. Г. Сетевые информационные технологии. Моделирование и основные протоколы компьютерных сетей : учебное пособие / В. Г. Кобылянский. - Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2021. - 131 с. - ISBN 978-5-7782-4341-5. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1866923>
3. Запечников, С. В. Основы построения виртуальных частных сетей: Учебное пособие для вузов / С.В. Запечников, Н.Г. Милославская, А.И. Толстой. - Москва: Гор. линия-Телеком, 2011. - 249 с. (Специальность). ISBN 5-93517-139-2, 3000 экз. – Текст : электронный. - URL:<https://znanium.com/catalog/product/563048>
4. Методика оценки угроз безопасности информации. Методический документ, утвержденный ФСТЭК России 5 февраля 2021г.
5. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы/ Учебник для вузов. 6-е изд. – СПб.: Питер, 2020. – 944 с.: ил.

---

**СТАТЬЯ ОТОЗВАНА**

## СЕТЕВЫЕ АТАКИ И СПОСОБЫ ЗАЩИТЫ СЕТЕЙ

Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени ФГБОУ ВО «Московский технический университет связи и информатики», г. Ростов-на-Дону, Россия

Ключевые слова: сетевые атаки, защита сети, антивирус, шифрование данных  
В статье рассмотрены основные типы сетевых атак, а также способы защиты сетей.

I.A. Engibaryan, V.A. Uvarova

## NETWORK ATTACKS AND WAYS TO PROTECT NETWORKS

North Caucasus branch of Moscow Technical University  
of Communications and Informatics, Rostov-on-Don, Russia

Keywords: network attacks, network protection, antivirus, data encryption.  
The article discusses the main types of network attacks, as well as ways to protect networks.

Вопросы кибербезопасности становятся повседневной проблемой бизнеса. Ландшафт угроз определяется массовым уходом сотрудников на удаленную работу во время пандемии и повсеместным распространением мобильных устройств и устройств интернета вещей.

Указ президента России № 250 от 1 мая 2022 г. на ближайшие годы определяет потребности кибербезопасности в российском бизнесе и государственных организациях.

На состоявшемся в мае 2022 г. Всемирном экономическом форуме в Давосе отмечался рост в 2021 г. объема кибератак на 125% по сравнению с предыдущим годом. Атаки на критическую инфраструктуру, от которой зависит повседневная жизнь большого числа людей, заставляет рассматривать современную кибербезопасность как часть ESG.

Что касается России, то, по данным Лаборатории Касперского, Россия оказывается самой атакуемой страной в мире. С марта 2022 г. интенсивность кибератак на российские организации многократно возросла.

По данным Kaspersky Security Network, во втором квартале 2022 года:

1. Решения «Лаборатория Касперского» отразили 1 164 544 060 атак с интернет-ресурсов, размещенных по всему миру.
2. Зафиксировано 273 033 368 уникальных ссылок, на которых происходило срабатывание веб-антивируса.
3. Запуск вредоносного ПО для кражи денежных средств через онлайн-доступ к банковским счетам предотвращен на компьютерах 100 829 уникальных пользователей.
4. Атаки шифровальщиков отражены на компьютерах 74 377 уникальных пользователей.
5. Файловый антивирус «Лаборатория Касперского» обнаружил 55 314 176 уникальных вредоносных и потенциально нежелательных объектов.

Одной из опасностей для безопасности являются сетевые атаки. Сетевые атаки – это несанкционированные действия с цифровыми активами внутри организационной сети. Главные цели киберпреступников – дестабилизация работы сайтов и серверов либо их полный вывод из строя, добыча скрытой информации (конфиденциальные данные пользователей, тексты документов).

По характеру воздействия на ИС и ИКС существует два основных типа сетевых атак: пассивные и активные. Пассивным воздействием на ИС и ИКС является такое воздействие,

---

которое не оказывает непосредственного влияния на работу системы, но может нарушать ее политику безопасности. Отсутствие непосредственного влияния на работу ИКС приводит к тому, что данное воздействие намного сложнее обнаружить.

Активным воздействием на ИКС является непосредственное влияние на работу системы (изменение конфигурации ИКС, нарушение работоспособности и т. д.) и нарушающее принятую в ней политику безопасности. Все типы удаленных атак являются активными воздействиями. В результате осуществления активного воздействия в системе происходят деструктивные изменения, что по сравнению с пассивным, позволяет более оперативно его обнаружить.

При проникновении злоумышленники могут использовать другие хакерские действия, такие как вредоносные программы и атаки на конечные точки, для атаки на организационную сеть. По мере того, как все больше организаций внедряют удаленную работу, сети становятся все более уязвимыми для кражи и уничтожения данных.

На сегодняшний день известны следующие виды сетевых атак:

- mailbombing;
- применение специализированных приложений;
- переполнение буфера;
- сетевая разведка (сбор сведений при помощи приложений, находящихся в свободном доступе);
- IP-спуфинг (хакер выдает себя за законного пользователя);
- DDOS-атака (путем перегрузки обслуживание обычных пользователей делается невозможным);
- Man-in-the-Middle (внедрение с целью получения пакетов, передаваемых внутри системы);
- XSS-атака (ПК клиента подвергаются атаке через уязвимости на сервере);
- фишинг (обман жертвы путем отправки сообщений с якобы знакомого адреса).

Сложными и распространёнными сетевыми атаками является mailbombing и применение специализированных приложений и переполнение буфера.

Mailbombing – сетевая атака, при которой значительно увеличивается трафик и количество присылаемых сообщений, что генерирует сбой в работе сервиса. Это вызывает паралич не только почты, но и работы самого почтового сервера. Эффективность таких атак в наши дни считается нулевой, поскольку теперь провайдер имеет возможность установить ограничение трафика от одного отправителя. Данная атака может проводиться любым хотя бы немного подготовленным противником. Достаточно знать адрес сервера, позволяющего анонимно отправлять почтовые сообщения, и адрес пользователя, которому эти сообщения предназначены.

Рассмотрим способы защиты от данной атаки.

1. Давать адрес электронной почты только проверенным источникам.
2. В качестве преграды для mailbombing-а может выступать и Web-сайт провайдера, иногда настраиваемый таким образом, чтобы он автоматически определял почтовые атаки. В большинстве случаев они распознаются сервером посредством сравнения исходных IP-адресов входящих сообщений. Если количество сообщений из одного источника превышает некие разумные пределы, то все они автоматически поступают в Recycle Bin на сервере. Конечно же, ничто не мешает злоумышленнику фальсифицировать собственный IP-адрес.

Применение специализированных приложений – вирусов, троянов, руткитов, sniffеров – распространённый способ вывода серверов из строя. В ход идут вирусы, трояны, руткиты, sniffеры.

Вирус – вредоносный софт, заточенный на выполнение определенной функции. Внедряется в другие программы (легальные в том числе) на ПК жертвы. После встраивания

---

приступает к осуществлению прописанной «миссии». Например, проводит шифровку файлов, блокирует загрузку компьютерной платформы, прописав себя в BIOS.

«Троянский конь» – это уже не программная вставка, а полноценное вредоносное приложение, которое маскируется под безобидное. Троян может выглядеть, к примеру, как игра. Если пользователь ее запустит, начнется распространение файла. Программа рассылает свои копии по всем электронным адресам, которые есть на ПК жертвы. Чаще всего «троянский конь» похищает данные банковских карт, электронных кошельков – словом, стремится получить доступ к финансовым ресурсам.

Сниффер ворует пакеты данных, переправляемых ПК на разные сайты. Для этого используется сетевая плата, функционирующая в режиме promiscuous mode. В таком режиме все пакеты, переправленные через карту, отправляются на обработку приложению. Таким образом, может быть открыт доступ к конфиденциальным сведениям – например, списку паролей и логинов от банковских счетов.

Руткит скрывает следы преступлений злоумышленников, маскирует вредоносную деятельность, из-за чего администратор не замечает происходящего.

Выделяют следующие способы борьбы с этими видами атак:

- использование антивирусных средств и регулярное обновление их сигнатур – может решить проблему с троянскими программами, вирусами, почтовыми червями, но не решит проблему снифферов и rootkit-ов;
- шифрование передаваемых данных – не решает полностью проблему снифферов, однако, противник перехватывает данные (для расшифровки которых требуется время), которые нельзя свободно прочитать;
- использование антиснифферов (AntiSniff или PromiScan);
- использование межсетевых экранов;
- использование антируткитов.

Переполнение буфера. Принцип этого вида атак – программные ошибки, при которых память нарушает свои же границы. Это, в свою очередь, вынуждает либо завершить процесс аварийно, либо выполнить произвольный бинарный код, где используется текущая учетная запись. Если учётная запись администраторская, то данные действия разрешают получить полный доступ к системе.

Реализации атаки требует решения двух подзадач: Подготовка кода, который будет выполняться в контексте привилегированной программы. Изменение последовательности выполнения программы с передачей управления подготовленному коду.

Исходя из подзадач, реализацию которых требует атака, выделяют следующие способы борьбы с атаками подобного типа:

1. Корректировка исходных кодов программы для устранения уязвимостей. Переполнение буфера происходит, прежде всего, из-за неправильного алгоритма работы программы, который не предусматривает проверок выхода за границы буферов. Также возможно применение специальных утилит автоматического поиска уязвимостей в исходном коде программы. Указанные методы и средства позволяют создавать более защищенные программы, но не решают проблему в принципе, а лишь минимизируют число уязвимостей по переполнению буфера. Данный подход ориентирован непосредственно на разработчиков программного обеспечения и не является инструментом конечного пользователя или системного администратора.
2. Использование неисполнимых буферов. Суть метода заключается в запрещении исполнения кода в сегментах данных и стека, т.е. параметры сегментов данных и стека содержат только атрибуты записи и чтения, но не исполнения. Однако ограничение на исполнение данных приводит к проблеме несовместимости. Исполняемый стек необходим для работы многим программам, так как на его основе генерируется код компиляторами, реализуются системные функции операционных систем, реализуется автоматическая генерация кода. Защита с

---

использованием неисполнимых буферов предотвратит только атаки с внедрением кода, но не поможет при других видах атак.

3. Применение проверок выхода за границы. В основе данного метода лежит выполнение проверок выхода за границы переменной при каждом обращении к ней. Это предотвращает все возможные атаки по переполнению буфера, так как полностью исключает само переполнение. Однако, у этого решения есть существенный недостаток - значительное (до 30 раз) снижение производительности программы.
4. Применение проверок целостности. Решение, основанное на данном методе, получено благодаря проекту Synthetix. Цель Synthetix - специализация кода для увеличения производительности операционных систем. При этом вводится понятие так называемого квази-постоянства (Quasi-invariant), т.е. состояния среды, которое неизменно в определенных рамках. Такое квази-постоянство позволяет устранить ряд избыточного кода проверки выполнения различных условий. В рамках проекта реализован набор утилит, в том числе обеспечивающих контроль и защиту квази-постоянных состояний среды. К их числу относятся StackGuard и PointGuard.

Каждую сетевую атаку можно рассматривать как отдельный и серьезный инцидент безопасности. И, по сути, есть множество программ, способных обеспечить защиту от отдельных видов сетевых вторжений:

1. Шифрование данных – возможность скрыть информацию, в случае утечки злоумышленник не прочтает ее.
2. Установка антивирусов и их своевременное обновление – поможет выявить и обезвредить вредонос и отправить зараженные файлы на карантин.
3. Блокировщики sniffеров и руткитов.
4. Межсетевой экран – фильтрация всего проходящего через него трафика.
5. Anti-DDoS – решения или возможности ими пользоваться через подключение защиты у оператора связи.

IDS-решения, позволяющие обнаружить сетевые вторжения.

Кибербезопасность в настоящее время рассматривается как часть устойчивости бизнеса. Важнейшей парадигмой считается цифровая гигиена. От навыков сотрудников использовать сложные и разные пароли, противостоять фишингу и социальной инженерии зависит предотвращение кибератак на начальной стадии. Кроме того, в настоящее время риски кибербезопасности должны рассматриваться как часть бизнес-рисков, и все принимаемые решения должны расцениваться с точки зрения кибербезопасность. Средства кибербезопасности должны выполнять свои функции, но в то же время не мешать основной работе. Более того, следует стремиться к комфортной и дружелюбной рабочей среде, чтобы стандартные операции, связанные с кибербезопасностью, например, смена пароля, сброс забытого пароля, были удобны, понятны и не приводили пользователя к состоянию растерянности.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Указ Президента Российской Федерации от 01.05.2022 № 250 «О дополнительных мерах по обеспечению информационной безопасности Российской Федерации»
2. Официальный сайт «Лаборатория Касперского» [www.kaspersky.com](http://www.kaspersky.com). URL: <https://securelist.ru/it-threat-evolution-in-q2-2022-non-mobile-statistics/105744/>
3. Фисун, В. В. Искусственный интеллект управления информационной безопасностью объектов критической информационной инфраструктуры : монография / В. В. Фисун. - Москва : Русайнс, 2021. - 358 с. : ил.; ISBN 978-5-4365-7092-1
4. Шелухин, О. И. Обнаружение вторжений в компьютерные сети (сетевые аномалии): Учебное пособие для вузов / О.И. Шелухин, Д.Ж. Сакалема, А.С. Филинова. - Москва

---

: Гор. линия-Телеком, 2013. - 220 с.: ил.; . ISBN 978-5-9912-0323-4, 500 экз. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/421968>

5. Новиков, С.Н. Методология защиты пользовательской информации на основе технологий сетевого уровня мультисервисных сетей связи / С.Н. Новиков ; под ред. В.П. Шувалова. -- Москва : Горячая линия -Телеком, 2018. - 128 с. - ISBN 978-5-9912-0410-1. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/>
6. Программное средство обнаружения устройств прослушивания сетевого трафика в оптоволоконной сети OTDR2. Андриященко А.А., Манин А.А., Решетникова И.В., Черкесова Л.В. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2022617599, 22.04.2022. Заявка № 2022617132 от 22.04.2022.

**С.А. Швидченко<sup>1</sup>, И.В. Решетникова<sup>1</sup>, И.Г. Джуган<sup>2</sup>**

## **АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ В ЗАДАЧАХ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБЪЕКТОВ**

Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени ФГБОУ ВО «Московский технический университет связи и информатики», г. Ростов-на-Дону, Россия<sup>1</sup>  
Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Россия<sup>2</sup>

Ключевые слова: информационные технологии, вейвлет-преобразование, зашумленное изображение, вейвлет-обработка, прямое/обратное дискретного преобразование, шум, Гаусс, Python.

Направление использования вейвлет-преобразований развивается и широко применяется для анализа и обработки состояний различных объектов, таких как: фондовый рынок (его прогнозирование), распознавание образов, синтез речевых, медицинских сигналов, сжатия изображений. В статье проведен анализ предметной области, описание алгоритмов и способ обработки изображений. Основной задачей является цифровая обработка сигналов, которая выполняется либо на специальных процессорах, либо же на компьютерах со специальным программным обеспечением. Разработана программа, позволяющая вводя лишь путь к исходной картинке, обрабатывать ее и получать выходные значения в качестве отдельных файлов.

**S.A. Shvidchenko<sup>1</sup>, I.V. Reshetnikova<sup>1</sup>, I.G. Dzhugan<sup>2</sup>**

## **ANALYSIS OF THE POSSIBILITY OF USING THE WAVELET TRANSFORM IN OBJECT RECOGNITION TASKS**

North Caucasus branch of Moscow Technical University  
of Communications and Informatics, Rostov-on-Don, Russia<sup>1</sup>  
Don State Technical University, Chair of Computer Software and Automated systems,  
Rostov-on-Don, Russia<sup>2</sup>

Keywords: information technology, wavelet transform, noisy image, wavelet processing, forward/reverse discrete transform, noise, gaussian, Python.

The direction of using wavelet transformations is developing and is widely used for analyzing and processing the states of various objects, such as: stock market (its prediction), pattern recognition, synthesis of speech, medical signals, image compression. The article analyzes the subject area, describes the algorithms and the method of image processing. The main task is

---

digital signal processing, which is performed either on special processors or on computers with special software. A program has been developed that allows you to enter only the path to the original image, process it and get the output values as separate files.

### **Введение.**

В данный момент актуальной и востребованной является технология компьютерного зрения, которая позволяет нам получать различные данные из изображений и видео, а также анализировать эти данные. Такая обработка может применяться практически повсеместно, начиная от создания автопилотируемого транспорта, что будет описываться ниже, заканчивая обнаружением объектов на поверхности Земли с беспилотных летательных аппаратов [1, 2].

Но далеко не всегда исходные данные будут обладать нужным качеством, достаточным для подобных манипуляций. Ввиду чего, результаты могут быть неточными, искаженными или вообще отсутствовать. Для того, чтобы избегать таких случаев не за счет более дорогого и высокоточного оборудования, которого в свою очередь может даже не существовать для определенных задач, стоит обрабатывать изображения таким образом, чтобы выделять необходимую информацию и отбрасывать лишний шум. Поэтому возникает задача обработки изображений путем вейвлет-дифференцирования сигналов (пикселей изображения). Для проведения экспериментов с применением описанного выше метода потребуется актуальная в данный момент аппаратура, а также программное обеспечение, так как будет необходимо выполнять множество действий над каждым пикселем изображения. А на основе полученных данных вывести числовые характеристики и сравнить их с эталонными, для получения точного понимания близости к нужному результату. После обработки, программа путем нахождения соотношений расстояния и углов между контрольными точками, полученными на выделенных контурах исходного изображения, будет сравнивать их с эталонными, определяя наибольшее совпадение и соответственно необходимые данные об объекте на изображении.

**Целью проводимого исследования** ставится разработка метода и программного обеспечения для преобразования зашумленного изображения путем вейвлет-дифференцирования, определения объектов путем сравнения их с эталонами [2, 3].

### **Теоретическая основа вейвлет-преобразования.**

Решение задачи вейвлет-обработки (WT), будет проводиться с помощью дискретного (DWT). Взятый, как основной, вейвлет DOG, имеет базисную функцию, представленную в следующем виде:

$$\psi_{DOG}(x) = e^{-\frac{x^2}{2}} - 0.5 * e^{-\frac{x^2}{8}}$$

Имея базисную функцию, представление сигнала будет иметь вид:

$$P(x) = \sum_{i=1}^{\infty} K_i(x) e^{-\frac{x^2}{2}} - 0.5 * e^{-\frac{x^2}{8}},$$

где  $P(x)$  – сигнал;

$K_i(x)$  – коэффициент вейвлет-преобразования.

Исходя из того, что исходными данными будет являться изображение, цветовой профиль которого преобразован в градации серого, то на выходе, получается матрица значений каждого пикселя изображения. Следовательно, можно представить в общем виде производные строки и столбца исходных данных:

$$P'(j)_i = \sum_{a=1}^{NK} \sum_{b=0}^{N-1} DWTDOG_{x(a,b,i)} * \frac{\partial \varphi(x_j)}{\partial x} ,$$

$$P'(i)_j = \sum_{a=1}^{NK} \sum_{b=0}^{N-1} DWTDOG_{y(a,b,j)} * \frac{\partial \varphi(y_i)}{\partial y} ,$$

где  $i = 0 \dots N, j = 0 \dots N, \varphi$  – дискретная форма базисной функции, которая может быть представлена в виде:

$$\varphi DOG(x, m, n) = a^{-\frac{m}{2}} * \psi DOG(a^{-m} * x - n).$$

В свою очередь  $DWTDOG_x(a, b, i)$  и  $DWTDOG_y(a, b, j)$  являются коэффициентами прямого дискретного преобразования по строкам и столбцам исходной матрицы  $P$ . Они могут быть представлены формулами:

$$DWTDOG_x(a, b, i) = \sum_{j=0}^{N-1} \varphi_{m,n}(x_j) * P(i, j),$$

$$DWTDOG_y(a, b, j) = \sum_{i=0}^{N-1} \varphi_{m,n}(y_i) * P(i, j),$$

Теперь, чтобы из преобразованных данных для столбцов и строк получить выходные данные в виде матрицы можно реализовать следующую функцию:

$$GRAD(P(i, j)) = \sqrt{\left( \sum_{a=1}^{NK} \sum_{b=0}^{N-1} DWTDOG_{x(a,b,i)} * \frac{\partial \varphi(x_j)}{\partial x} \right)^2 + \left( \sum_{a=1}^{NK} \sum_{b=0}^{N-1} DWTDOG_{y(a,b,j)} * \frac{\partial \varphi(y_i)}{\partial y} \right)^2} .$$

Описанный выше, метод вейвлет-дифференцирования в программном средстве осуществлен следующим алгоритмом: Вначале изображение преобразуется в градации серого, следовательно, получается матрица значений каждого пикселя, после чего для столбцов и строк вычисляются коэффициенты прямого дискретного преобразования, а затем происходит расчет производных, и в заключении эти результаты преобразуются в матрицу функцией  $GRAD$ . В заключении, представляя матрицу, как набор значений каждого пикселя выходного изображения мы получаем преобразованную вейвлет-дифференцированием картинку [3,4].

### Прикладное средство проведения анализа.

Для реализации данной задачи, было разработано прикладное средство (ПС) на языке Python, которое выполняет обработку изображения путем вейвлет-дифференцирования, а также определяет дорожные знаки на нем. Программа написана в функциональном стиле, диаграмма работы приведена на рисунке 1.



Рисунок 1. Схема работы программы

В функционал программы заложена возможность импорта как исходного изображения, так и уже обработанного путем вейвлет-дифференцирования. Изображение соответственно обязано быть в форматах PNG, JPG, JPEG, BMP. Так как исходный файл проходит конвертацию в необходимый цветовой профиль автоматически внутри программы, то исходный профиль не имеет значения. Фильтрация происходит с помощью вейвлета DOG, а все результаты отображаются в окне программы. Ниже приведены снимки работы реализованной программы, используя несколько исходных изображений.



Рисунок 2. Исходное изображение до какой-либо обработки



Рисунок 3. Распознавание знака ограничения скорости на обработанном «чистом» от шумов изображении



Рисунок 4. Распознавание знака ограничения скорости и знака предупреждения о пешеходах на обработанном изображении

---

Теперь с помощью шума Гаусса создадим на изображении искусственный шум с коэффициентами 30, 40 и 50, а результаты будут приведены ниже на рисунках 5, 6, 7 соответственно [2,3].



Рисунок 5. Исходное изображение, зашумленное с коэффициентом 30



Рисунок 6. Исходное изображение, зашумленное с коэффициентом 40



Рисунок 7. Исходное изображение, зашумленное с коэффициентом 50

Теперь с помощью программы преобразуем изображения с помощью известного и широко используемого оператора Собеля и запустим распознавание знаков.

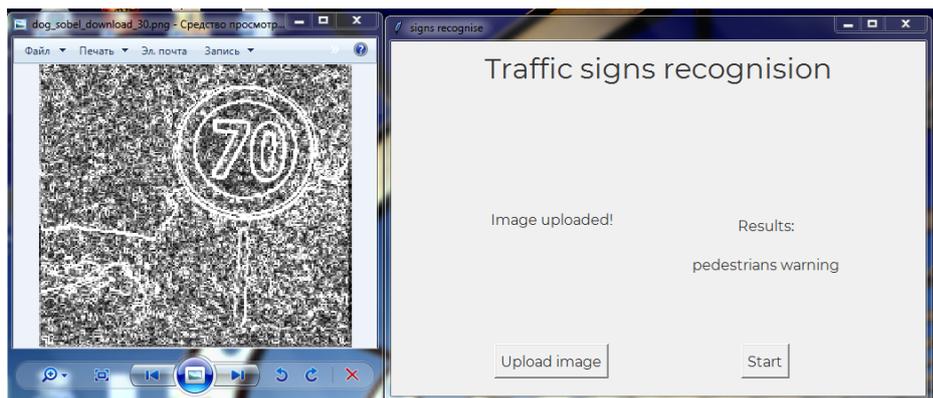


Рисунок 8. Преобразованное изображение с коэффициентом шума 30, в результате ошибка

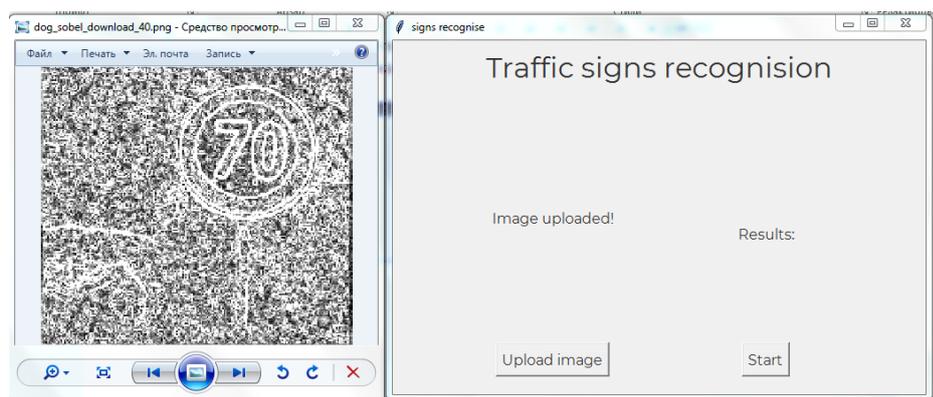


Рисунок 9. Преобразованное изображение с коэффициентом шума 40, программа не смогла распознать объект на изображении

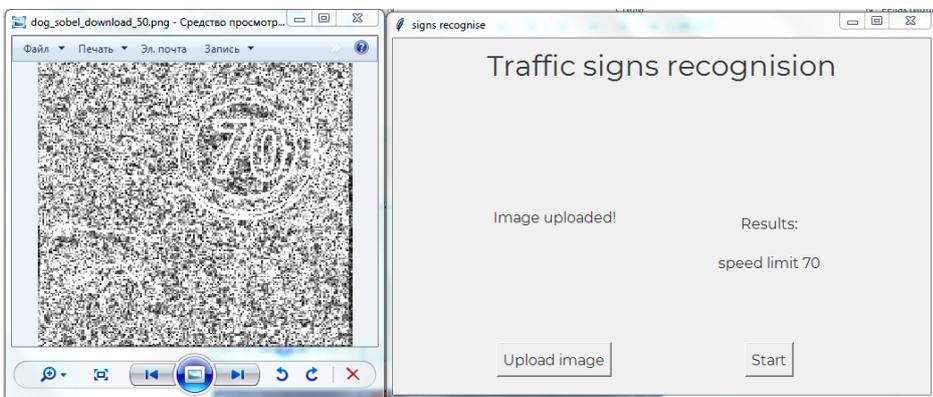


Рисунок 10. Преобразованное изображение с коэффициентом шума 50, результат положительный

Исходя из приведенных выше результатов, при зашумленном изображении оператор Собеля выдает очень труднораспознаваемый результат. Теперь преобразуем те же исходные данные с помощью вейвлет-дифференцирования.



Рисунок 11. Преобразованное изображение с коэффициентом шума 30, результат с погрешностью



Рисунок 12. Преобразованное изображение с коэффициентом шума 40, результат положительный

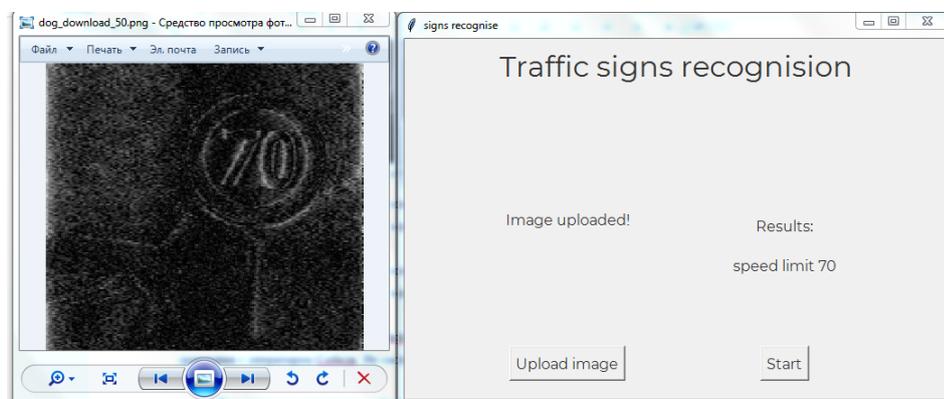


Рисунок 13. Преобразованное изображение с коэффициентом шума 50, результат положительный

Как показано на рисунках выше, на изображениях, преобразованных вейвлет-дифференцированием, программа распознала знаки ограничения скорости, но с небольшой погрешностью в случае зашумления с коэффициентом зашумления 30, это может быть связано с программным обеспечением или самими исходными данными. Также, результат стал более читабельным даже для человеческого глаза по сравнению с оператором Собеля. А благодаря автоматизации всех вычислительных процессов и использовании сторонних библиотек `opencv`, `numpy`, `pimba`, `pillow`, эти процессы выполняются за небольшой промежуток времени и не нагружая аппаратуру [4, 5].

### **Заключение.**

Полученные в результате работы программы результаты, позволяют нам сделать вывод об успешном применении вейвлет-дифференцирования для обработки изображения перед использованием их в компьютерном зрении. В случае сторонних помех на изображении, такие методы обработки показывают свою эффективность, в сравнении с широко распространенными на данный момент времени, для примера был взят оператор Собеля. В перспективе такую технологию можно будет использовать не только для написания автопилотов на автомобилях, а также для различных других отраслей, где требуется обнаружение объектов на изображениях [5,6].

В дальнейшем планируется оптимизировать функции вейвлет-дифференцирования, для ускорения процесса обработки и оптимизации, а также, добавление искусственного интеллекта, для распознавания объектов. Это позволит улучшить точность и снизить количество возможных ошибочных результатов. Метод обработки и распознавания, рассмотренный в данной статье, был реализован на языке программирования Python, конкретно, с помощью интерпретатора CPython, но также в будущем возможна реализация на интерпретаторе PyPy, что позволит в полной мере подключить многоядерную и параллельную обработку, что в свою очередь значительно ускорит время выполнения программы.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Безуглов Д.А., Швидченко С.А. Информационная технология вейвлет-дифференцирования результатов измерений на фоне шума // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2011. – № 6. – С. 40-45.
2. Безуглов Д.А., Рытиков С.Ю., Швидченко С.А., Гаврин М.С., Гаврин Д.С. Выделение контуров изображений в информационных и управляющих системах с использованием метода вейвлет-преобразования // Нелинейный мир. – 2012. – Т. 10. – № 11. – С. 846-852.
3. Безуглов Д.А., Рытиков С.Ю., Швидченко С.А. Метод вейвлет-дифференцирования в задаче выделения контуров // Успехи современной радиоэлектроники. Зарубежная радиоэлектроника. – 2012. – № 6. – С. 52-57.
4. Швидченко С.А., Безуглов Д.А., Рытиков С.Ю., Решетникова И.В. Выделение контуров изображений с использованием метода вейвлет-дифференцирования. Часть 1 // Труды Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики. – 2012. – № 1. – С. 33-36.
5. Швидченко С.А., Безуглов Д.А., Рытиков С.Ю., Решетникова И.В. Выделение контуров изображений с использованием метода вейвлет-дифференцирования. Часть 2 // Труды Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики. – 2012. – № 1. – С. 37-40.
6. Швидченко С.А. Синтез алгоритмов выделения фрагментов изображений в условиях априорной неопределенности на случайном фоне. Часть 1 // Труды Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики. – 2013. – № 1. – С. 264-268.

## ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ ВЫДЕЛЕНИЯ КОНТУРОВ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ

Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени ФГБОУ ВО  
«Московский технический университет связи и информатики»,  
г. Ростов-на-Дону, Россия<sup>1</sup>  
Донской государственной технической университет,  
Ростов-на-Дону, Россия<sup>2</sup>

Ключевые слова: информационные технологии, обработка изображений, выделение контуров, границы, яркость, пиксели.

В статье проведен анализ алгоритмов выделения контуров и приведена их сравнительная характеристика.

S.A. Shvidchenko<sup>1</sup>, A.G. Snezsky<sup>2</sup>, E.M. Khorolsky<sup>2</sup>

## RESEARCH OF ALGORITHMS FOR DETECTING IMAGE EDGES

North Caucasus branch of Moscow Technical University  
of Communications and Informatics,  
Rostov-on-Don, Russia<sup>1</sup>  
Don State Technical University, Chair of Computer Software and Automated systems,  
Rostov-on-Don, Russia<sup>2</sup>

Keywords: information technology, image processing, edge detection, borders, brightness, pixels.

The article analyzes the edge detection algorithms and provides their comparative characteristics.

### **Введение.**

Сложно переоценить роль, которую обработка изображений играет в сегодняшнем мире. Область её применения охватывает большинство сфер нашей жизни, начиная с распознавания текста и заканчивая анализом спутниковых снимков. Именно в этом контексте нас интересует выделение контуров изображения. Этот процесс является важнейшим этапом в обработке изображений для его последующей сегментации.

Есть много задач, для которых нам нужно выделить контуры изображения. Например, Вы работаете частным детективом и Вам нужно извлечь информацию из фотографий с камер видеонаблюдения. Или, может, быть, Вы мастерите систему полива, которая сама определяет, каким растениям нужна вода. А может быть Вам просто необходима фотография себя на фоне Джорджа Карлина. Кто знает?

В каждом из этих случаев на вход будут подаваться изображения совершенно разного качества. Они будут существенно различаться по наличию шумов, искажений и текстурных областей, схожих с областями исследуемых объектов. И, как следствие, в каждом из этих случаев будут различные требования к обработке изображений. В основном поэтому и существует такое множество алгоритмов распознавания изображений с целью выделения контуров, о которых и будет рассказано далее.

### **Обзор предметной области.**

Абсолютное большинство методов обработки изображений с целью выделения контуров основаны на одном из двух свойств сигнала яркости: разрывности или однородности.

В первом случае разделение происходит путём разбиения изображения на основании резких перепадов яркости. Это могут быть перепады (множества пикселей, на которых функция яркости резко изменяется), линии (участки перепада, противоположные стороны которых значительно отличаются по яркости) или изолированные точки (пиксели или небольшие группы пикселей, значения яркости которых заметно отличается от фона.)

Во втором случае происходит разбиение изображения на области, однородные по отношению к заранее заданным критериям.

Стандартным способом поиска разрывов является анализ изображения с помощью скользящей маски, которая представляет из себя квадратную матрицу, соответствующую указанной группе пикселей исходного изображения. Элементы матрицы принято называть коэффициентами. Оперирование такой матрицей в каких-либо локальных преобразованиях называется фильтрацией или пространственной фильтрацией.

Процесс основан на простом перемещении маски фильтра от точки к точке изображения. В каждой точке отклик фильтра вычисляется с использованием предварительно заданных связей. В случае линейной пространственной фильтрации отклик задается суммой произведения коэффициентов фильтра на соответствующие значения пикселей в области, покрытой маской фильтра.

### **Этапы алгоритмов выделения контуров.**

В случае, если алгоритм чувствителен к шумам, первым этапом будет являться применение фильтра, который уберёт шумы и сгладит изображение. Работа этих фильтров основана на среднем или медианном значении, взятом для каждого пикселя, исходя из значений соседних пикселей. Для примера возьмём фильтр Гаусса.



Рисунок 1. Применение фильтра Гаусса

Следующим этапом алгоритмы анализируют изображение относительно яркости каждого пикселя и выделяют локальные минимумы и максимумы. Они отмечаются как границы, в результате чего мы получаем изображение, разделённое на экстремумы.



Рисунок 2. Локальные минимумы и максимумы

Далее происходит трассировка области неоднозначности. Итоговые границы определяются путём подавления всех краёв, не связанных с определенными (сильными) границами, то есть теми, для которых не существует связной группы пикселей с похожим значением яркости.

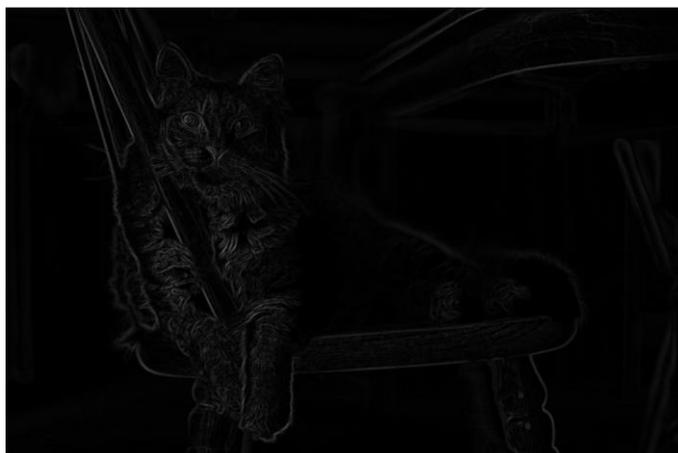


Рисунок 3. Выделение контуров

### **Сравнение алгоритмов выделения контуров.**

Оператор *Canny* использует многоступенчатый алгоритм для обнаружения широкого спектра границ в изображениях. Используемый фильтр является суммой четырёх экспонент и может быть хорошо приближен первой производной Гауссианы. Canny ввёл понятие подавления немаксимумов которое означает, что пикселями границ объявляются пиксели, в которых достигается локальный максимум градиента в направлении вектора градиента.

Алгоритм детектора границ не ограничивается вычислением градиента сглаженного изображения. В контуре границы оставляются только точки максимума градиента изображения, а не максимальные точки, лежащие рядом с границей, удаляются. Здесь также используется информация о направлении границы для того, чтобы удалять точки именно рядом с границей и не разрывать саму границу вблизи локальных максимумов градиента. Затем с помощью двух порогов удаляются слабые границы. Фрагмент границы при этом обрабатывается как целое.

Хотя его работа была проведена на заре компьютерного зрения, детектор границ Canny до сих пор является одним из лучших детекторов. Кроме особенных частных случаев трудно найти детектор, который бы работал существенно лучше, чем детектор Canny.

Оператор *Roberts* это один из первых алгоритмов выделения границ, который вычисляет на плоском дискретном изображении сумму квадратов разниц между

---

диагонально смежными пикселями. Это может быть выполнено сверткой изображения с двумя ядрами:

$$\begin{bmatrix} +1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} \quad \text{И} \quad \begin{bmatrix} 0 & +1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix}$$

Сегодня оператор Roberts уступает большинству современных алгоритмов, так как он крайне восприимчив к шуму и даёт линии тоньше, чем другие методы. Однако, он всё ещё используется ради быстроты вычислений.

Оператор **Prewitt** вычисляет максимальный отклик на множестве ядер свёртки для нахождения локальной ориентации границы в каждом пикселе. Для операции используются различные ядра. Из одного ядра можно получить восемь, изменяя угол вращения коэффициентов. Каждый результат будет чувствителен к направлению границы от 0 до 315° с шагом в 45, где 0 соответствует вертикальной границе. Максимальный ответ каждого пикселя есть значение соответствующего пикселя в выходном изображении. Значения его лежат между 1 и 8, в зависимости от номера ядра, давшего наибольший результат.

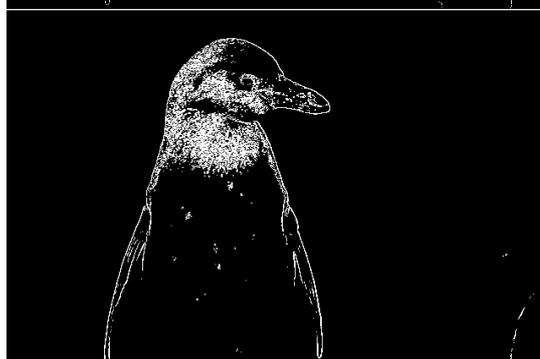
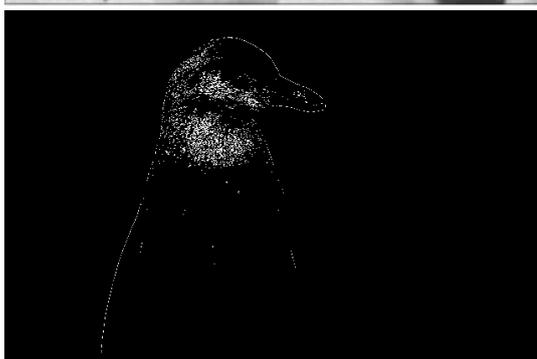
Оператор использует два ядра 3×3, свёртывая исходное изображение для вычисления приближённых значений производных: одно по горизонтали и одно по вертикали. Положим A исходным изображением, и  $G_x, G_y$  двумя изображениями, в которых каждая точка содержит горизонтальное и вертикальное приближение производной, которая рассчитывается как

$$G_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & +1 \\ -1 & 0 & +1 \\ -1 & 0 & +1 \end{bmatrix} \times A \quad \text{И} \quad G_y = \begin{bmatrix} -1 & 0 & +1 \\ -1 & 0 & +1 \\ -1 & 0 & +1 \end{bmatrix} \times A$$

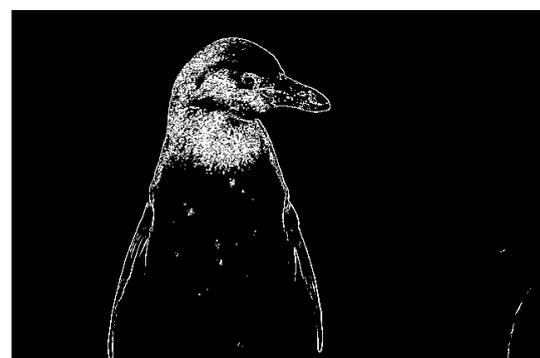
Оператор **Sobel** базируется на приближении значений градиента яркости изображения. Он вычисляет градиент яркости в каждой точке на изображении, тем самым находит величину изменения яркости и ее направление. Результат показывает изменения яркости изображения в каждой точке, т.е. вероятность нахождения точки на границе, а также ориентацию. Можно сказать, что результат оператора в точке, которая находится в постоянной яркости – это нулевой вектор. А точки, находящиеся в границе с различной яркостью – это вектор, который пересекает границу в направлении возрастания яркости. Оператор Sobel использует фильтрацию изображения на основе свертки по горизонтали и вертикали, поэтому он легко вычисляется. Оператор использует матрицу 3×3, благодаря которым свертывают исходное изображение для дальнейшего вычисления приближенных производных по горизонтальным и вертикальным направлениям.

Алгоритм **Laplace** основан на поиске нулей. Он использует производные второго порядка. В отличие от алгоритмов, использующих градиентный подход для выделения границ. Оператор Лапласа является скалярной функцией. Он находит применение для выделения границ, принимая максимальное значение на участках «перегибов» функции яркости. Из минусов данного алгоритма следует указать раздваивание границы, если она недостаточно резкая, т.е. имеются участки постоянного наклона. В этом случае поможет специальная обработка для устранения раздваивания линий.

Ниже приведены результаты работы алгоритмов выделения контуров в порядке их описания в статье:



Рисунки 4-7. Результаты работы алгоритмов



Рисунки 8-9. Результаты работы алгоритмов

**Выводы.**

Ниже в таблице 1 будет представлена сравнительная характеристика рассмотренных алгоритмов по ключевым параметрам, таким как скорость, точность, шумоподавление и простота.

Таблица 1. Сравнительная характеристика рассмотренных алгоритмов по ключевым параметрам

Критерии	Canny	Sobel	Laplace	Roberts	Prewitt
Скорость	5	2	3	5	2
Точность	3	4	3	2	3
Шумоподавление	5	5	4	1	5
Простота	4	3	1	2	3

При этом нужно учитывать, что применение, казалось, бы, самого простого алгоритма, в определённых ситуациях может быть куда эффективнее любого другого.

---

Каждый из этих алгоритмов имеет свои плюсы и минусы и их выбор производится исключительно ситуативно.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. Издание 3-е, испр. и доп. — СПб.: Питер, 2017. — 304 с.: ил.
2. Официальная документация OpenCV [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.opencv.org/> (Дата обращения: 07.09.2022)
3. Д. А. Рощин Повышение точности обнаружения контура на цифровых изображениях объектов шарообразной формы. — СПб.: Питер, 2016. — 11 с.: ил.
4. Безуглов Д.А., Швидченко С.А. Информационная технология вейвлет-дифференцирования результатов измерений на фоне шума. Вестник компьютерных и информационных технологий. 2011. № 6 (84). С. 40-45.
5. В. Jahne Digital Image Processing pringer-Verlag Berlin Heidelberg, 2002.
6. М. Sonka, V. Hlavac, R. Boyle Image Processing, Analysis and Machine Vision Brooks/Cole Publishing Company, 1999
7. The Colour Image Processing Handbook S. J. Sangwine, R. E. N. Horne (Eds.) Chapman&Hall, 1998

**С.А. Швидченко<sup>1</sup>, А.М. Коршун<sup>1</sup>, В. Ю. Лемба<sup>2</sup>, Е.М. Хорольский<sup>2</sup>**

## **ОЦЕНКА МОДЕЛИ ЛИНЕЙНОЙ РЕГРЕССИИ СТАТИСТИЧЕСКИМИ ТЕСТАМИ**

Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени ФГБОУ ВО «Московский технический университет связи и информатики», г. Ростов-на-Дону, Россия<sup>1</sup>  
Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Россия<sup>2</sup>

Ключевые слова: информационные технологии, линейная регрессия, машинное обучение, программное средство, модель, коэффициент корреляции Кендалла, тест Андерсона–Дарлинга, тест Уайта.

В статье проведен анализ проблемы оценки качества линейной регрессии и пути ее разрешения с помощью статистических тестов, приведены краткие теоретические сведения используемых методов. Сформулирована задача и описаны способы ее решения на основе разработанного программного средства на языке Питон.

**S.A. Shvidchenko<sup>1</sup>, A.M. Korshun<sup>1</sup>, V. Y. Lemba<sup>2</sup>, E.M. Khorolsky<sup>2</sup>**

## **EVALUATION OF THE LINEAR REGRESSION MODEL BY STATISTICAL TESTS**

North Caucasus branch of Moscow Technical University  
of Communications and Informatics, Rostov-on-Don, Russia<sup>1</sup>  
Don State Technical University, Chair of Computer Software and Automated systems,  
Rostov-on-Don, Russia<sup>2</sup>

Keywords: information technology, linear regression, machine learning, software, model, Kendall correlation coefficient, Anderson–Darling test, white test.

---

The article analyzes the problem of assessing the quality of linear regression and the ways to solve it using statistical tests, provides brief theoretical information of the methods used. The problem is formulated and the ways of its solution are described on the basis of the developed software in the Python language.

### **Введение.**

За последние 15 лет машинное обучение (machine learning, ML) получило широкое распространение. Многие из нас ежедневно используют приложения, в основе которых лежат технологии искусственного интеллекта и машинного обучения. Эти технологии уже стали причиной революции во многих отраслях, например, позволили осуществлять прогнозирование ценных бумаг с помощью линейной регрессии. [1]

Линейная регрессия – это алгоритм машинного обучения, который использует зависимую переменную для прогнозирования будущих результатов на основе одной или нескольких независимых переменных. Он измеряет связь между двумя переменными. Линейный регрессионный анализ – самый широко используемый из всех алгоритмов машинного обучения. [2]

Качество модели линейной регрессии часто зависит от данных. Чтобы определить качество модели, нужно провести некоторое исследование - определить распределение остатков модели на нормальность и их гомоскедастичность, проверить линейность взаимосвязи. Это может занять несколько времени, что затрудняет и делает дороже процесс исследования или решения бизнес-задачи.

Облегчить работу с линейной регрессией аналитикам, программистам, ученым по данным, а также рядовым пользователям могут статистические тесты.

### **Постановка задачи.**

Целью данной работы является обеспечение удобства для пользователей, взаимодействующих с алгоритмом линейной регрессии. Разрабатываемое программное средство после построения модели будет предоставлять пользователю словесно интерпретированные результаты предложенных тестов и коэффициента корреляции. Если хотя бы один из трех показателей не соответствует надлежащей оценке, то полученные коэффициенты модели можно считать непригодными для использования.

### **Статистической гипотеза.**

Статистическая гипотеза — это предположение о каких-либо характеристиках случайной величины. Например: существенно ли изменение числа AI-стартапов в Европе в два разных года и т. д.

Проверка статистических гипотез является важнейшим классом задач математической статистики. С помощью данного инструмента можно подтвердить или отвергнуть предположение о свойствах случайной величины путем применения методов статистического анализа для элементов выборки. [3]

### **Коэффициент корреляции Кендалла.**

Коэффициент корреляции – это статистическая мера, которая вычисляет силу связи между относительными движениями двух переменных. Значения коэффициента корреляции находятся в диапазоне от -1.0 до 1.0. Если вычисленное число больше 1.0 или меньше -1.0, то это свидетельствует о наличии погрешности в измерении корреляции. Это объясняется тем, что корреляция -1.0 показывает идеальную отрицательную корреляцию, в то время как корреляция 1.0 показывает идеальную положительную корреляцию. Корреляция 0.0 означает, что нет никакой связи между движением двух переменных. [6]

Формула вычисления коэффициента ранговой корреляции Кендалла:

$$\frac{P(p)-P(q)}{N\frac{(N-1)}{2}},$$

где  $P(p)$  — число совпадений,  
 $P(q)$  — число инверсий,  
 $N$  — объем выборки. [4]

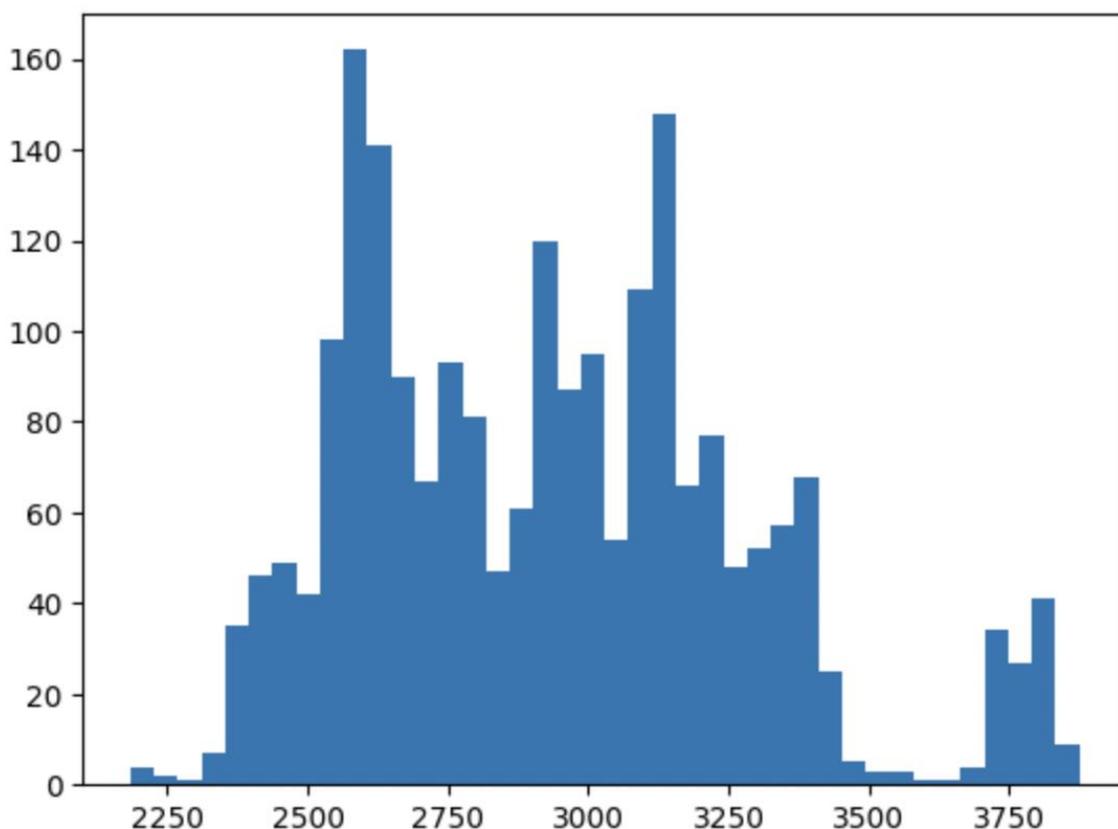
### Тест Андерсона–Дарлинга.

Тест Андерсона–Дарлинга применяется к проверке того, адекватно ли нормальное распределение описывает набор данных. [5]

Нулевая гипотеза для теста AD состоит в том, что данные действительно следуют нормальному распределению. Таким образом, если р-значение для теста ниже нашего уровня, то мы можем отклонить нулевую гипотезу и сделать вывод, что у нас есть достаточно доказательств, чтобы сказать, что наши данные не соответствуют нормальному распределению.

На рисунке 1 отображена используемая независимая переменная ЕТН и тест на ее нормальное распределение. Распределение ЕТН бимодально, что отображено на гистограмме частот. Уровень значимости теста менее 0.05, что подтверждает ненормальность распределения.

```
plt.hist(df["ETH"],bins=40)  
plt.show()
```



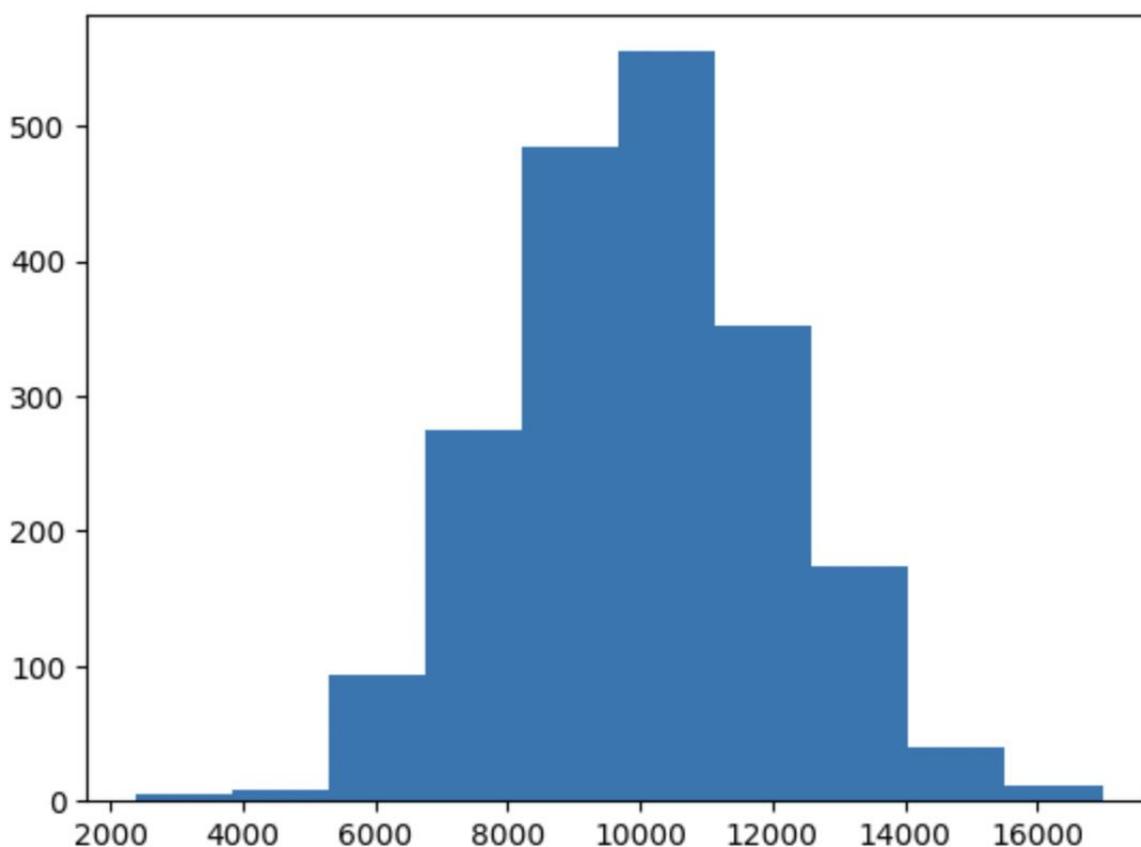
```
value, p = sm.stats.normal_ad(df["ETH"])  
p
```

0.0

Рисунок 1. Проверка теста Андерсона-Дарлинга на переменной ЕТН

Также сгенерируем тестовую выборку с нормальным распределением. Отообразим ее на гистограмме частот и выполним тест. Уровень значимости больше 0.05, следовательно, мы можем предполагать нормальное распределение тестовой величины. Демонстрация отображена на рисунке 2.

```
norm = np.random.normal(10000, 2000, 2000)
plt.hist(norm)
plt.show()
```



```
value, p = sm.stats.normal_ad(norm)
p
```

0.7795966356557631

Рисунок 2. Проверка теста Андерсона-Дарлинга на сгенерированной переменной

### Тест Уайта.

В тесте Уайта проверяется нулевая гипотеза об отсутствии гетероскедастичности, то есть ошибки модели предполагаются гомоскедастичными — с постоянной дисперсией. В таком случае вспомогательная регрессия должна быть незначимой. Если значение статистики больше критического значения этого распределения для заданного уровня значимости, то нулевая гипотеза отвергается, то есть имеется гетероскедастичность. В противном случае гетероскедастичность признаётся незначимой. [6]

---

### **Выводы.**

В данной работе описана проблема оценки качества линейной регрессии и пути ее разрешения с помощью статистических тестов. Были приведены краткие теоретические сведения используемых методов. Сформулирована задача и описаны способы ее решения на основе разработанного программного средства на языке Питон.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Машинное обучение: просто о сложном // Sbercloud6 URL: <https://sbercloud.ru/ru/warp/blog/machine-learning-about> (дата обращения 22.10.2022).
2. Линейная регрессия с Python // Интернет – Bi consult, URL: <https://biconsult.ru/products/lineynaya-regressiya-s-python> (дата обращения 22.07.2022).
3. Мир статистических гипотез // Хабр, URL: <https://habr.com/ru/post/558836/> (дата обращения 22.07.2022).
4. Коэффициент ранговой корреляции Кендалла // Математическая статистика для психологов, URL: <https://statpsy.ru/kendall/correlation-kendall/> (дата обращения 22.07.2022).
5. Тест Андерсона – Дарлинга - Anderson–Darling test // Википедия, URL: [https://wiki5.ru/wiki/Anderson–Darling\\_test](https://wiki5.ru/wiki/Anderson–Darling_test) (дата обращения 22.07.2022).
6. Тест Уайта // Википедия, URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Тест\\_Уайта](https://ru.wikipedia.org/wiki/Тест_Уайта) (дата обращения 22.07.2022)

---

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ И СРЕДСТВ СВЯЗИ**  
**MATHEMATICAL MODELING OF SYSTEMS AND MEANS OF COMMUNICATION**

**А.А. Северин, С.В. Соколов**

**ОПТИЧЕСКИЙ N-ИЧНЫЙ ЦИФРО-АНАЛОГОВЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ**

Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени ФГБОУ ВО  
«Московский технический университет связи и информатики», г. Ростов-на-Дону, Россия

Ключевые слова: оптический цифро-аналоговый преобразователь, оптический транспарант, оптический сумматор, интегральная оптика

В статье рассмотрена возможность синтеза сверхбыстрого универсального оптического N-ичного цифро-аналогового преобразователя (ЦАП), обеспечивающего преобразование цифровой информации в аналоговую в гига- и терагерцовом диапазонах, в том числе, в цифровых системах, построенных на основе N-значной логики. Приведена функциональная схема оптического ЦАП, содержащая технологически хорошо отработанные на сегодняшний день оптические элементы, подробно описан принцип действия. Показана возможность реализации данного ЦАП с быстродействием, потенциально возможным для оптических схем обработки информации.

**A.A. Severin, S.V. Sokolov**

**OPTICAL N-PERSONAL DIGITAL-TO-ANALOG CONVERTER**

North Caucasus branch of Moscow Technical University  
of Communications and Informatics, Rostov-on-Don, Russia

Keywords: optical digital-to-analog converter, optical transparency, optical adder, integrated optics

The article considers the possibility of synthesizing an ultrafast universal optical N-point digital-to-analog converter (DAC), which provides the conversion of digital information into analog in the giga- and terahertz ranges, including in digital systems based on N-digit logic. A functional diagram of an optical DAC containing technologically well-developed optical elements is presented, the principle of operation is described in detail. The possibility of implementing this DAC with a speed potentially possible for optical information processing circuits is shown.

**1. Введение**

Быстродействие любой информационно-управляющей или инфокоммуникационной системы в значительной степени зависит от быстродействия ее интерфейса, особенно при необходимости управления физико-техническими или технологическими процессами в реальном масштабе времени.

В этом случае особое значение приобретает быстродействие буферных устройств, осуществляющих преобразование цифровой информации, вырабатываемой процессором, в аналоговую, используемую в устройствах управления и исполнительных элементах (далее – *цифро-аналоговых преобразователей*). Для многоразрядных цифро-аналоговых преобразователей (ЦАП) с числом разрядов  $N > 15$ , проблема требуемого быстродействия – обработки информации в гигагерцовом (и большем) диапазоне, до настоящего времени практически не решена [1-7]. Более того, для интенсивно разрабатываемых в настоящее

время инфокоммуникационных и вычислительных систем, использующих  $N$ -значную логику, обеспечивающую принципиально иной уровень быстродействия по сравнению с традиционными системами [1], таких преобразователей нет в принципе.

В настоящее время известны различные виды ЦАП:

- построенные на основе использования электронных функциональных элементов [8],
- оптоэлектронные ЦАП на основе волноводных модуляторов типа Маха-Цендера [9],
- оптические ЦАП на основе использования распределенных оптических волноводов [10] и др.

Очевидными недостатками электронных ЦАП являются низкое быстродействие, еще более уменьшающееся с ростом разрядности ЦАП, и большая сложность. Эти же недостатки, обусловленные необходимостью использования в ЦАП большого числа электронных элементов (фотодетекторов, усилителей и др.) с суммарным временем срабатывания  $\geq 10^{-6}$  сек, присущи и ЦАП на основе волноводных модуляторов Маха-Цендера [9]. Подобные недостатки не позволяют использовать данные виды ЦАП при обработке информации в гигагерцовом и больших диапазонах. Более того, все существующие на сегодняшний день схемы ЦАП не универсальны и могут быть использованы только для преобразования двоичных кодов, и ни в коей мере – для преобразования  $N$ -значных кодов. В то же время очевидно, что отсутствие быстродействующего интерфейса сводит на «нет» все преимущества любого вычислителя, в связи с чем разработка ЦАП, обеспечивающих буферное взаимодействие процессора (в том числе, построенного на основе  $N$ -значной логики) с исполнительными устройствами в реальном времени, является в настоящее время весьма актуальной задачей.

## 2. Постановка задачи.

В связи с этим, рассмотрим далее возможность синтеза универсального оптического ЦАП, обеспечивающего преобразование  $N$ -значного позиционного (в том числе и двоичного) кода в аналоговый сигнал в системах управления и связи, обработка информации в которых осуществляется в гигагерцовом и больших диапазонах.

## 3. Функциональная схема и принцип действия оптического ЦАП.

На рис.1 представлена функциональная схема оптического  $N$ -значного  $(m+1)$ -разрядного ЦАП.

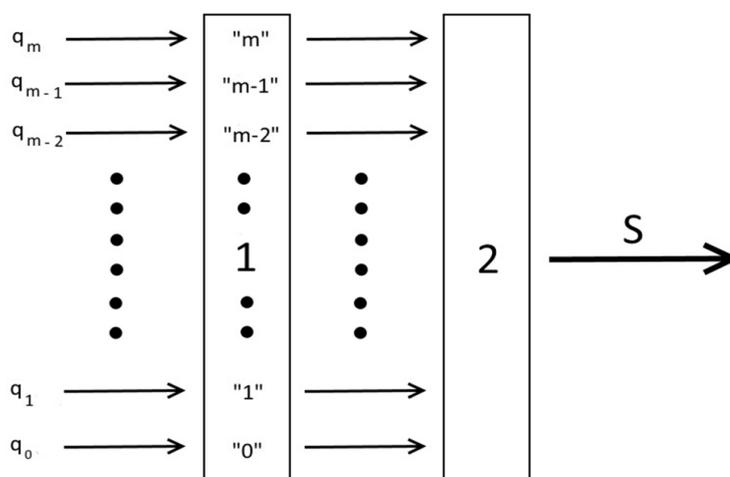


Рисунок 1

Оптический ЦАП состоит из последовательно соединенных и оптически связанных оптического транспаранта 1 и оптического сумматора 2. В свою очередь, оптический транспарант 1 состоит из  $(m+1)$  участков с постоянными функциями пропускания, равными  $N^{i-m}$ , где  $i$  - номер участка ( $i = 0, \dots, m$ );  $i$ -м входом оптического транспаранта является вход его  $i$ -го участка,  $i$ -м выходом - выход  $i$ -го участка. Оптический сумматор 2 может быть выполнен в виде фокусирующей линзы (например, голографической),  $(m+1)$ -входного оптического объединителя и др. Выбор схемы оптического сумматора определяется, в основном, требованиями по точности суммирования оптических потоков с выхода оптического транспаранта 1 и миниатюризации всего устройства.

Входами  $N$ -значного  $(m+1)$ -разрядного оптического ЦАП являются соответствующие входы оптического транспаранта 1, а выходом - выход оптического сумматора 2.

Устройство работает следующим образом.

На  $i$ -й вход  $N$ -значного  $(m+1)$ -разрядного оптического ЦАП – т.е. на  $i$ -й вход ( $i$ -й участок) оптического транспаранта 1, поступает оптический сигнал с амплитудой  $q_i \cdot N^m$  усл(овных). ед(иниц), где  $q_i$  - значение  $i$ -го разряда  $N$ -значного  $m$ -разрядного входного кода, подлежащего аналоговому преобразованию ( $q_i \in [0, N-1]$ ,  $i = 0, \dots, m$ ). Т.к. функция пропускания  $i$ -го участка оптического транспаранта 1 равна  $N^{i-m}$ , то на его выходе – т.е. на  $i$ -м выходе оптического транспаранта 1, будет сформирован оптический сигнал с амплитудой  $q_i \cdot N^i$  усл. ед. Оптические сигналы со всех выходов оптического транспаранта 1 поступают на соответствующие входы оптически с ним связанного оптического сумматора 2, на выходе которого формируется оптический сигнал с амплитудой  $S$  усл. ед., равной:

$$S = q_m \cdot N^m + q_{m-1} \cdot N^{m-1} + q_{m-2} \cdot N^{m-2} + \dots + q_i \cdot N^i + \dots + q_1 \cdot N + q_0,$$

т.е. аналоговому выражению входного  $N$ -значного  $m$ -разрядного кода

$$\{q_m, q_{m-1}, q_{m-2}, \dots, q_i, \dots, q_1, q_0\}.$$

Время прохождения сигнала через предложенную схему оптического ЦАП (время его задержки) не зависит от его разрядности и при интегральном исполнении оптического транспаранта и сумматора составляет доли пикосекунд, что на сегодняшний день не имеет мировых аналогов.

#### 4. Заключение.

Быстродействие данного универсального оптического ЦАП и возможность его сверхминиатюрного и простого исполнения обеспечивают возможность его широкого использования в системах обработки информации в гига- и терагерцовом диапазонах, в том числе, в цифровых системах, построенных на основе  $N$ -значной логики.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акаев А.А., Майоров С.А. Оптические методы обработки информации. - М.: Высшая школа, 1988.
2. Leith E.N. The evolution of information optics. *IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron.* 2000, 6, P.1297–1304.

- 
3. *Bai J., Chandraker M., Ng T.-T., Ramamoorthi R.* A dual theory of inverse and forward light transport. In Proceedings of the European Conference on Computer Vision; Springer, 2010; P. 294–307.
  4. *Athale R.A., Collins W.C.* Optical matrix–matrix multiplier based on outer product decomposition. *Appl. Opt.* 1982, 21, P.2089–2090.
  5. *Guilfoyle P.S., Rudokas R.S., Stone R.V., Roos E.V.* Digital Optical Computer II (DOC-II): Performance Specifications; *Opticom Corp. Zephyr Cove Nv*, 1992;
  6. *Goodman J.W.* Introduction to Fourier optics; Roberts and Company Publishers, 2005.
  7. *Psaltis D., Athale R.A.* High accuracy computation with linear analog optical systems: a critical study. *Appl. Opt.* 1986, 25, P.3071–3077.
  8. *Титце У., Шенк К.* Полупроводниковая схемотехника. М.: ДМК пресс, 2008.
  9. *Семенов А.С., Смирнов В.Л., Шмалько А.В.* Интегральная оптика для систем передачи и обработки информации. М.: Радио и связь, 1990. 176с.
  10. *Соколов С.В.* Оптический функциональный преобразователь / Патент РФ N 2020550, 1990г.

**М.М. Фролова, А.Н. Иванов, П.В. Лобзенко**

### **ПРОТОТИП МИКРОКОНТРОЛЛЕРНОГО ПЛАНЕТОХОДА НА НЕЙРОСЕТИ**

Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени ФГБОУ ВО «Московский технический университет связи и информатики», г. Ростов-на-Дону, Россия

Ключевые слова: ровер-исследователь, планетоход, Arduino, микроконтроллеры, нейронные сети, машинное обучение.

Данный проект реализует «умное» движение робота для безопасного следования прототипа по поверхности планеты, чтобы не свалиться в расщелину или не застрять в углублениях рельефа. Робот управляется в автономном режиме с помощью обученной нейросети. В основу робота входит плата Arduino Uno. Набор данных, на основе которых прототип выбирает направление движения, собираются с помощью шести датчиков: трех ультразвуковых датчиков расстояния и трех датчиков черной линии. Программирование контроллеров Arduino на базе процессоров фирмы Atmel выполняется в среде IDE на языке программирования C++.

**М.М. Frolova, A.N. Ivanov, P.V. Lobzenko**

### **PROTOTYPE OF A MICROCONTROLLER PLANETOID ON A NEURAL NETWORK**

North Caucasus branch of Moscow Technical University  
of Communications and Informatics, Rostov-on-Don, Russia

Keywords: rover explorer, planetoid, Arduino, microcontrollers, neural networks, machine learning.

This project implements the "smart" movement of the robot to safely follow the prototype on the surface of the planet, so as not to fall into a crevice or get stuck in the recesses of the relief. The robot is controlled offline using a trained neural network. The robot is based on the Arduino Uno board. The data set on the basis of which the prototype chooses the direction of movement is

collected using six sensors: three ultrasonic distance sensors and three black line sensors. Programming of Arduino controllers based on Atmel processors is performed in the IDE in the C++ programming language.

Искусственный интеллект уже сегодня помогает астрономам изучать космос, он быстрее собирает и обрабатывает большое количество данных, рассчитывает на их основе наиболее подходящее место для посадки космических кораблей, а также может показать, что скрывается в неисследованных планетах и небесных телах. В условиях, где исследование космических поверхностей непосредственно с участием человека невозможно, перспективным решением является использование роботизированных автономных устройств или роверов-исследователей [1, 2].

Для проведения тестов и моделирования поведения робота-планетохода используется белый баннер с черной разметкой, имитирующей планетарный неровный рельеф, а также объемные объекты, превосходящие габариты робота не меньше, чем на четверть.

Прототип планетохода построен на трехслойной нейросети обратного распространения с прямой связью [3]. Слои, в которых расположены нейроны, называются входным, скрытым и выходным слоями. Все нейроны в одном слое соединены с нейронами в следующем слое. Входной слой имеет шесть нейронов, что обусловлено использованием шести датчиков для сбора данных: трех ультразвуковых датчиков расстояния и трех датчиков черной линии. Количество нейронов на выходном слое рассчитывается по количеству разрядов в двоичном представлении числа вариантов движения робота. Модель нейронной сети для прототипа представлена на рисунке 1.

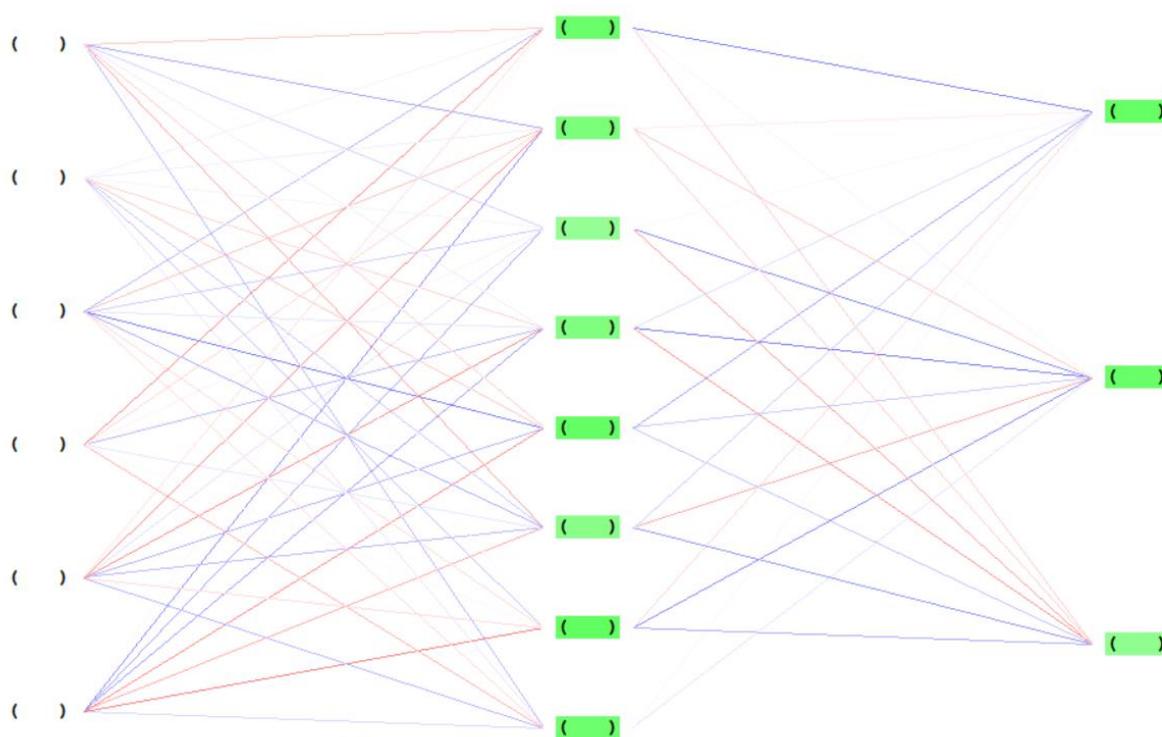


Рисунок 1. Модель нейронной сети для прототипа планетохода

В данном прототипе используется пять вариантов поведения, следовательно на выходном слое нейронной сети будет располагаться три нейрона. Нейросеть обучается на заранее отобранных паттернах входных данных. Тестовая выборка с входными параметрами и паттернами движения представлена на рисунке 2.

Данные с оптических датчиков			Данные с акустических датчиков			Выходной паттерн	
0	0	0	0	0	0	000	Движение по прямой
0	0	0	0	0	1	001	Разворот против часовой стрелки на 45°
0	0	0	0	1	0	010	Разворот против часовой стрелки на 90°
0	0	0	0	1	1	010	
0	0	0	1	0	0	011	Разворот по часовой стрелке на 45°
0	0	0	1	0	1	100	Разворот на 180 градусов°
0	0	0	1	1	0	010	
0	0	0	1	1	1	100	
0	0	1	0	0	0	001	
0	0	1	0	1	0	010	
0	0	1	1	0	0	100	
0	0	1	1	1	1	0	100
0	1	0	0	0	0	0	010
0	1	0	0	0	1	010	
0	1	0	1	0	0	0	010
0	1	0	1	0	1	100	
0	1	1	0	0	0	0	010
0	1	1	1	0	0	0	100
1	0	0	0	0	0	0	011
1	0	0	0	0	1	100	
1	0	0	0	1	0	010	
1	0	0	0	1	1	100	
1	0	1	0	0	0	0	100
1	0	1	0	1	0	0	100
1	1	0	0	0	0	0	010
1	1	0	0	0	1	100	
1	1	1	0	0	0	0	100

Рисунок 2. Тестовая выборка для нейросети

Программирование контроллеров Arduino осуществлялось в среде IDE на языке программирования C++ (в соответствии с листингами 1 и 2).

Листинг 1. Фрагмент скетча, вычисляющего выходной сигнал нейросети

```

byte netWork(){ // возвращает номер управления как итог работы сети
byte count=countOut-1; // старшая степень для перевода из 2-го Output в 10-ю цифру
управления
float sum=0;
// Запускаем сеть
/*****
вычисление активаций скрытого слоя исходя из входного вектора
*****/

for(int i = 0 ; i < HiddenNodes ; i++ ) {
Accum = HiddenWeights[InputNodes][i] ;
for(int j = 0 ; j < InputNodes ; j++ ) {
Accum += vectorIn[j] * HiddenWeights[j][i] ;
}
Hidden[i] = 1.0/(1.0 + exp(-Accum)) ;
}

/*****
вычисление активаций выходного слоя
*****/

for(int i = 0 ; i < OutputNodes ; i++ ) {

```

```

    Accum = OutputWeights[HiddenNodes][i] ;
    for(int j = 0 ; j < HiddenNodes ; j++ ) {
        Accum += Hidden[j] * OutputWeights[j][i] ;
    }
    Output[i] = 1.0/(1.0 + exp(-Accum)) ;

    if(Output[i]>=0.9f){
        Output[i]=1;
    }
    else{
        Output[i]=0;
    }

}
for(byte i=0;i<OutputNodes;i++){
    sum+=Output[i]*pow(2,count-i); // перевод из 2-го в 10-е
}
return round(sum);
}

```

Листинг 2. Фрагмент скетча отправки данных в нейросеть

```

void loop() {
    l10=digitalRead(8);
    l12=digitalRead(9);
    l13=digitalRead(10);
    //test(); проверка работоспособности сети

    vectorIn[0]=l10; // входной вектор состояния
    vectorIn[1]=l12;
    vectorIn[2]=l13;
    vectorIn[3]=imp(trigL, echoL);
    vectorIn[4]=imp(trigF, echoF);
    vectorIn[5]=imp(trigR, echoR);
    upr=netWork(); // сеть определяет номер варианта управления
    Serial.print(vectorIn[0]);
    Serial.print(" ");
    Serial.print(vectorIn[1]);
    Serial.print(" ");
    Serial.print(vectorIn[2]);
    Serial.print(" ");
    Serial.print(vectorIn[3]);
    Serial.print(" ");
    Serial.print(vectorIn[4]);
    Serial.print(" ");
    Serial.print(vectorIn[5]);
    Serial.print(" ");
    Serial.println(upr);
    moove(upr); // движение по варианту управления
}

```

В качестве материальной базы для прототипа робера-исследователя используется Arduino Uno на микроконтроллере ATmega328P, колесная платформа с двумя приводами,

шесть датчиков и три платы расширения: плата для приводов, плата питания и плата расширения входов/выходов. Схема подключения датчиков к микроконтроллеру представлена на рисунке 3.

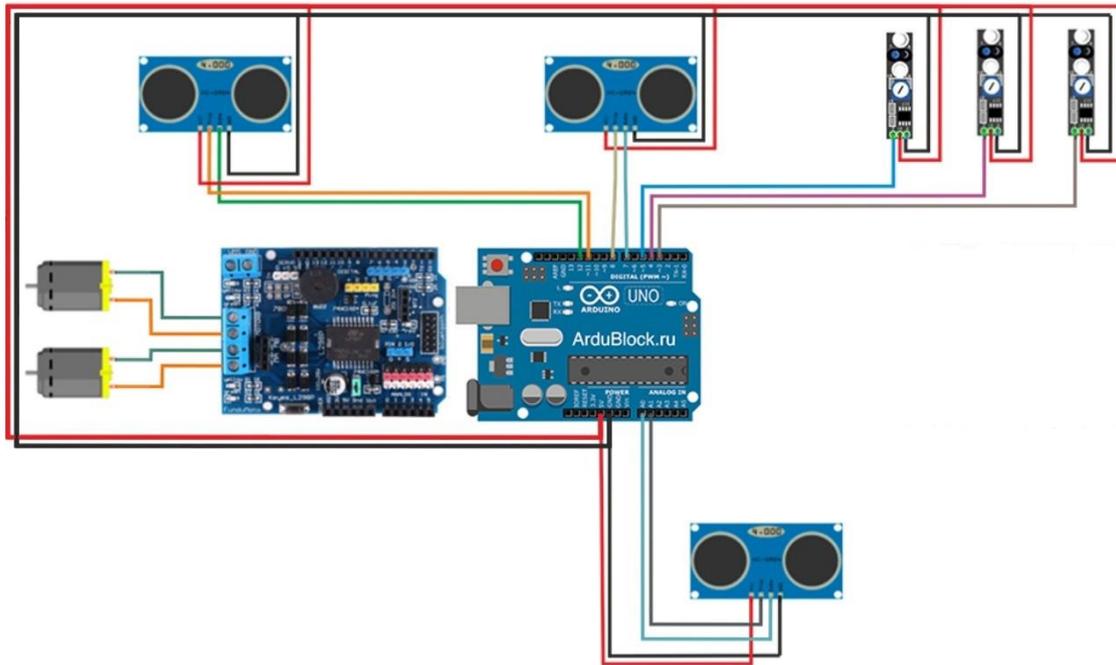


Рисунок 3. Схема подключения датчиков к микроконтроллеру.

Разработанный прототип имеет следующие преимущества:

- робот управляется в автономном режиме;
- сеть не требует большого количества нейронов в сети, что в свою очередь, облегчает ее обучение;
- за счет плат расширения прототип имеет хороший форм-фактор.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Заглядывает в кратеры, открывает экзопланеты и сажает корабли: почему космос не изучить без ИИ: <https://hightech.fm/2021/10/04/space-ai-new> (дата обращения 11.10.2022).
2. Планетоход: <https://robot.fandom.com/ru/wiki/Планетоход> (дата обращения 11.10.2022).
3. A neural network for Arduino: <http://robotics.hobbizine.com/arduinoann.html> (дата обращения 11.10.2022).

## УСТОЙЧИВЫЙ К ОТКАЗАМ АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ РАДИОИЗЛУЧАЮЩЕЙ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени ФГБОУ ВО «Московский технический университет связи и информатики», г. Ростов-на-Дону, Россия

Ключевые слова: пассивная система, определение местоположения, измерение дальности, энергетический метод, надежность.

Рассмотрена задача определения местоположения радиоизлучающего телекоммуникационного объекта на основе применения пассивной многопозиционной разностно-дальномерной системы. Для повышения надежности измерительной системы предложено использовать структурно-информационное резервирование за счет использования дополнительного канала измерения дальности на основе энергетического метода. Приведен краткий алгоритм определения местоположения источника излучения, устойчивый к структурным отказам.

A.V. Eliseev, D.E. Rubailo

## A FAULT-RESISTANT ALGORITHM FOR DETERMINING THE LOCATION OF A RADIO-EMITTING TELECOMMUNICATIONS SYSTEM

North Caucasus branch of Moscow Technical University  
of Communications and Informatics, Rostov-on-Don, Russia

Keywords: passive system, location determination, range measurement, energy method, reliability.

The problem of determining the location of a radio-emitting telecommunication object based on the use of a passive multi-position difference-rangefinder system is considered. To increase the reliability of the measuring system, it is proposed to use structural information redundancy by using an additional range measurement channel based on the energy method. A brief algorithm for determining the location of the radiation source that is resistant to structural failures is given.

### **Введение.**

Настоящий период развития науки и техники характеризуется широким использованием радиотехнических систем различного назначения: передачи информации, извлечения информации, разрушения информации, радиоуправления. Особенно следует отметить стремительное развитие такой разновидности радиосистем передачи информации, как телекоммуникационные системы (ТКС). Современные ТКС могут размещаться на носителях различного типа: наземного, морского, воздушно-космического базирования. Увеличение численности и типов ТКС, с одной стороны, существенно повышает возможности по обеспечению глобальной, непрерывной и высокоскоростной связи и передачи данных как между стационарными, так и между подвижными объектами, а с другой стороны – усложняет решение задачи электромагнитной совместимости (ЭМС) различных ТКС, что может привести к существенному снижению их качества. Обеспечение ЭМС ТКС предполагает решение множества частных задач, одной из которых является пространственный мониторинг радиоизлучающей ТКС. Под пространственным мониторингом будем понимать задачу определения вектора состояния ТКС – пространственных координат и параметров движения радиоизлучающей ТКС.

Определение вектора состояния ТКС необходимо при решении большого многообразия задач, направленных как на поддержание целостности структуры сети связи, использующей мобильные узлы, так и на выявление несанкционированных источников радиоизлучения. Для решения задачи пространственного мониторинга широко используются многопозиционные пассивные системы, основанные на различных методах местоопределения, – угломерные, разностно-дальномерные, разностно-доплеровские и другие [1]. С точки зрения простоты конструкции и точности определения вектора состояния следует выделить разностно-дальномерные системы. Под простотой конструкции по сравнению, например, с угломерным методом, в данном случае понимается использование ненаправленных антенн. Применение разностно-дальномерного метода предполагает использование нескольких приемных позиций, например, для определения положения ТКС в пространстве необходимо иметь минимум четыре приемные позиции, соединенные каналами передачи информации с центром обработки. Последнее существенно влияет на надежность многопозиционной системы наблюдения (МПСН), так как нарушение хотя бы одного канала передачи данных приведет к нарушению работоспособности системы или снижению её качества. По этой причине возникает необходимость резервирования МПСН как на основе применения структурного резерва, так и на основе информационного резерва.

Цель работы – повышение надежности МПСН, предназначенной для пространственного мониторинга радиоизлучающих ТКС.

Для достижения данной цели необходимо решить задачу разработки устойчивого к отказам алгоритма определения местоположения радиоизлучающей ТКС.

#### Постановка задачи.

Рассмотрим ТКС, размещенную на носителе воздушного базирования (НВБ). Примером такого НВБ может быть воздушное судно гражданской авиации, оснащенное системами связи, системами радиодоступа к сети Интернет, системами обмена данными для решения задач управления воздушным движением [2]. Полагаем, что для определения вектора состояния НВБ используется МПСН, реализующая разностно-дальномерный метод (рисунок 1).

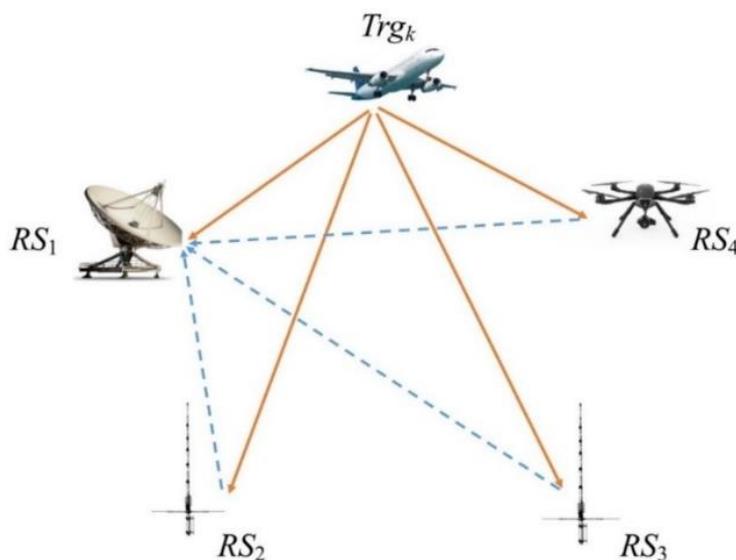


Рисунок 1. Структура гибридной МПСН

В общем случае МПСН может содержать в своем составе  $N_{RS}$  приемных пунктов  $\{RS_i, i = \overline{1, N_{RS}}\}$ , как стационарных, так и подвижных, с априорно известными

координатами их установки  $\mathbf{X}_i = [x_i, y_i, z_i]^T, i = \overline{1, N_{RS}}$  [3]. Каждый приемный пункт связан с центром обработки линейной связи (рисунок 2). В качестве центра обработки может использоваться одна из приемных позиций, например, позиция  $RS_1$  на рисунке 2.

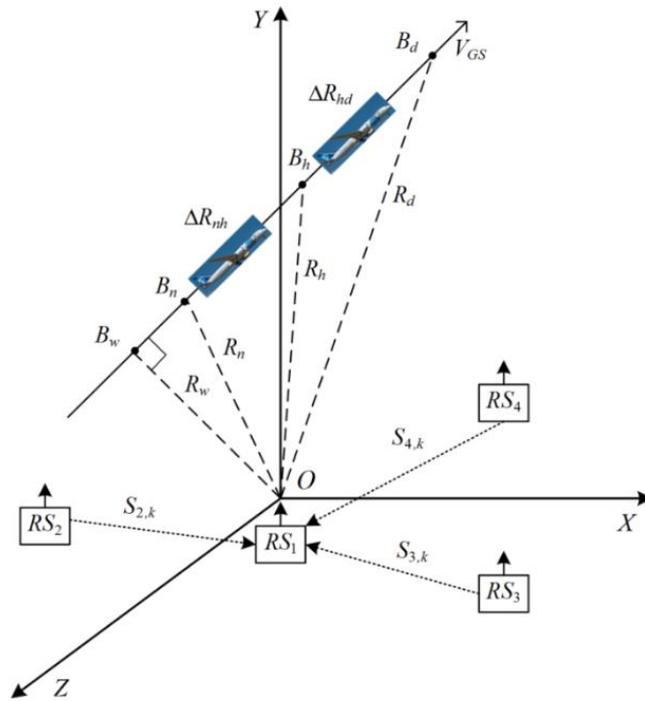


Рисунок 2. Геометрическая постановка задачи

В соответствии с принципом функционирования МПСН на каждой приемной позиции решаются задачи обнаружения и приема сигналов от ТКС  $S_{i,k}, i = \overline{1, N_{RS}}, k \in \overline{1, M_{Trg}}$ , размещенной на НВБ  $Trg_k, k \in \overline{1, M_{Trg}}$ , где  $M_{Trg}$  – число НВБ, находящихся в зоне действия МПСН.

Сигналы  $S_{i,k}$  передаются по линиям передачи данных в вычислительный центр (CC), где определяется время их приема на соответствующем приемном пункте  $(\tau_{i,k}, i = \overline{1, N_{RS}})$  в единой шкале времени. Далее, для реализации разностно-дальномерного метода, вычисляется разность времен приема сигнала от  $k$ -го воздушного объекта на  $i$ -ом приемном пункте  $(\tau_{i,k}, i = \overline{2, N_{RS}})$  и приемном пункте, принятом за опорный, например, на первом приемном пункте  $(\tau_{1,k})$ :  $\Delta\tau_{i,1,k} = \tau_{i,k} - \tau_{1,k}$ . Разностям времен  $\Delta\tau_{i,1,k}, i = \overline{2, N_{RS}}$  соответствуют разности расстояний, проходящих сигналом от радиоизлучающего воздушного судна до каждого приемного пункта:

$$\Delta R_{i,1,k} = c\Delta\tau_{i,1,k} = R_{t,i,k} - R_{t,1,k}, i = \overline{2, N_{RS}}, \quad (1)$$

где  $c$  – скорость распространения электромагнитной волны;  $R_{t,i,k}$  – расстояние между  $k$ -ым радиоизлучающим НВБ с координатами  $\mathbf{X}_{trg,k} = [x_{t,k}, y_{t,k}, z_{t,k}]^T$  и приемным пунктом  $RS_i, i \in \overline{1, N_{RS}}$ :

$$R_{i,k} = \sqrt{(x_i - x_{t,k})^2 + (y_i - y_{t,k})^2 + (z_i - z_{t,k})^2} \quad (2)$$

Таким образом, вектор измерений разностно-дальномерной МПСН содержит множество измерений разностей дальностей:

$$Z_k(t_j) = [\Delta r_{2,1,k}, \Delta r_{3,1,k}, \dots, \Delta r_{(N_{RS}-1),1,k}, \Delta r_{N_{RS},1,k}]^T, \quad (3)$$

где  $Z_k(t_j)$  – вектор измерений, приписываемый на основе процедуры первичного отождествления  $k$ -му радиоизлучающему НВБ в моменты времени  $t_j, j = 1, 2, 3, \dots$ .

Требуется: разработать устойчивый к отказам алгоритм определения местоположения радиоизлучающей ТКС, размещенной на НВБ.

### Решение задачи.

Для повышения устойчивости МПСН к отказам будем использовать структурно-информационное резервирование, под которым будем понимать резервирование, как за счет одновременного использования дополнительной измерительной информации, так и за счет введения в состав МПСН дополнительного оборудования. В качестве дополнительной информации будем понимать измерение дальности до ТКС на основе использования энергетического метода [4, 5]. Для реализации энергетических методов в состав одной из приемных позиций МПСН необходимо ввести приемное устройство и анализатор, обеспечивающие измерение мощности принимаемого сигнала, а также специальное программное обеспечение, позволяющее на основе нескольких измерений мощности во времени рассчитать дальность до объекта.

Реализация энергетического метода измерения дальности может быть выполнена на основе двух алгоритмов [4, 5]. Алгоритм [4] предполагает измерение мощности принимаемого сигнала в три момента времени через равные интервалы. Последнее условие является обязательным, при невыполнении которого возникают ошибки в измерении дальности. Алгоритм [5] предполагает измерения мощности для двух различных моментов времени, что снижает вероятность возникновения погрешности по причине неточности фиксирования момента измерения. Однако данный алгоритм требует измерения частоты Доплера принимаемого сигнала и определения момента её равенства нулю ( $F_D(t_w) = F_{Dw} = 0$ ). С учетом данных фактов целесообразно использовать оба этих алгоритма с последующим формированием результирующей оценки дальности. Кроме того, указанные методы требуют иметь в качестве априорной информации сведения о скорости движения НВБ, что не всегда возможно. По этой причине необходима их модернизация.

Будем полагать, что НВБ движется равномерно и прямолинейно на фиксированной высоте, то есть полет выполняется в горизонтальной плоскости.

Тогда модель движения НВБ можно задать в виде:

$$X(t) = X_0 + Vt, \quad t \in [t_0, T], \quad (4)$$

где  $X(t) = [x(t), y(t)]^T$  – декартовы координаты НВБ,  $X_0 = [x(t_0), y(t_0)]^T$ ,  $V = [v_x, v_y]^T$  – вектор скорости НВБ, элементами которого являются скорости НВБ по соответствующим координатам.

Введем предварительное допущение, что на основе априорного знания вектора скоростей  $V = [v_x, v_y]^T$  возможно определить значение путевой скорости НВБ  $V_{GS} = \|V\| = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$ .

С учетом (4) траектория движения ВС будет представлять собой прямую линию, показанную на рисунке 2.

Тогда, по аналогии с [4] дальность в момент времени  $t_d$  может быть найдена по формуле:

$$R_d = \left[ 2P_n P_h \Delta R_{nh}^2 (P_n P_h + P_h P_d - 2P_n P_d)^{-1} \right]^{\frac{1}{2}}, \quad (5)$$

где  $P_n, P_h, P_d$  – значения мощности принимаемого сигнала в моменты времени  $t_n, t_h, t_d$ , соответственно,  $\Delta R_{nh} = V_{GS} \Delta t_{nh} = V_{GS} (t_h - t_n)$ ,  $\Delta R_{nh} = \Delta R_{hk}$ .

Показателем точности измерения дальности на основе (4) является дисперсия вида [4]:

$$\sigma_{r_d}^2 = 0.5 R_d^2 \varepsilon_p^2 P_d^2 (P_h^2 + 4P_n^2 - 2P_n P_h) (P_n P_h + P_h P_d - 2P_n P_d)^{-2} + R_d^2 \varepsilon_v^2, \quad (6)$$

где  $\varepsilon_p^2 = \sigma_{P_n}^2 P_n^{-2} = \sigma_{P_h}^2 P_h^{-2} = \sigma_{P_d}^2 P_d^{-2}$  – относительная погрешность измерения мощности;  $\varepsilon_v^2 = \sigma_v^2 V_{GS}^{-2}$  – относительная погрешность задания путевой скорости;  $\sigma_{P_n}^2, \sigma_v^2$  – дисперсии измерений мощности и скорости, соответственно.

Аналогично работе [5] показано, что в случае, когда на приемной позиции измеряется частота Доплера  $F_D(t_w)$ , дальность в момент времени  $t_d$  может быть найдена на основе выражения

$$R_d = \Delta R_{wd} (1 - P_d P_w^{-1})^{-0.5}, \quad (7)$$

где  $P_w$  – значение мощности сигнала, измеренное в момент времени, когда частота Доплера равна нулю, то есть НВБ находится на минимальном расстоянии  $R_w$  от приемной позиции (рисунок 2);  $\Delta R_{wd} = V_{GS} \Delta t_{wd}$ .

Погрешность измерения дальности на основе (7) может быть найдена на основе выражения [5]:

$$\sigma_{r_d}^2 = \Delta_{dw}^2 (1 - P_d P_w^{-1})^{-1} \sigma_{V_{GS,wd}}^2 + 0,25 (\Delta_{dw} V_{GS,wd})^2 (1 - P_d P_w^{-1})^{-3} P_w^{-2} (\sigma_{P_d}^2 + P_d^2 P_w^{-2} \sigma_{P_w}^2), \quad (8)$$

где  $\Delta_{dw} = |t_d - t_w|$  – интервал времени между моментами измерения мощности  $P_w, P_d$

С учетом (5)-(8) сформируем итоговую взвешенную оценку дальности в момент времени  $t_d$

$$\hat{R}_d = \left( \sigma 1_d^{-2} R1_d + \sigma 2_d^{-2} R2_d \right) \left( \sigma 1_d^{-2} + \sigma 2_d^{-2} \right)^{-1}, \quad (9)$$

где  $R1_d, \sigma 1_d^2$  – оценки дальности и дисперсии погрешности, найденные на основе (5) и (6), соответственно;  $R2_d, \sigma 2_d^2$  – оценки дальности и дисперсии погрешности, найденные на основе (7) и (8), соответственно.

Дальнейшее повышение точности измерений может быть обеспечено на основе статистической обработки, например, с использованием алгоритмов [6-8].

Таким образом, в результате применения структурно-информационного резервирования для определения координат НВБ необходимо использовать расширенную относительно (1) систему уравнений:

$$\begin{aligned} \Delta r_{i,1,k} &= \sqrt{(x_i - x_{t,k})^2 + (y_i - y_{t,k})^2 + (z_i - z_{t,k})^2} - \\ &- \sqrt{(x_1 - x_{t,k})^2 + (y_1 - y_{t,k})^2 + (z_1 - z_{t,k})^2} + \varepsilon_{i1}, \quad i = \overline{2, N_{RS}}, \\ R_{t,1,k} &= \sqrt{(x_1 - x_{t,k})^2 + (y_1 - y_{t,k})^2 + (z_1 - z_{t,k})^2} + \varepsilon_1, \end{aligned} \quad (10)$$

где  $\varepsilon_{i1}$  – случайная погрешность измерения разности дальностей, представляющая собой белый гауссовский шум (БГШ) с нулевым математическим ожиданием и известной дисперсией";  $\varepsilon_1$  – случайная погрешность измерения дальностей, представляющая собой БГШ с нулевым математическим ожиданием и известной дисперсией";  $x_{t,k}, y_{t,k}, z_{t,k}$  – координаты  $k$ -го НВБ,  $R_{t,1,k}$  – расстояние от первой приемной позиции до воздушного судна, найденное на основе (9).

Как уже было отмечено ранее, на практике возможна ситуация, когда априорная информация о скорости движения НВБ может иметь низкую достоверность или отсутствовать вовсе, тогда, полагая, что искомая скорость НВБ может принадлежать интервалу  $V_{GS} \in [V_{GS,min}, V_{GS,max}]$ , найдем её оценку, из следующего условия:

$$\begin{aligned} \hat{V}_{GS} &= \underset{V_{GS} \in V}{\operatorname{argmin}} \left| \left( R(t_j, V_{GS}) - R(t_i, V_{GS}) \right) - \Delta r_{ik} \right| = \\ &= \underset{V_{GS} \in V}{\operatorname{argmin}} \left| \left( R(t_j, V_{GS}) - R(t_i, V_{GS}) \right) + \lambda \int_{t_i}^{t_j} F_D(t) dt \right|, \end{aligned} \quad (11)$$

где  $R(t_j, V_{GS}), R(t_i, V_{GS})$  – дальности до ТКС на НВБ в моменты времени  $t_j$  и  $t_i$ , соответственно, вычисленные на основе (9) при принятой гипотезе о значении путевой скорости НВБ равной  $V_{GS} \in [V_{GS,min}, V_{GS,max}]$ ,  $\lambda$  – длина волны радиоизлучения ТКС на НВБ,  $F_D(t)$  – измеряемая на приемной позиции частота Доплера.

Таким образом, после применения процедуры (11) формируется оценка скорости движения НВБ и становится возможным применение формул (5), (7), (9) для расчета дальности до НВБ.

С учетом рассмотренного выше структурно-информационного резервирования отказоустойчивый алгоритм определения местоположения ТКС на НВБ будет иметь следующий вид:

1. Измерение в центре обработки разностей дальностей  $Z_k(t_j) = [\Delta r_{2,1,k}, \Delta r_{3,1,k}, \dots, \Delta r_{(N_{RS}-1),1,k}, \Delta r_{N_{RS},1,k}]^T$  на основе принятых на каждой приемной позиции сигналов от ТКС на НВБ.
2. Измерение дальности до ТКС на основе (9) с использованием энергетических измерений на одной из приемных позиций.
3. Оценка местоположения радиоизлучающей ТКС: при отсутствии отказов в МПСН – на основе разностно-дальномерного метода; в случае отказа одной из приемных позиций – на основе дальномерно-разностно-дальномерного метода с использованием вектора измерений вида

$$Z_k(t_j) = [R, \Delta r_{2,1,k}, \Delta r_{3,1,k}, \dots, \Delta r_{(N_{RS}-1),1,k}]^T.$$

### Заключение.

Предложен алгоритм определения местоположения радиоизлучающей ТКС, обеспечивающий повышение надежности функционирования МПСН на основе структурно-информационного резервирования, отличающийся от известных использованием дополнительной информации о дальности до НВБ, найденной на основе взвешенного объединения результатов двух энергетических алгоритмов, имеющих различную точность, а также уточнения априорной информации о путевой скорости воздушного объекта на основе проверки множества гипотез о её значениях.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рембовский А.М., Ашихин А.В., Козьмин В.А. Радиомониторинг – задачи, методы, средства. – М.: Горячая линия – Телеком, 2010, – 624с.
2. Рубцов Е.А. Радиооборудование воздушных судов и его лётная эксплуатация. Учебное пособие / Е.А. Рубцов, Шикавко О.М. – Санкт-Петербург: СПбГУГА, 2017. – 120с.
3. Черняк В.С. Многопозиционная радиолокация: учебное пособие / В. С. Черняк. – Москва: Радио и связь, 1993. – 416 с.
4. Булычев Ю.Г., Ивакина С.С., Мозоль А.А., Насенков И.Г. Анализ модификации энергетического метода пассивной дальнометрии. // Автометрия. – 2016, 52, № 1, с. 37–44.
5. Eliseev A.V. Single-Position Method to Measure Range to Mobile Source of Radio Emission / 2020 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon), 2020, pp. 1-5.
6. Булычев Ю.Г., Елисеев А.В. Модифицированный метод наименьших квадратов в обобщенно-инвариантной постановке. // Проблемы управления и информатики. – 2006, № 6, с. 71–83.
7. Елисеев А.В. Алгоритм линейной фильтрации, устойчивый к сингулярным ошибкам. // Известия высших учебных заведений. Радиотехника. – 2005, Т. 48, №10, с. 20–29.
8. Елисеев А.В., Ануфриев К.В., Погорелов Р.А., Рубайло Д.Э. Алгоритм адаптивной настройки параметров линейного дискретного фильтра с использованием нечеткой экспертной системы // Радиотехника. – 2019, Т. 83, № 7 (9), с. 89-102.

## ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКИХ СООБЩЕНИЙ

Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени ФГБОУ ВО «Московский технический университет связи и информатики», г. Ростов-на-Дону, Россия<sup>1</sup>  
Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Россия<sup>2</sup>

Ключевые слова: обратная задача динамики, фильтр Калмана, метод комплексной оценки параметров измерительных процессов.

Цель данной статьи – определение эффективности и точности метода комплексной оценки параметров измерительных процессов в сравнении с фильтром Калмана и методами обработки измерительной информации

Е.А. Karpenko<sup>1</sup>, A.V. Kravchina<sup>2</sup>, A.G. Negradze<sup>2</sup>

## RESEARCH OF ALGORITHMS FOR TELEMETRY MESSAGE PARAMETER ESTIMATION

North Caucasus branch of Moscow Technical University  
of Communications and Informatics, Rostov-on-Don, Russia<sup>1</sup>  
Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia<sup>2</sup>

Key words: inverse dynamics problem, Kalman filter, method of complex estimation of measurement process parameters.

The purpose of this paper is to determine the effectiveness and accuracy of the method of complex estimation of the parameters of measurement processes in comparison with the Kalman filter and methods for processing of measurement information.

### **Введение.**

Наибольшее распространение при обработке измерительной информации получили алгоритмы, построенные на основе теории калмановской фильтрации. Однако их применение в условиях неизвестных регулярных внешних воздействий, как правило, не обеспечивает требуемой эффективности [1].

Альтернативный подход к решению задачи оценки параметров измерительных процессов может базироваться на концепции обратных задач динамики. Избежать трудностей, свойственных классическим методам теории оптимального управления можно положив в основу алгоритма обработки измерительной информации объединенный принцип максимума (ОПМ). Это убедительно демонстрируется работами [2, 3].

Уменьшить ошибку и увеличить устойчивость процедуры оценивания возможно на основе ОПМ, организовав комплексную оценку параметров измерительных процессов, состоящую из двух этапов. На первом реализуется вычислительная процедура, которая получена в предположении о регулярном характере искомой силы. Второй этап состоит в обработке полученных ранее данных в предположении о сингулярном характере действующих на динамическую систему сил. Эффективность демонстрируется на основе решения задачи оценки параметров маневрирующего летательного аппарата (ЛА).

### **Математическая постановка задачи.**

Пусть уравнение состояния динамической системы имеет вид [2, 3]

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_s} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_s} = Q_s, \quad Q \in L_2^n[t_0, t_k], \quad s = \overline{1, n}, \quad (1)$$

где  $q_s, \dot{q}_s$  – обобщенные фазовые координаты;

$T$  – кинетическая энергия системы;

$Q_s$  – обобщенная сила.

Требование  $Q \in L_2^n[t_0, t_k]$  является следствием рассмотрения обобщенных сил, как смеси регулярных и сингулярных воздействий. Уравнение наблюдения имеет вид

$$Y(t) = H(q, t) + \xi(t), \quad (2)$$

где  $H \in R^n$  – известная вектор-функция;

$\xi \in R^l$  – вектор случайных воздействий на канал наблюдения с известной интенсивностью. В пространстве наблюдений введем целевой функционал

$$J = \frac{1}{2} \int_{t_0}^{t_k} \sum_{s=1}^n \beta_s (Y_s - H_s(\hat{q}, t))^2 dt, \quad (3)$$

где  $\beta_s$  – весовые коэффициенты, характеризующие интенсивность шумов наблюдения.

Имеет место следующая формулировка обратной задачи динамики: определить вектор обобщенных сил  $Q$ , действующих на динамическую систему (1), как функцию обобщенных координат и обобщенных скоростей  $(q, \dot{q}) \in R^{2n}$  и соответствующую ему траекторию  $q(t) \in R^n$ , обеспечивающие минимум целевого функционала (3).

### Решение обратной задачи динамики.

Теорема ОПМ: для динамической системы (1) при ограничении  $Q \in L_2^n[t_0, t_k]$  необходимое условие минимума целевого функционала (3) определяются максимумом функции

$$\Phi(\hat{q}, \dot{\hat{q}}) = \max_{Q \in L_2^n[t_0, t_k]} \Phi(q, \dot{q}, \lambda) = \max_{Q \in L_2^n[t_0, t_k]} \sum_{s=1}^n [\lambda Q_s(q, \dot{q}) + \beta_s (Y_s - H_s(\hat{q}, t))] \dot{\hat{q}}_s, \quad (4)$$

где  $\lambda$  – постоянный множитель Лагранжа.

Из теоремы вытекает, что

$$Q_s(q, \dot{q}) = \lambda^{-1} \{ \mu_s(q, \dot{q}) \dot{q}_s - \beta_s (Y_s - H_s(\hat{q}, t)) \}, \quad s = \overline{1, n}. \quad (5)$$

В [2] получено

$$\mu_s = -\lambda \left| \dot{q} L^{-1} q^{-1} \right|, \quad (6)$$

где  $L^{-1}$  – константа.

В [3] с использованием кинематических характеристик фазовой траектории точки доказано, что

$$\mu_s = - \left[ Y_s - H_s(\hat{q}, t) \right] p_s \left( 2 |A_s + |Q_s| q_s + C \right)^{-1}, \quad (7)$$

где  $|Q_s|$  – допустимое значение обобщенной силы;

$C$  – константа;

$p_s$  – обобщенный импульс.

### Результаты математического моделирования.

Оценка эффективности предлагаемого метода проведено на основе численного моделирования для различных значений СКО шумов наблюдений. Результаты вычислительного эксперимента приведены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты вычислительного эксперимента

$\sigma_R, \text{ м}$	$\sigma_\theta$	$\sigma_\varphi$	$K_{R, \text{ м}}$	$K_\theta$	$K_\varphi$	$\sigma_{\hat{R}}, \text{ м}$	$\sigma_{\hat{\theta}}$	$\sigma_{\hat{\varphi}}$
0	0	0	5.60	0.00075	0.00076	4.76	0.00035	0.00039
15	0.003	0.003	12.09	0.00150	0.00153	9.71	0.00065	0.00068
30	0.004	0.004	21.21	0.00251	0.00296	14.39	0.00100	0.00131
50	0.006	0.006	33.54	0.00404	0.00500	21.49	0.00280	0.00304
75	0.008	0.008	47.43	0.0072	0.00750	39.58	0.00510	0.00568
100	0.010	0.010	57.45	0.00883	0.00943	48.64	0.0073	0.00742
137	0.012	0.012	75.04	0.00109	0.00112	68.93	0.0081	0.00861
150	0.014	0.014	92.74	0.00132	0.00135	73.50	0.0098	0.0109
175	0.016	0.016	103.94	0.00150	0.00153	89.92	0.0133	0.0140

где  $\sigma_R, \sigma_\theta, \sigma_\varphi$  – соответственно заданные СКО шума измерений наклонной дальности и направляющих косинусов, полученных телеметрическим сообщением;

$K_R, K_\theta, K_\varphi$  – СКО потенциальных оценок фильтра Калмана для дальности и направляющих косинусов;

$\sigma_{\hat{R}}, \sigma_{\hat{\theta}}, \sigma_{\hat{\varphi}}$  – СКО оценок, полученных на основе метода комплексной оценки.

### Заключение.

Результаты численного моделирования позволяют говорить о высокой эффективности нового метода комплексной оценки параметров измерительных процессов в сравнении с фильтром Калмана и методами обработки измерительной информации, полученными в [2, 3] на основе ОПМ. Эффективность понимается в смысле точности и устойчивости полученного алгоритма.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жданюк, Б. Ф. Основы статистической обработки траекторных измерений : учебно-методическое пособие / Б. Ф. Жданюк. – Москва : Сов. радио, 1978. – 384 с.

- 
2. Костоглотов, А. А. Объединенный принцип максимума в задачах оценки параметров движения маневрирующего летательного аппарата / А. А. Костоглотов, С. В. Лазаренко // Радиотехника и электроника. – 2009. – №4 (54). – С. 450-457.
  3. Костоглотов, А. А. Метод решения обратных измерительных задач с применением аппарата негладкого анализа / А. А. Костоглотов, С. В. Лазаренко // Информационно-измерительные и управляющие системы. – 2009. – №10. – С. 38-45.

**И.В. Решетникова<sup>1</sup>, М.В. Кравчина<sup>2</sup>, Д.С. Кочетов<sup>2</sup>**

### **ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМА ИДЕНТИФИКАЦИИ ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКИХ СООБЩЕНИЙ**

Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени ФГБОУ ВО «Московский технический университет связи и информатики», г. Ростов-на-Дону, Россия<sup>1</sup>  
Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Россия<sup>2</sup>

Ключевые слова: идентификация, обратная некорректная задача, итерационная регуляризация, состояние технической системы.

В работе представлена математическая постановка задачи идентификации параметров состояния технических систем ракетных комплексов и ее решение в виде синтезированного алгоритма с использованием двух эффективных подходов обратных некорректных задач, таких как объединенный принцип максимума и итерационная регуляризация.

**I.V. Reshetnikova<sup>1</sup>, M.V. Kravchina<sup>2</sup>, D.S. Kochetov<sup>2</sup>**

### **RESEARCH ON THE TELEMETRY IDENTIFICATION ALGORITHM MESSAGES**

North Caucasus branch of Moscow Technical University  
of Communications and Informatics, Rostov-on-Don, Russia<sup>1</sup>  
Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia<sup>2</sup>

Key words: identification, inverse incorrect problem, iterative regularization, state of the technical system.

This paper presents the mathematical formulation of the problem of identification of parameters of the state of technical systems of rocket complexes and its solution in the form of a synthesized algorithm using two effective approaches of inverse incorrect problems, such as the combined principle of maximum and iterative regularization.

#### **Введение.**

Современные технические системы описываются сложными внутренними процессами, имеющими, как правило, динамический характер. При этом основной формой записи динамики являются дифференциальные уравнения с неизвестными параметрами, определение которых относится к задаче идентификации.

В настоящее время разработано множество алгоритмов идентификации. Однако наиболее известные алгоритмы, основанные на теории статистической фильтрации Калмана и методе наименьших квадратов имеют свои недостатки, связанные с низкой

---

точностью и скоростью сходимости оцениваемых параметров к их действительным значениям при условии нестационарных неслучайных воздействий.

### **Постановка задачи.**

Избавится от данных недостатков позволяет новый алгоритм с использованием современных подходов к решению обратной некорректной задачи.

Первый предполагаемый подход - объединенный принцип максимума. Использование в его основе естественных, природных свойств объекта в виде вариационного принципа Гамильтона-Остроградского дает оптимальный в плане точности оценок, скорости сходимости и снижения вычислительных затрат алгоритм идентификации [1].

Еще одним эффективным методом решения обратных некорректных задач является использование теории итерационной регуляризации. Ее использование при решении задач идентификации, позволяет повысить точность оцениваемых параметров, за счет их последовательного уточнения [2].

Совместное использование объединенного принципа максимума и итерационной регуляризации позволяет синтезировать новый алгоритм идентификации, обладающий высокой точностью оценивания истинных параметров, устойчивостью и скоростью сходимости к истинным параметрам при уменьшении вычислительных затрат, что подтверждается имитационным моделированием в сравнении с традиционным фильтром Калмана.

Рассмотрим модель состояния технической системы, которая удовлетворяет принципу Гамильтона-Остроградского, а следовательно, справедлива запись дифференциального уравнения Лагранжа второго рода, форма которого может иметь вид

$$\ddot{x} = f(x, \dot{x}, z), \quad x(0) = x_0, \quad \dot{x}(0) = \dot{x}_0, \quad (1)$$

где  $x \in R^n$  – вектор обобщенных координат;

$\dot{x} \in R^n$  – вектор обобщенных скоростей;

$z \in R^m$  – вектор неизвестных постоянных параметров;

$f$  – вектор-функция непрерывная вместе со своими частными производными;

$n, m$  – натуральные числа.

При этом динамика идентифицируемых параметров  $z$  в процессе поиска их действительных значений описывается уравнением

$$\dot{z} = \eta; \quad z(0) = z_0, \quad (2)$$

где  $\eta \in R^m$  – вектор неизвестных неслучайных возмущений.

Уравнение наблюдения имеет вид

$$y = H(x, t) + n(t), \quad (3)$$

где  $y \in R^k$  – вектор наблюдения;

$H(x, t)$  – непрерывная вместе с частными производными вектор-функция;

$k$  – натуральное число;

$n(t)$  – вектор белого гауссовского шума наблюдений с известными локальными характеристиками.

Критерий качества процесса идентификации определяется условием минимума функционала невязки

$$J_1 = \frac{1}{2} \int_0^T [y - H(\hat{x}(\hat{z}), t)]^T N^{-1} [y - H(\hat{x}(\hat{z}), t)] dt \rightarrow \min, \quad (4)$$

где  $N$  – матрица односторонней спектральной плотности шума наблюдения.

Требуется найти значения действительных параметров  $z$ , обеспечивающих минимум (4) при ограничениях (1) – (3). Решение, ввиду некорректности, требует построения расширенного функционала, учитывающего совместно ограничение в форме действия по Гамильтону и стабилизирующий функционал А. Н. Тихонова [1, 2]

$$J^\alpha [z, x] = J_1 + \mu \int_{t_0}^{t_1} (T + A) dt + \alpha \frac{1}{2} \int_0^T \eta^T(t) \eta(t) dt, \quad (5)$$

где  $\mu$  – множитель Лагранжа;

$\alpha$  – параметр регуляризации.

Уравнения алгоритма идентификации параметров состояния технических систем ракетных комплексов. Поиск необходимого условия минимума (5) требует рассмотрения приращения функционала в зависимости от игольчатого варьирования возмущения  $\eta(t)$ , откуда условие минимума (5) вытекает в форме двухточечной краевой задачи.

Применение, к которой инвариантного погружения, позволит получить уравнения алгоритма идентификации на основе объединенного принципа максимума и итерационной регуляризации

$$\begin{aligned} \dot{\hat{z}}_k &= P_k G_k^T \frac{\partial H^T}{\partial \hat{x}} N^{-1} \sum_{i=1}^k \gamma_i^k (y - H(\hat{x}_i(\hat{z}_i), t)), \quad \hat{z}_i(0) = \hat{z}(0) \\ \dot{P}_k &= I - P_k G_k^T \frac{\partial}{\partial \hat{x}} \left\{ \frac{\partial H^T}{\partial \hat{x}} N^{-1} \sum_{i=1}^k \gamma_i^k (y - H(\hat{x}_i(\hat{z}_i), t)) \right\} G_k P_k, \\ \dot{G}_k &= \frac{\partial f}{\partial \hat{x}} G_k + \frac{\partial f}{\partial \hat{x}} G_k + \frac{\partial f}{\partial \hat{z}}, \quad G_i(0) = \dot{G}_i(0) = 0, \\ \ddot{\hat{x}}_k &= f(\hat{x}_k, \dot{\hat{x}}_k, \hat{z}_k) - \mu^{-1} \frac{\partial H^T}{\partial \hat{x}} N^{-1} (y - H(\hat{x}_k(\hat{z}_k), t)), \\ P_i(t_0) &= P(0), \quad \hat{x}_i(0) = x(0), \quad \dot{\hat{x}}_i(0) = \dot{x}(0), \quad i = \overline{0, k}. \end{aligned} \quad (6)$$

Проведем идентификацию параметра ТС в виде оценки приведенного управляющего момента  $m$  системы ориентации и стабилизации летательного аппарата, процесс вращения которого вокруг центра масс может быть описан системой дифференциальных уравнений

$$\begin{aligned} \dot{x} &= [\dot{x}_0 \quad \dot{x}_1]^T = f(x, m, t) = [x_1 \quad Um]^T, \quad \dot{m} = \eta; \\ x_0(0) &= 0,5, \quad x_1(0) = 3, \quad m(0) = 0, \end{aligned} \quad (7)$$

где  $x_0 = \omega$  – угловая скорость;

$x_1 = \dot{x}_0 = \phi$  – угол;

$U$  – функция управления.

Уравнение наблюдения имеет вид

$$y = H(x, t) + n(t) = \begin{bmatrix} k_\omega & 0 \\ 0 & k_\phi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_0 \\ x_1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Psi \\ v \end{bmatrix}, \quad (8)$$

где  $k_\phi = k_\omega = 1$  – передаточные коэффициенты;  
 $\Psi, v$  – погрешности измерений.

Требуется идентифицировать приведенный управляющий момент  $m = 1,29$  при общей форме функции управления представленной в [3] и условии минимума целевого функционала

$$J_1 = \frac{1}{2} \int_0^T [y - H(\hat{x}(\hat{m}), t)]^T N^{-1} [y - H(\hat{x}(\hat{m}), t)] dt \rightarrow \min, \quad (9)$$

С учетом использования разработанного алгоритма (6) и следующих начальных данных  $\phi_{cp} = -0,5$ ,  $\omega_{cp} = 2,9$ ,  $\mu^{-1} = 6,7$ ,  $\alpha^{-1} = 1$  получим, путем имитационного моделирования в среде *MathCAD v.14.0*, следующие оценки приведенного управляющего момента в сравнении с фильтром Калмана, показано на рисунке 1.

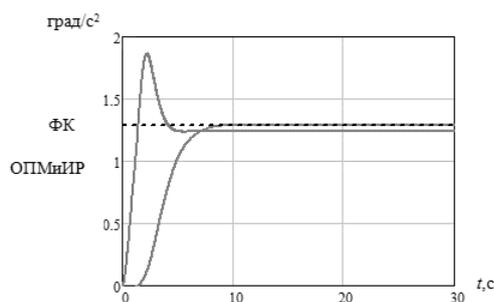


Рисунок 1. Сравнительный анализ идентификации приведенного управляющего момента  $m$  разработанным методом и ФК

### Заключение.

Относительная погрешность оценок составляет соответственно  $\delta_{\text{ОПМИИР}} = 0,067\%$ ,  $\delta_{\text{ФК}} = 0,603\%$  в установившемся режиме. Анализ полученных данных позволяет сделать вывод, о том, что ФК уступает разработанному алгоритму по точности оцениваемого параметра.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Костоготов, А. А. Метод идентификации параметров голономных систем на основе аппарата асинхронного варьирования / А. А. Костоготов // Теория и системы управления. – 2003. – №2. – С. 86–92.
2. Костоготов, А. А. Цифровая интеллектуальная измерительная процедура / А. А. Костоготов // Измерительная техника. – 2001. – №1. – С. 8-14.
3. Мороз, В. И. Решение задач математической обработки результатов телеизмерений: учебное пособие / В. И. Мороз, Е. К. Ромашенко, А. Ю. Потюпкин. – Москва, 2001. – 163с.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПОСТАНОВКИ ЗАДАЧИ СИНТЕЗА СТОХАСТИЧЕСКОГО  
ФИЛЬТРА, ПОЛУЧЕННОГО С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРИБЛИЖЕНИЯ  
АНАЛИТИЧЕСКОГО РЕШЕНИЯ КВАЗИДЕТЕРМИНИСТСКОЙ ЗАДАЧИ  
СТРУКТУРНОГО СИНТЕЗА**

Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени ФГБОУ ВО  
«Московский технический университет связи и информатики»,  
г. Ростов-на-Дону, Россия<sup>1</sup>  
Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Россия<sup>2</sup>

Ключевые слова: стохастический фильтр, квазидетерминистская задача, уравнения Лагранжа, идентификация.

В данной статье ставится цель исследований – повышение эффективности функционирования алгоритмов идентификации в сравнении с традиционными. Использование существующего научно-методического аппарата решения некорректных обратных измерительных задач не обеспечивает требуемого баланса между конструктивностью, точностью и быстродействием вычислительных процедур идентификации.

V.I. Yukhnov<sup>1</sup>, M.V. Kravchina<sup>2</sup>, R.S. Alekseev<sup>2</sup>

**STUDY OF STOCHASTIC FILTER SYNTHESIS PROBLEM STATEMENT  
OBTAINED USING APPROXIMATION OF ANALYTICAL SOLUTION OF QUASI-  
DETERMINISTIC STRUCTURAL SYNTHESIS PROBLEM**

North Caucasus branch of Moscow Technical University  
of Communications and Informatics,  
Rostov-on-Don, Russia<sup>1</sup>  
Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia<sup>2</sup>

Key words: stochastic filter, quasi-deterministic problem, Lagrange equations, identification.

In this paper, the aim of the research is to improve the efficiency of identification algorithms in comparison with traditional ones. The use of the existing scientific and methodological apparatus for solving incorrect inverse measurement problems does not provide the required balance between the constructability, accuracy and speed of computational identification procedures.

**Введение.**

В настоящее время микромеханические датчики находят широкое применение в системах управления и навигационных системах малогабаритных беспилотных летательных аппаратов, именно они в большой степени определяют качество управления и точность решения навигационных задач в условиях, когда системы *GPS* или ГЛОНАСС не работоспособны. Поэтому к погрешностям их измерений предъявляются жесткие требования. В связи с этим используемые при обработке измерительной информации математические модели таких датчиков должны отличаться высокой степенью адекватности.

Существуют различные варианты представления уравнений состояния первичных измерительных преобразователей. Однако поскольку на результаты измерений ускорений существенное влияние оказывают динамические погрешности, то в качестве

---

математических моделей протекающих измерительных процессов естественно выбрать дифференциальные уравнения Лагранжа второго рода или Максвелла–Лагранжа, которые следуют из принципа Гамильтона–Остроградского.

На стадии проектирования акселерометров параметры его математической модели определяются из условия минимума ошибок измерений. Однако при изготовлении первичных измерительных преобразователей могут присутствовать скрытые дефекты. Их диагностика относительно сложна и осуществляется, как правило, лишь после окончательной сборки всего изделия. В конечном итоге это приводит к его удорожанию. Даже если параметры датчика при выпуске известны, то с течением времени они изменяются из-за старения элементов, что требует поверки или калибровки средства измерений. Кроме того, их изменение может быть обусловлено нештатными режимами функционирования и воздействием различных внешних факторов. Таким образом, ситуация параметрической определенности не является типичной для практических измерительных задач.

Совокупность рассмотренных проблем приводит к постановке нелинейной обратной некорректной задачи, решение которой определяется алгоритмом оценки входного измерительного сигнала с текущей идентификацией параметров математической модели первичного измерительного преобразователя [1 – 4].

Наибольшее распространение получили методы идентификации, основанные на статистической теории синтеза. Однако использование подобных процедур связано с применением формальной процедуры расширения пространства состояний и необходимостью учета статистических корреляционных связей, которые, как правило, со временем уменьшаются и алгоритмы становятся малочувствительными к изменению параметров. Это ограничивает возможности таких процедур динамической обработки данных.

Широкое признание получили подходы с использованием градиентных методов идентификации. Получаемые на их основе оценки параметров динамических систем отличаются прозрачностью процедуры синтеза и достаточно высокой точностью, но эвристические процедуры выбора коэффициентов при градиенте делают эти методы математически слабо обоснованными, а увеличение точности связано с резким возрастанием вычислительной сложности.

Наряду со стандартными методами для построения систем параметрической идентификации применяются нейронные сети. Они позволяют в некоторых случаях получить высокую точность получаемых оценок и скорость сходимости к истинным значениям. При этом отсутствует необходимость в строгой математической спецификации модели, что ценно при анализе плохо формализуемых процессов. Однако для получения достоверных оценок необходим достаточно большой объем экспериментальных данных.

Таким образом, использование существующего научно-методического аппарата решения некорректных обратных измерительных задач не обеспечивает требуемого баланса между конструктивностью, точностью и быстродействием вычислительных процедур идентификации. Поэтому в проекте ставится цель исследований – повышение эффективности функционирования алгоритмов идентификации в сравнении с традиционными.

Известны полученные заявителями конструктивные результаты использования объединенного принципа максимума в задачах обработки измерительной информации [1 – 6]. В соответствии с ним относительно измерительных процессов выдвигается предположение, что они удовлетворяют принципу Гамильтона–Остроградского. Это позволяет сузить область допустимых решений до множества, удовлетворяющего данному вариационному принципу. Тогда для решения обратной измерительной задачи необходимо определить зависимость математической модели полной энергии от состояния и параметров акселерометра и найти минимум расширенного функционала, полученного путем аддитивной свертки критерия невязки и интеграла действия методом множителей

Лагранжа. В процессе анализа вариации требуется применение способов асинхронного, синхронного, игольчатого варьирования, что в совокупности с оригинальностью предлагаемого подхода определяет отличия полученных новых результатов от традиционных.

### Постановка задачи исследований.

Полагается, что для динамической системы выполняется принцип Гамильтона-Остроградского [7], в соответствии с которым обращается в нуль величина [1 – 6]

$$\delta'W = \delta S + \int_0^T \delta'A dt = \int_0^T [\delta L + Q\delta x] dt = 0, \quad (1)$$

где  $S$  – действие по Гамильтону за интервал времени  $[0, T]$ ;

$L$  – кинетический потенциал;

$A$  – работа вектора обобщенных внешних сил  $Q$ ;

$\delta x$  – вектор вариаций обобщенных координат, знак  $\delta'$  обозначает бесконечно малую величину, которая не является вариацией.

При решении обратных измерительных задач  $Q$  трактуется как причинная характеристика, которая приводит к появлению выходного измерительного сигнала  $x$  [1–6].

Из требования (1) следует справедливость дифференциальных уравнений Лагранжа второго рода [7, 8]

$$\frac{\partial L}{\partial x} - \frac{d}{dt} \left( \frac{\partial L}{\partial \dot{x}} \right) + Q = 0, \quad (2)$$

где  $x \in R^n$  – вектор обобщенных координат;

$\dot{x} \in R^n$  – вектор обобщенных скоростей;

$Q \in R^n$ ,  $n$  – натуральное число.

Пусть форма уравнений (2) известна и имеет следующий вид

$$\ddot{x} = f(x, \dot{x}, z); \quad x(0) = x_0; \quad \dot{x}(0) = \dot{x}_0, \quad (3)$$

где  $z \in R^m$  – вектор неизвестных постоянных параметров;

$f$  – вектор-функция непрерывна вместе со своими частными производными;

$m$  – натуральное число.

При этом предполагается, что рассматриваемая динамическая система записана относительно главных обобщенных координат  $x$ , для которых гессиан системы  $L_{\dot{x}\dot{x}}$  представляет собой единичную матрицу.

Действительно, поскольку кинетическая энергия по определению является положительно определенной квадратичной формой произвольных обобщенных скоростей  $\dot{q}_s$ , ее всегда можно привести к сумме квадратов главных обобщенных скоростей  $\dot{x}_s$  с помощью некоторого невырожденного линейного преобразования. Процедура поиска такого преобразования для общего случая динамических систем достаточно трудоемка, однако в приложениях при конструировании математических моделей реальных систем

коэффициенты инерции принимаются, как правило, постоянными и форма уравнений (3) встречается достаточно часто [1 – 3].

Предполагается, что система (3) асимптотически устойчива по Ляпунову [1].

Динамика идентифицируемых параметров  $z$  также удовлетворяет принципу Гамильтона – Остроградского. В соответствии с ним

$$\delta' S = \int_{t_0}^{t_1} (\delta\theta + \delta'a) dt = 0, \quad (4)$$

где  $\theta$  – кинетическая энергия динамики параметров;

$a$  – работа возмущения;

$\eta \in R^m$  – вектор неизвестных неслучайных возмущений, удовлетворяет требованиям физической реализуемости  $\eta(t) \in L_2^m[0, T]$ .

Тогда в общем виде можно записать

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial \theta}{\partial \dot{z}} \right) - \frac{\partial \theta}{\partial z} = \eta \quad (5)$$

Уравнение наблюдения имеет вид

$$y = H(x, t) + n(t), \quad (6)$$

где  $y \in R^k$  – вектор наблюдения;

$H(x, t)$  – непрерывная вместе с частными производными вектор-функция;

$k$  – натуральное число;

$n(t)$  – вектор белого гауссовского шума с известными локальными характеристиками

$$M[n(t)] = 0, \quad M[n(t)n^T(\tau)] = \frac{1}{2} N \delta(t - \tau);$$

$N$  – матрица односторонней спектральной плотности шума наблюдения;

$\delta(\cdot)$  – векторная дельта-функция.

Ставится задача определения оценки  $\hat{z}$  вектора  $z$  из условия минимума функционала невязки

$$J_1 = \frac{1}{2} \int_0^T [y - H(\hat{x}(\hat{z}), t)]^T N^{-1} [y - H(\hat{x}(\hat{z}), t)] dt \quad (7)$$

### Заключение.

Решение поставленной задачи требует построения расширенного функционала с учетом ограничений (1), (4). Поиск необходимого условия его минимума сводится к определению условий неотрицательности первой вариации расширенного функционала при использовании процедуры игольчатого варьирования.

---

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Костоглолов, А. А. Метод идентификации параметров голономных систем на основе аппарата асинхронного варьирования / А. А. Костоглолов // Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. – 2003. – № 2. – С. 86-92.
2. Костоглолов, А. А. Негладкий анализ в задачах обработки измерительной информации / А. А. Костоглолов, С. В. Лазаренко // Измерительная техника. – 2009. – №2. – С. 6-11.
3. Метод структурно-параметрической идентификации лагранжевых динамических систем в задачах обработки измерительной информации / А. А. Костоглолов, А. И. Костоглолов, С. В. Лазаренко, Б. М. Ценных // Измерительная техника. – 2014. – №2. – С. 32-36.
4. *Synthesis of algorithms for estimation of parameters and state of dynamic systems using additional invariants* / A. A. Kostoglov, I. V. Deryabkin, D. A. Andrashitov, S. V. Lazarenko, I. V. Pugachev // *2016 IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS)*. – 2016. – Vol. 0. – P. 1-5.
5. Костоглолов, А. А. Синтез модели процесса с нестационарными возмущениями на основе максимума функции обобщенной мощности / А. А. Костоглолов, А. А. Кузнецов, С. В. Лазаренко // Математическое моделирование. – 2016. – Т. 28. – №12. – С. 133-142.
6. Костоглолов, А. А. Синтез адаптивных систем сопровождения на основе гипотезы о стационарности Гамильтониана гиперповерхности переключения / А. А. Костоглолов, С. В. Лазаренко // Радиотехника и электроника. – 2017. – Т. 62. – №2. – С. 121-125.
7. Лурье, А. И. Аналитическая механика : учебное пособие / А. И. Лурье. – Москва : Государственное издательство физико-математической литературы, 1961. – 453 с.
8. Яблонский, А. А. Курс теории колебаний : учебное пособие / А. А. Яблонский, С. С. Норейко. – Москва : Высшая школа, 1975. – 248 с.

Ю.Д. Безуглов<sup>1</sup>, А.В. Кравчина<sup>2</sup>, А.Г. Юдин<sup>2</sup>

### ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМА НЕЛИНЕЙНОЙ КОРРЕКЦИИ НА ОСНОВЕ ОБЪЕДИНЕННОГО ПРИНЦИПА МАКСИМУМА И ОЦЕНКА ЕГО ЭФФЕКТИВНОСТИ

Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени ФГБОУ ВО «Московский технический университет связи и информатики», г. Ростов-на-Дону, Россия<sup>1</sup>  
Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Россия<sup>2</sup>

Ключевые слова: алгоритм нелинейности коррекции, принцип максимума, метрология.

В этой статье разбирается проблема обработки результатов динамических измерений, которая противоположна и относится к категории сложных. Методика коррекции системной погрешности преобразователей с использованием аппарата негладкого анализа предоставляет получить эффективную в плане высочайшей точности получаемых анализов, минимизации вычислительных затрат и времени перехода.

**RESEARCH OF NONLINEAR CORRECTION ALGORITHM BASED ON THE UNIFIED MAXIMUM PRINCIPLE AND EVALUATION OF ITS EFFICIENCY**

North Caucasus branch of Moscow Technical University  
of Communications and Informatics, Rostov-on-Don, Russia<sup>1</sup>  
Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia<sup>2</sup>

Key words: nonlinearity correction algorithm, maximum principle, metrology.

This article deals with the problem of processing the results of dynamic measurements, which is opposite and belongs to the category of complex. The method of correction of the system error of transducers using the apparatus of non-smooth analysis provides an effective in terms of the highest accuracy of the obtained analyses, minimization of computational costs and transition time.

**Введение.**

Для оптимизации метрологических характеристик средств измерительной аппаратуры необходимо оптимизировать их характеристики. Обработка измерительной информации осуществляется с помощью оптимальной обработки измерительной информации. Для них причинно-следственные связи являются обратными и сводятся к оцениванию некоторой функции по результатам динамических измерений [1, 2].

Обратная временная измерение – это выбор математической модели для количественного описания исследуемого процесса [3, 4]. Сверхсложность разнообразных физических систем заключается в том, что их динамические параметры описываются одинаковыми по форме дифференциальными уравнениями второго уровня. Их характеристики оцениваются после измерения [4]. Это определение принято называть экстремальными задачами. Они связаны с уравнением измерения и критерием оценки.

Из-за структуры преобразования измерений, решения этих задач в основном состоят во внедрении обратных связей по переменным состояниям динамической системы и изменении характера уже существующих зависимостей [3, 5, 6].

Разработки по получению обратной связи получили существенное развитие в рамках теории оптимального управления [6, 7]. Определить эти задачи возможно с помощью принципа максимума Л. С. Понтрягина, метода динамического программирования Р. Беллмана [7].

Более того, использование этих методов в целях решения обратных задач сопряжено с серией проблем. Использование метода динамического программирования связано с высокой мощностью множеств, появляющихся в результате решения уравнения Р. Беллмана. Именно поэтому далеко не всегда удается получить полезные предложения в форме закона управления. При этом принцип максимума Л.С. Понтрягина связан с трудностями. Основная проблема, это введение сопряженных переменных. С помощью чего можно решить две точки, которые имеют большую размерность [7], а полученные таким образом алгоритмы представляют собой лишь программы оптимального управления. Необходимо выполнить дополнительные сложные построения для решения задачи синтеза [7]. Несмотря на множество существующих специальных методов, задача синтеза является сложной. В соответствии с принципом максимума Л. Понтрягина, были получены отдельные законы управления для некоторых наиболее простых динамических систем [6-8].

Благодаря широкой популяризации в измерительной технике были найдено различные нестандартные методы, используемые для коррекции динамической погрешности, но их применение не позволяло средствам измерения достигнуть допустимой точности [3].

---

Для получения общего решения обратной измерительной задачи можно использовать метод, разработанный в рамках теории оптимального управления. Этот метод получил название объединенного принципа максимума [8, 9].

Этот принцип дает возможность получить оптимальное решение в смысле минимальной ошибки измерения и не требует решения краевой задачи. Его применение позволяет решить любую задачу, которая имеет краевую функцию.

Применение принципа Гамильтона - Остроградского, который является основой всех уравнений динамики объекта [10], позволяет создавать расширенный функционал.

Объединенный принцип максимума позволяет достичь необходимых условий для минимизации критерия оценки параметров исследуемого процесса.

### **Постановка задачи.**

С помощью дифференциального уравнения второй степени можно задать зависимость между входными и выходными измерительными сигналами устройства преобразования измерительной информации

$$\ddot{q} + b\dot{q} + k^2q = Y(t), \quad (1)$$

где  $q = q(t)$  – выходной измерительный сигнал;

$b, k^2$  – коэффициент уравнения, физический смысл которого зависит от конкретного случая;

$Y = Y(t)$  – входной измерительный сигнал.

Уравнение измерения имеет вид

$$z(t) = H(q, t) + n(t), \quad (2)$$

где  $z(t)$  – результат измерений;

$H(q, t)$  – известная функция;

$n(t)$  – случайные воздействия с известной интенсивностью.

Известно, что уравнение (1) есть компактная форма представления дифференциального уравнения Лагранжа второго рода, также называемого уравнением Максвелла-Лагранжа в теории электрических цепей [4, 10]

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{q}} \right) - \frac{\partial T}{\partial q} = Q, \quad (3)$$

где  $T = T(q, \dot{q})$  – энергетическая характеристика, аналогичная кинетической энергии [7];

$Q$  – входной измерительный сигнал, который имеет смысл обобщенной силы.

Пусть имеет место ограничение

$$|Q| \leq K \neq \infty, \quad (4)$$

где  $K = const$ .

Формулировка требования (4) состоит в том, что при проведении измерений область изменения обычно известна. Как правило, это определяется на основе априорных

предположений о характере изучаемого физического процесса или условиях проведения экспериментов.

Как видно из уравнения (3), оно является выражением вариационного принципа Гамильтона-Остроградского, согласно которому выполняется равенство нуля элементарному значению.

$$\delta'R = \int_{t_0}^{t_k} (\delta T + \delta'A) = 0, \quad (5)$$

Тогда интеграла действия

$$R = \int_{t_0}^{t_k} (T + A) dt, \quad (6)$$

$$A = \int_{q(t_0)}^{q(t_k)} Q dq$$

где  $Q$  – мера действия входного измерительного сигнала, аналогичная работе обобщенных сил;

$\delta'$  – обозначает бесконечно малую величину, зависящую от  $q$

$\delta q$  – вариации выходного измерительного сигнала, но не являющуюся вариацией величины  $A$ .

В терминах и определениях по метрологии РМГ 29-99 определено, что измерительная задача заключается в определении значений физической величины путем ее измерения с требуемой точностью в данных условиях. Поэтому сформулируем обратную измерительную задачу [1, 2] так определить оценки  $\hat{Q}$  входного измерительного сигнала  $|Q| \leq K$  устройства преобразования измерительной информации (3), соответствующие минимуму целевого функционала, характеризующего погрешность измерения

$$J = \frac{1}{2N} \int_{t_0}^{t_k} [z(t) - H(\hat{q}, t)]^2 dt \rightarrow \min, \quad (7)$$

где  $N$  – интенсивность случайных воздействий.

Такое название подчеркивает, что измерительные и обратные задачи имеют одинаковый смысл, причем последние возникли из необходимости интерпретации результатов тех или иных измерений [1, 2]. Обозначим для краткости  $F(\hat{q})$  подынтегральное выражение функционала погрешности измерений (7).

### Теорема объединенного принципа максимума.

Если входной измерительный сигнал  $\hat{Q}(\hat{q}, \dot{\hat{q}})$  устройства преобразования измерительной информации (3) удовлетворяет ограничению (4) и доставляет минимум целевому функционалу (7), то существует такой постоянный множитель Лагранжа  $\lambda$ , что в любой момент времени  $t \in [t_0, t_k]$  скалярная функция  $\Phi$  переменных  $(q, \dot{q})$  достигает в точке  $(\hat{q}(t), \dot{\hat{q}}(t))$  максимума

$$\Phi(\hat{q}(t), \dot{\hat{q}}(t)) = \max_{|Q| \leq K} \Phi(q(t), \dot{q}(t), \lambda) = \max_{|Q| \leq K} [\lambda Q(q, \dot{q}) + [z(t) - H(q, t)]] \dot{\hat{q}} \quad (8)$$

Выражение для синтезирующей функции принимает вид

$$\mu = - \frac{[z(t) - H(q, t)] p}{2|A + |Q|q + C|} \quad (9)$$

### Пример обратной измерительной задачи.

Поставим задачу оценки входного измерительного сигнала по результатам динамических измерений.

Рассмотрим случай измерения температуры. Математическая модель устройства преобразования измерительной информации представляется дифференциальным уравнением Лагранжа второго рода

$$\begin{aligned} \ddot{u} + b\dot{u} + cu &= Y(t), \\ b &= \lambda_t \left( \frac{S_o}{c_o} + \frac{S_o}{c_o} \right) + \alpha_0 \frac{S_o}{c_o}, \quad c = \lambda_t \frac{S_o}{c_o} \alpha_0 \frac{S_o}{c_o}, \end{aligned} \quad (10)$$

где  $u$  – выходной измерительный сигнал, например, напряжение;

$Y(t)$  – измеряемая температура;

$\lambda_t$  – коэффициент теплопроводности промежутка между чувствительным элементом и оболочкой;

$S_o, S_o$  – площади поверхностей оболочки и чувствительного элемента;

$c_o, c_o$  – полные теплоемкости оболочки и чувствительного элемента;

$\alpha_0$  – коэффициент конвекционного обмена оболочки со средой.

Пусть уравнение измерения имеет вид

$$z(t) = u(t). \quad (11)$$

Требуется найти такие оценки  $\hat{Y}(t)$ , что

$$J = 0,5 \int_{t_0}^{t_k} [z(t) - u(t, \hat{Y})]^2 dt \rightarrow \min \quad (12)$$

Решим задачу на основе объединенного принципа максимума. При этом необходимо иметь в виду, что для голономной системы характеристика, аналогичная кинетической энергии, определяется выражением

$$T = 0,5a\dot{u}^2, \quad (13)$$

где  $a$  – некоторый неотрицательный коэффициент, характеризующий инерционные свойства динамической системы (10). Поэтому для  $\hat{P}$  можно записать

$$\hat{p} = \frac{\partial T}{\partial \dot{u}} = a\dot{u} \quad (14)$$

Так как мера действия входного измерительного сигнала  $A$ , как правило, не известна, отнесем ее к  $Y$ . Тогда решение обратной задачи (10)-(12) на основании (8) и (9) принимает вид

$$\ddot{u} + b\dot{u} + c\hat{u} = -\lambda^{-1} \left[ \frac{a\dot{u}^2 |(z - \hat{u})|}{2|Y|\dot{u}} \text{sign}\dot{u} + (z - \hat{u}) \right]. \quad (15)$$

Это уравнение оценивания  $Y(t)$  по результатам измерений  $z(t)$ .

При решении задач коррекции динамической погрешности широкое применение находит квазиоптимальная обратная связь

$$\ddot{u} + b\dot{u} + c\hat{u} = k_p (\hat{u} - z) + k_o (\dot{\hat{u}} - \dot{z}) + k_u \int_{t_0}^{t_k} (\hat{u} - z) dt, \quad (16)$$

где  $k_p$  – коэффициент передачи;

$k_o$  – постоянная дифференцирования;

$k_u$  – постоянная интегрирования.

### **Заключение.**

Практическое применение предложенный в статье метод решения обратной измерительной задачи может найти в авиационной, космической, оборонной промышленности, например, в системах обработки информации, в приборостроении, к примеру, в задачах обработки измерительной информации и устройствах ее осуществления, таких как, автоматические регуляторы или информационно-измерительные системы.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Воскобойников, Ю. Е. Устойчивые методы решения обратных измерительных задач : монография / Ю. Е. Воскобойников. – Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2007. – 184 с.
2. Тихонов, А.Н. Методы решения некорректных задач : учебное пособие / А. Н. Тихонов, В. Я. Арсенин. – Москва : Наука, 1986. – 288 с.
3. Шестаков, А. Л. Коррекция динамической погрешности измерительного преобразователя линейным фильтром на основе модели датчика / А. Л. Шестаков // Издательство вузов СССР. Приборостроение. – 1991. – №4. – С. 8-13.
4. Яблонский, А. А. Курс теории колебаний : учебное пособие / А. А. Яблонский, С. С. Норейко. – Москва : Высшая школа, 1975. – 248 с.
5. Кнеллер, В. Ю. Преобразование физических величин: специфика, связи с другими процессами, пути решения основных задач / В. Ю. Кнеллер // Датчики и системы. – 2007. – №12. – С. 58-67.
6. Александров, В.М. Применение оптимального управления для улучшения характеристик аналоговых измерительных приборов / В. М. Александров, А. А. Нестеров // Автометрия. – 1967. – №6. – С. 105-111.

- 
7. Красовского, А. А. Справочник по теории автоматического управления : методическое пособие / А. А. Красовского. – Москва : Наука, 1987. – 712 с.
  8. Костоглотов, А. А. Синтез оптимальных по быстродействию систем на основе объединенного принципа максимума / А. А. Костоглотов, С. В. Лазаренко // Информационно-измерительные и управляющие системы. – 2007. – №12. – С. 34-40.
  9. Костоглотов, А. А. Объединенный принцип максимума в задаче синтеза оптимального управления нелинейными системами / А. А. Костоглотов, С. В. Лазаренко // Автоматика и вычислительная техника. – 2007. – №5. – С. 52-61.
  10. Лурье, А. И. Аналитическая механика : учебное пособие / А. И. Лурье. – Москва : Государственное издательство физико-математической литературы, 1961. – 453 с.

**О.С. Лабунько<sup>1</sup>, М.В. Кравчина<sup>2</sup>, М.А. Посухов<sup>2</sup>**

### **АНАЛИЗ МЕТОДА СИНТЕЗА СИСТЕМ ФАЗОВОЙ АВТОПОДСТРОЙКИ ЧАСТОТЫ НА ОСНОВЕ ОБЪЕДИНЕННОГО ПРИНЦИПА МАКСИМУМА И ИНВАРИАНТНОГО ПОГРУЖЕНИЯ**

Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени ФГБОУ ВО «Московский технический университет связи и информатики», г. Ростов-на-Дону, Россия<sup>1</sup>  
Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Россия<sup>2</sup>

Ключевые слова: фазовая автоподстройка частоты, принцип максимума, инвариантное погружение.

Данная статья представляет собой простой и результативный способ решения обратной задачи, основанный на нелинейной системе фазовой автоподстройки частоты, обеспечивающий синтез корректирующей петли стабилизации.

**O.S. Labunko<sup>1</sup>, M.V. Kravchina<sup>2</sup>, M.A. Posukhov<sup>2</sup>**

### **ANALYSIS OF THE METHOD OF SYNTHESIS OF PHASE LOCKED-IN SYSTEMS BASED ON THE COMBINED PRINCIPLE OF MAXIMUM AND INVARIANT IMMERSION**

North Caucasus branch of Moscow Technical University  
of Communications and Informatics, Rostov-on-Don, Russia<sup>1</sup>  
Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia<sup>2</sup>

Key words: phase frequency autotuning, maximum principle, invariant immersion.

This paper presents a simple and effective way to solve the inverse problem based on a nonlinear phase-tuned frequency autotuning system that provides synthesis of a corrective stabilization loop.

#### **Введение.**

По мере развития радиотехники и электросвязи, система фазовой подстройки частоты (ФАПЧ) стала широко распространенной. Проектирование часто включает выбор способа и ее характеристик при назначенных правилах применения, чтобы она положительнейшим образом соответствовала предъявляемым требованиям. Широко распространены системы фильтрации, которые характеризуются хорошими фильтрующими свойствами. Они описываются нелинейными дифференциальными

уравнениями второго и более высоких порядков. Если они строятся, то основное внимание уделяют решению проблемы определения условий стабильности требуемого режима и качеству его установления. Известны многие методы решения задачи синтеза, которые обеспечивают рациональное решение, но не оптимальное решение [1-3].

В то же время следует отметить, что использование методов теории оптимизации не получило широкого распространения. По этой причине в теории оптимального управления нет общего подхода, который мог бы помочь решить задачу синтеза при описании объекта нелинейной математической моделью или движении происходит с относительно большими отклонениями от программы.

### Постановка задачи.

Исследование показывает, что задача синтеза оптимального решения в системе ФАПЧ может быть решено при использовании объединенного принципа максимумов. Его использование дает возможность получить оптимальные, конструктивные и достаточно простые решения [4]. Математическое моделирование демонстрирует хорошую эффективность применения объединения принципов минимума для повышения точности вычислений, уменьшения сложности процедуры синтеза и вычислительных затрат в сравнении с классическими операциями теории оптимизации.

В системе используются нелинейные уравнения ФАПЧ

$$\ddot{\phi} = U \quad (1)$$

Оно было найдено А. Фуллером, который получил оптимальное по быстродействию итерационное решение задачи синтеза [2, 4]

$$\ddot{\phi} = |U| \operatorname{sign} \left[ \phi - \frac{k\dot{\phi}|\dot{\phi}|}{2|U|} \right], \quad (2)$$

где  $\phi$  – сдвиг фаз;

$|U|$  – допустимое значение управляющей функции;

$k \approx 0,4446$  – константа, точкой обозначена производная по времени.

При нелинейной математической модели использование такой процедуры невозможно.

Такой способ предполагает использование однозвенного  $RC$ -фильтра [2]

$$\ddot{\phi} = \gamma - 2\delta\dot{\phi} - F(\phi), \quad (3)$$

где  $\delta = \delta(R, C, E)$  – параметр, зависящий от наибольшего значения сигнала ошибки  $E$ , сопротивления  $R$  и емкости  $C$ .

$F(\phi)$  – периодическая функция;

$\gamma = \gamma(\omega_0, \omega, E)$  – параметр, зависящий от частоты автоколебаний подстрочного генератора  $\omega_0$ , частоты сигнала  $\omega$  и наибольшего значения сигнала ошибки.

В структуре (3) есть недостатки, которые необходимо устранить. Чтобы использовать методы классической теории оптимальных управляющих, построение корректирующей петли авторегулирования является трудным и сложным. Поэтому синтез

системы ФАПЧ в этом случае сводится к поиску параметров для улучшения характеристик системы ФАПЧ.

Обозначение максимальной системы для синтеза оптимальной системы ФАПЧ, основанной на объединенном принципе максимума. Набор коррекционных цепей, которые должны быть подобраны таким образом, чтобы они были максимально эффективны, является задачей оптимального управления. Чтобы переместить динамическую систему, необходимо найти управляющую функцию  $U(\phi, \dot{\phi}) \in \bar{G}_U$ , которая бы обеспечивала движение

$$\ddot{\phi} = \gamma - 2\delta\dot{\phi} - F(\phi) + U \quad (4)$$

Из начального положения, в котором находится точка фазового пространства  $(\phi(t_0), \dot{\phi}(t_0))$  в конечное  $(\phi(t_1), \dot{\phi}(t_1))$ , как

$$J = \frac{1}{2} \int_{t_0}^{t_1} \dot{\phi}^2 dt \rightarrow \min \quad (5)$$

При использовании объединенного принципа максимума, можно получить следующее выражение [4]

$$\ddot{\phi} = \gamma - 2\delta\dot{\phi} - F(\phi) + \lambda^{-1} |U| \operatorname{sign} \left[ -\frac{D|\dot{\phi}|\dot{\phi}}{L|\dot{\phi}| + \varepsilon} - \phi \right], \quad (6)$$

где  $\lambda^{-1}$  – неопределенный множитель Лагранжа,  $|U| = 5$ ;

$L$  – константа, зависящая от формы линии переключения;

$\varepsilon$  – константа, определяющая сдвиг линий переключения в фазовом пространстве;

$D$  – константа, определяющая диаметр эллипса в фазовом пространстве.

Оценка эффективности проведена на основе математического моделирования, при этом принято:  $\lambda^{-1} = 1$ ,  $L = 4$ ,  $\varepsilon = 0,001$ ,  $D = 1$ ,  $2\delta = 0,5$ ,  $\gamma = 0,001$ ,  $F(\phi) = 0,02 \sin \phi$ ,  $\phi(0) = -10$ ,  $\dot{\phi}(0) = 5$  все величины приведены в безразмерных единицах.

### Заключение.

В моделировании было подтверждено [4], что применение объединенного принципа максимума – это наиболее вероятный вариант. Позволяет увеличить быстродействие в сравнении со стандартным ФАПЧ, который имеет один однозвенный RC-фильтр. С помощью процедуры А. Фуллера можно синтезировать корректирующую петлю авторегулирования для нелинейных систем ФАПЧ.

Для этого нужно сказать следующее, решение такой задачи на основе использования классических методов теории оптимального управления возможно лишь в частном случае. Что позволяет снизить вычислительные затраты в сравнении с принципом максимума Л. С. Понтрягина, так как не требуется решение сложной двухточечной краевой задачи.

---

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шахдильян, В. В. Системы фазовой автоподстройки частоты : учебное пособие / В. В. Шахдильян, А. А. Ляховский. – Москва : Связь, 1972. – 447 с.
2. Мартынов, Б. А. Теория колебаний. Математические модели динамических систем : учебное пособие / Б. А. Мартынов. – Санкт-Петербург : СПбГПУ, 2002. – 56 с.
3. Гейко, Г. В. Об управлении системой фазовой автоподстройки частоты / Г. В. Гейко // Системы обработки информации. – 2010. – №9(90). – С. 120-123.
4. Костоглотов, А.А. Объединенный принцип максимума в информационных технологиях анализа и синтеза : монография / А. А. Костоглотов, А. И. Костоглотов, С. В. Лазаренко. – Ростов-на-Дону : РАСЮРГУЭС, 2010. – 165 с.

**И.А. Енгибарян<sup>1</sup>, А.В. Кравчина<sup>2</sup>, А.Н. Зубов<sup>2</sup>**

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АЛГОРИТМА ФИЛЬТРАЦИИ КАЛМАНОВСКОЙ СТРУКТУРЫ В СИСТЕМАХ СВЯЗИ**

Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени ФГБОУ ВО «Московский технический университет связи и информатики», г. Ростов-на-Дону, Россия<sup>1</sup>  
Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Россия<sup>3</sup>

Ключевые слова: идентификация, обратная некорректная задача, итерационная регуляризация.

В данной статье был проведен анализ эффективности функционирования, предложенного итеративного регуляризованного алгоритма обработки информации на основе решения задачи оценки параметров динамических систем. Сделаны выводы и предложены рекомендации для их практического применения.

**I.A. Engibaryan<sup>1</sup>, A.V. Kravchina<sup>2</sup>, A.N. Zubov<sup>2</sup>**

### **RESEARCH OF EFFICIENCY OF APPLICATION OF ALGORITHM KALMAN STRUCTURE FILTERING ALGORITHM IN COMMUNICATION SYSTEMS**

North Caucasus branch of Moscow Technical University  
of Communications and Informatics, Rostov-on-Don, Russia<sup>1</sup>  
Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia<sup>2</sup>

Key words: identification, inverse incorrect problem, iterative re-regularization.

In this article we analyzed the effectiveness of the proposed iterative regularized information processing algorithm based on solving the problem of assessing the parameters of dynamic systems. Conclusions were made and recommendations for their practical application were offered.

#### **Введение.**

Исследования [1] показали, что для повышения точности измерений информационно-измерительных систем (ИИС) необходимо решать задачу одновременной идентификации параметров объекта измерений и параметров первичных измерительных преобразователей ИИС.

Существующие алгоритмы идентификации ИИС, построенные на базе классических методов статистического синтеза, в условиях априорной неопределенности не всегда обеспечивают получение требуемой точности сходящихся оценок искомых параметров [2]. В сложившейся ситуации задача синтеза алгоритмов идентификации, обеспечивающих в условиях априорной неопределенности получение сходящихся высокоточных оценок, измеряемых ИИС параметров и параметров компонентов ИИС, весьма актуальна.

Помимо известных подходов к синтезу алгоритмов идентификации, основанных на классических методах обработки информации, существуют подходы, основанные на: стохастической аппроксимации; принципе регуляризации [3]; концепции обратных задач динамики [4]. Из перечисленных подходов наиболее перспективным представляется подход, основанный на принципе регуляризации, поскольку задача идентификации параметров относится к обратным задачам, которые, как правило, являются некорректно поставленными.

Пусть динамика контролируемых ИИС параметров описывается системой уравнений первого порядка

$$\frac{dx}{dt} + f(x,t) = \eta, \quad x(0) = x^0, \quad x \in R^n, \quad \eta \in R^n, \quad (1)$$

где  $x(t)$  – вектор параметров;  
 $\eta(t)$  – неизвестное внешнее возмущение;  
 $f(x,t)$  – переходная функция системы, непрерывная вместе с производными по совокупности переменных.

Уравнение наблюдения имеет вид

$$y(t) = H(x,t) + n(t), \quad y \in R^m, \quad n \in R^m, \quad (2)$$

где  $H(x,t)$  – сигнальная функция, непрерывная по совокупности переменных;  
 $n(t)$  – вектор белого гауссовского шума с известными локальными характеристиками;  
 $\delta(t)$  – векторная дельта-функция.

Ставится задача синтеза алгоритма получения оценки  $\hat{x}(t)$ , оптимальной в смысле минимума неотрицательного функционала

$$J[\hat{x}(t)] = \frac{1}{2} \int_0^t (y - H(\hat{x}, s))^T N^{-1} (y - H(\hat{x}, s)) ds. \quad (3)$$

### **Алгоритм идентификации параметров информационно-измерительных систем.**

В силу непрерывности переходной функции  $f(x,t)$  решения уравнения (1) непрерывно зависят от  $\eta(t)$  [5]. Поэтому задача определения оценки  $\hat{x}(t)$ , доставляющей минимум (3), равносильна задаче определения

$$\eta^*(t) = \arg \min_{\eta} J[\eta] \quad (4)$$

Задача (1), (2), (4) согласно [5] является некорректно поставленной и относится к задачам типа оптимального управления. При решении использован сглаживающий функционал

$$J^\alpha [\hat{x}, \eta] = J[\hat{x}] + \alpha \Omega[\eta],$$

$$\Omega[\eta] = \frac{1}{2} \int_0^t \eta^T(s) \eta(s) ds, \quad (5)$$

где  $\Omega[\eta]$  – стабилизирующий функционал [5];  
 $\alpha$  – параметр регуляризации, который традиционно [3] для обеспечения сходимости и устойчивости подчинен условиям

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \alpha_n = 0, \quad \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{k=1}^n \alpha_k = \infty, \quad \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{k=1}^n \alpha_k^2 < \infty. \quad (6)$$

В результате решения задачи (1),(2),(4) получена система уравнений итеративного алгоритма идентификации

$$\begin{aligned} \frac{d\hat{x}_1}{dt} + f(\hat{x}_1, t) &= -P_1 \gamma_1^1 b(\hat{x}_1, t), \quad \frac{dP_1}{dt} = \frac{\partial f}{\partial x} P_1 + P_1 \frac{\partial f^T}{\partial x} + \gamma_1^1 P_1 \frac{\partial b(\hat{x}_1, t)}{\partial x} P_1 + I, \\ \frac{d\hat{x}_2}{dt} + f(\hat{x}_2, t) &= -P_1 \left[ \gamma_1^2 b(\hat{x}_1, t) + \gamma_2^2 b(\hat{x}_2, t) \right], \\ \frac{dP_2}{dt} &= \frac{\partial f}{\partial x} P_2 + P_2 \frac{\partial f^T}{\partial x} + \gamma_2^2 P_2 \frac{\partial b(\hat{x}_2, t)}{\partial x} P_2 + I, \\ \frac{d\hat{x}_{k+1}}{dt} + f(\hat{x}_{k+1}, t) &= -P_{k+1} \sum_{i=1}^{k+1} \gamma_i^{k+1} b(\hat{x}_i, t), \\ \frac{dP_{k+1}}{dt} &= \frac{\partial f}{\partial x} P_{k+1} + P_{k+1} \frac{\partial f^T}{\partial x} + \gamma_{k+1}^{k+1} P_{k+1} \frac{\partial b(\hat{x}_{k+1}, t)}{\partial x} P_{k+1} + I, \end{aligned} \quad (7)$$

где  $\gamma_i^k = \alpha_{i-1} \left[ 1 - \alpha_i^2 \right] \dots \left[ 1 - \alpha_{k-1}^2 \right], \quad i = \overline{1, k};$

$I$  – единичная матрица.

Жесткое задание параметра  $\alpha$  не учитывает характер внешних воздействий. Для получения интеллектуального алгоритма, способного адаптироваться к внешним воздействиям, необходимо согласовать значения получаемых параметров регуляризации с измерительной информацией [6]. Это достигается путем определения параметра регуляризации с использованием градиентных методов при условии минимума функционала невязки (3).

Выражение для параметра регуляризации, полученное с использованием метода минимальных ошибок

$$\alpha_0 = 1, \quad \alpha_{k+1} = \frac{\int_0^t [y - H(\hat{x}_k(s), s)]^T [y - H(\hat{x}_k(s), s)] ds}{\int_0^t \int_s^t \left[ K^T N^{-1} \frac{\partial H^T}{\partial x} [y - H(\hat{x}_k(s), x_k(\tau), \tau)] \right]^2 d\tau ds}. \quad (8)$$

Система уравнений (7) в совокупности с (8) представляет собой интеллектуальный алгоритм идентификации на основе метода минимальных ошибок,

Интеллектуальность алгоритма заключается в определении связи между значением параметра регуляризации и текущей измерительной информацией.

Для определения свойств разработанного алгоритма было проведено численное моделирование. Синтезированный алгоритм использовался для решения задачи определения неизвестного параметра  $d = 0,2$ , определяемого конструктивными особенностями первичных измерительных преобразователей ИИС, описываемых дифференциальным уравнением

$$\ddot{x} + 10d \dot{x} + 25x - 12,5 = 0.$$

Результаты моделирования в виде графиков оценок  $\hat{d}_1, \hat{d}_2, \hat{d}_3, \hat{d}_2^*, \hat{d}_3^*$  идентифицируемого параметра  $d$  представлены на рисунке 1

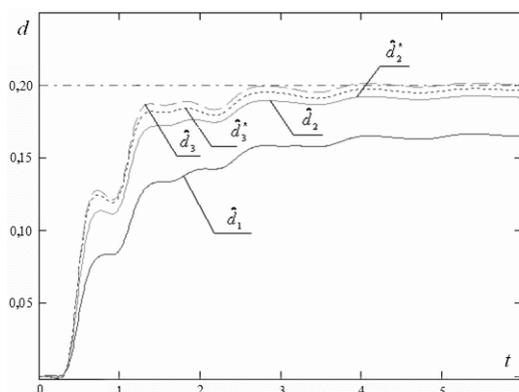


Рисунок 1. Результаты моделирования идентифицируемого параметра  $d$

На рисунке 1 представлены параметры  $\hat{d}_1$  - оценка фильтра Калмана-Бьюси,  $\hat{d}_2^*, \hat{d}_3^*$  - второй и третьей итераций алгоритма (7) с вручную подобранными параметрами регуляризации,  $\hat{d}_2, \hat{d}_3$  - второй и третьей итераций алгоритма на основе метода минимальных ошибок.

### Заключение.

По результатам проведенного численного моделирования было установлено, что разработанный алгоритм превосходит по точности получаемых оценок на 10-15% фильтр Калмана-Бьюси, а также устойчив к повышению уровня внешних воздействий и шумов каналов ИИС. Результаты совпали с известными.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Раннева, Г. Г. Информационно-измерительная техника и технологии : учебное пособие / Г. Г. Раннева. – Москва : Высшая школа, 2002. – 166 с.
2. Фарина, А. Цифровая обработка радиолокационной информации : учебное пособие / А. Фарина, Ф. Студер. – Москва : Радио и связь, 1993. – 322 с.
3. Тихонов, А.Н. Методы решения некорректных задач : учебное пособие / А. Н. Тихонов, В. Я. Арсенин. – Москва : Наука, 1986. – 288 с.
4. Костоглотов, А. А. Метод синтеза оптимального алгоритма угловой стабилизации на основе объединенного принципа максимума / А. А. Костоглотов А // Автоматика и вычислительная техника. – 2002. – №5. – С.26-34.

- 
5. Карташев, А. П. Обыкновенные дифференциальные уравнения и основы вариационного исчисления : методическое пособие / А. П. Карташев, Б. Л. Рождественский. – Москва : Наука, 1986. – 288 с.
6. Алифанов, О. М. Методы решения некорректных задач : методическое пособие / О. М. Алифанов, Е. А. Артюхин, С. В. Румянцев. – Москва : Наука, 1988. – 285 с.

**И.В. Калиенко<sup>1</sup>, О.Ю. Назарова<sup>1</sup>,  
А.Р. Переверзев<sup>1</sup>, Л.М. Колдынская<sup>2</sup>, Т.Ю. Беликова<sup>1</sup>**

### **МОДЕЛИРОВАНИЕ АЛГОРИТМА КАНАЛЬНОГО КОДИРОВАНИЯ МЕТОДОМ ХЕММИНГА В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ УСТРОЙСТВАХ**

Донской государственной технической университет, г. Ростов-на-Дону, Россия<sup>1</sup>  
Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени ФГБОУ ВО  
«Московский технический университет связи и информатики», г. Ростов-на-Дону, Россия<sup>2</sup>

Ключевые слова: метод Хемминга, алгоритм кодирования

Представлены результаты компьютерного моделирования канального кодирования методом Хемминга в учебном процессе обучения специалистов в области телекоммуникаций. Предоставлена возможность моделирования как нормальной работы кодера, так и моделирование ошибок, сбоев, нештатных ситуаций. Разработаны варианты индивидуальных заданий для обучаемых.

**I.V. Kalienko<sup>1</sup>, O.Y. Nazarova<sup>1</sup>,  
A.R. Pereverzev<sup>1</sup>, L.M. Koldinskaya<sup>2</sup>, T. YU. Belikova<sup>1</sup>**

### **MODELING OF THE CHANNEL CODING ALGORITHM BY THE HAMMING METHOD IN TELECOMMUNICATION DEVICES**

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia<sup>1</sup>  
North Caucasus branch of Moscow Technical University  
of Communications and Informatics, Rostov-on-Don, Russia<sup>2</sup>

Keywords: Hamming method, coding algorithm

The results of computer modeling of channel coding by the Hamming method in the educational process of training specialists in the field of telecommunications are presented. The possibility of modeling both the normal operation of the encoder and the modeling of errors, failures, abnormal situations is provided. Variants of individual tasks for trainees have been developed.

В настоящее время в нашей стране осуществляется полный переход на цифровые методы представления информации. Поэтому подготовка специалистов в области телекоммуникаций и передаче цифровой информации без сбоев, без искажений, с заданной достоверностью является важной задачей.

Следовательно, тема представленной работы является актуальной.

Разработка учебных макетов и тренажеров имеет существенные отличия от реальной аппаратуры. Реальная аппаратура должна работать исправно, не допускать никаких сбоев, наилучшим образом выполнять свои функции.

На учебных тренажерах и макетах НЕОБХОДИМО моделировать и изучать возможные нештатные ситуации, сбои, ложные срабатывания, возникновение неисправностей. Поэтому разработка учебных макетов является отдельной задачей.

В работе представлены две части: компьютерное моделирование и натурная модель.

### Код Хеминга.

Код Хеминга является более сложным кодом. Он способен не только обнаруживать, но также самостоятельно исправлять однократные ошибки.

Для этого в информационную посылку вводят несколько проверочных символов. Это еще более усложняет схемную реализацию, снижает скорость передачи информации. Но значительно повышает возможности аппаратуры.

Добавление символов осуществляется по следующему правилу:

$$a_1 = a_3 \oplus a_5 \oplus a_7 \oplus a_9 \oplus a_{11},$$

$$a_2 = a_3 \oplus a_6 \oplus a_7 \oplus a_{10} \oplus a_{11},$$

$$a_4 = a_5 \oplus a_6 \oplus a_7,$$

$$a_8 = a_9 \oplus a_{10} \oplus a_{11}.$$

Проверка принятой комбинации осуществляется таким образом:

$$b_1 = a_1 \oplus a_3 \oplus a_5 \oplus a_7 \oplus a_9 \oplus a_{11},$$

$$b_2 = a_2 \oplus a_3 \oplus a_6 \oplus a_7 \oplus a_{10} \oplus a_{11},$$

$$b_3 = a_4 \oplus a_5 \oplus a_6 \oplus a_7,$$

$$b_4 = a_8 \oplus a_9 \oplus a_{10} \oplus a_{11}.$$

Если синдром ошибки показывает все нули, то принимается решение об отсутствии искажений и правильно принятой комбинации.

Если синдром ошибки не равен нулю, то он показывает номер искаженного символа.

### Компьютерное моделирование кода Хемминга.

Приведем компьютерное моделирование кода Хемминга в программе *EWB*. В качестве модели передаваемой информационной посылки используем комбинацию 1010110.

Моделирование кодера Хемминга представлено на рисунке 1.

Переключатели 1-7 служат для набора передаваемой информационной посылки. Индикаторы на вертикальных шинах показывают набранный код 1010110.

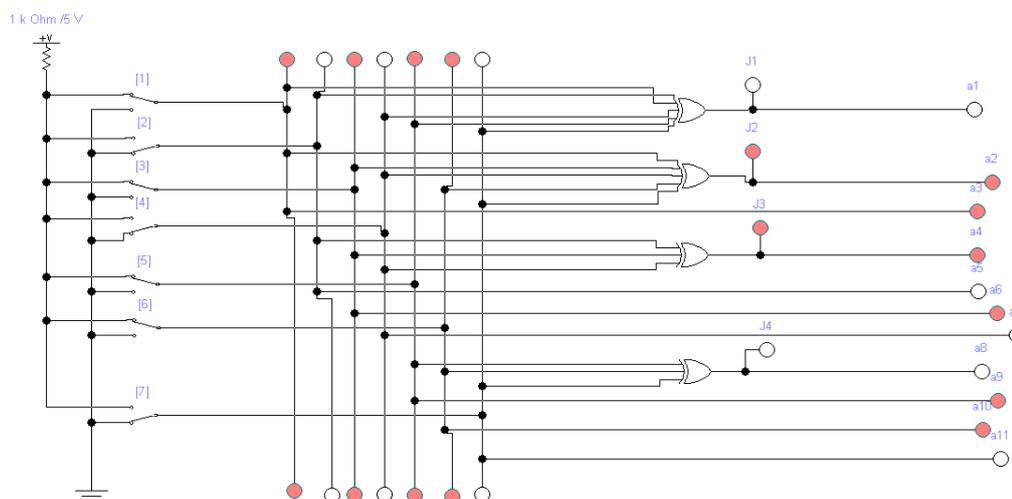


Рисунок 1. Кодер Хемминга

Передаваемая посылка 01110100110, содержащая избыточные проверочные символы, показаны вертикально расположенными индикаторами в правой части схемы.

Данная схема позволяет моделировать передачу любой семиразрядной информационной посылки.

Моделирование алгоритма канального кодирования методом Хемминга в телекоммуникационных устройствах предлагается выполнять с помощью схемы на рис.1 Далее провести расчеты, заполнить таблицы. Проверить на компьютерных моделях полученный результат. В таблицу 1 предлагается вносить результаты исследования.

Таблица 1 – Передаваемая комбинация. 7 символов. Комбинация кода Хемминга (11,7).

Передаваемая комбинация. 7 символов			i1			i2	i3	i4			i5	i6	i7
Проверочные символы	j1	j2			j3					j4			
Комбинация кода Хемминга (11,7).	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10	a11		

Находим проверочные символы:

$$a_1 = a_3 \oplus a_5 \oplus a_7 \oplus a_9 \oplus a_{11} = \_ \oplus \_ \oplus \_ \oplus \_ \oplus \_ = \_ ,$$

$$a_2 = a_3 \oplus a_6 \oplus a_7 \oplus a_{10} \oplus a_{11} = \_ \oplus \_ \oplus \_ \oplus \_ \oplus \_ = \_ ,$$

$$a_4 = a_5 \oplus a_6 \oplus a_7 = \_ \oplus \_ \oplus \_ = \_ ,$$

$$a_8 = a_9 \oplus a_{10} \oplus a_{11} = \_ \oplus \_ \oplus \_ = \_ .$$

Таким образом, разработанные виртуальные компьютерные схемы, позволяющие моделировать передаваемые и принимаемые кодовые посылки. Возможность рассматривать, как безошибочный прием, так и прием избыточных кодов с ошибками в канале связи.

В отличие от реальной работающей аппаратуры разрабатываемые модели позволяют моделировать различные нештатные ситуации.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кудряшов Б.Д. Основы теории кодирования. – СПб.: БХВ-Петербург, 2016. – 400с.
2. Б. Складар. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. Изд. 2-е, испр.: Пер. с англ. - М.: Издательский дом «Вильямс», 2003 г. - 1104 с.
3. Исследование применения многоточечного кроссовера при решении неоднородной минимаксной задачи большой размерности. Кобак В.Г., Поркшеян В.М., Жуковский А.Г., Кузин А.П. Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. 2021. № 2 (210). С. 5-9.

---

**И.В. Калиенко<sup>1</sup>, О.Ю. Назарова<sup>1</sup>,  
А.Р. Переверзев<sup>1</sup>, И.А. Енгибарян<sup>2</sup>, Т.Ю. Беликова<sup>1</sup>**

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ДЕКОДЕРА ХЕММИНГА В СИММЕТРИЧНЫХ ДВОИЧНЫХ ДИСКРЕТНЫХ КАНАЛАХ СВЯЗИ**

Донской государственной технической университет, г. Ростов-на-Дону, Россия<sup>1</sup>  
Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени ФГБОУ ВО  
«Московский технический университет связи и информатики», г. Ростов-на-Дону, Россия<sup>2</sup>

Ключевые слова: метод Хемминга, кодовые комбинации,  
Представлены результаты компьютерного моделирования канального декодирования методом Хемминга в учебном процессе обучения специалистов в области телекоммуникаций. Предоставлена возможность моделирования как нормальной работы кодера, так и моделирование ошибок, сбоев, нестандартных ситуаций. Разработаны варианты индивидуальных заданий для обучаемых.

**I.V. Kalienkko<sup>1</sup>, O.Y. Nazarova<sup>1</sup>,  
A.R. Pereverzev<sup>1</sup>, I.A. Engibaryan<sup>2</sup>, T. YU. Belikova<sup>1</sup>**

## **SIMULATION OF THE HAMMING DECODER OPERATION IN SYMMETRIC BINARY DISCRETE COMMUNICATION CHANNELS**

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia<sup>1</sup>  
North Caucasus branch of Moscow Technical University  
of Communications and Informatics, Rostov-on-Don, Russia<sup>2</sup>

Keywords: Hamming method, code combinations,  
The results of computer simulation of channel decoding by the Hamming method in the educational process of training specialists in the field of telecommunications are presented. The possibility of modeling both the normal operation of the encoder and the modeling of errors, failures, abnormal situations is provided. Variants of individual tasks for trainees have been developed.

В современных условиях бурного развития дистанционных технологий обучения создание виртуальных лабораторных работ становится актуальной задачей в поддержании непрерывного образовательного процесса. Необходимо так же отметить, что на учебных тренажерах и макетах можно моделировать и изучать возможные такие ситуации как сбои, ложные срабатывания, возникновение неисправностей. Поэтому моделирование работы декодера Хемминга является актуальной разработкой, которая поможет в создавшихся условиях дистанционного обучения обеспечить получение студентами необходимых навыков и умений.

Код Хемминга является более сложным кодом. Он способен не только обнаруживать, но также самостоятельно исправлять однократные ошибки.

Для повышения корректирующих свойств кода в информационную кодовую комбинацию добавляют проверочные символы. Добавление символов осуществляется по следующему правилу:

$$\begin{aligned}a_1 &= a_3 \oplus a_5 \oplus a_7 \oplus a_9 \oplus a_{11}, \\a_2 &= a_3 \oplus a_6 \oplus a_7 \oplus a_{10} \oplus a_{11}, \\a_4 &= a_5 \oplus a_6 \oplus a_7, \\a_8 &= a_9 \oplus a_{10} \oplus a_{11}.\end{aligned}$$

Проверка принятой комбинации осуществляется таким образом:

$$b_1 = a_1 \oplus a_3 \oplus a_5 \oplus a_7 \oplus a_9 \oplus a_{11},$$

$$b_2 = a_2 \oplus a_3 \oplus a_6 \oplus a_7 \oplus a_{10} \oplus a_{11},$$

$$b_3 = a_4 \oplus a_5 \oplus a_6 \oplus a_7,$$

$$b_4 = a_8 \oplus a_9 \oplus a_{10} \oplus a_{11}.$$

Если синдром ошибки показывает все нули, то принимается решение об отсутствии искажений и правильно принятой комбинации.

Если синдром ошибки не равен нулю, то он показывает номер искаженного символа.

Моделирование декодера Хемминга представлено на рисунках 1.1 и 1.2.

Переключатели в левой части схемы предназначены для набора принятой кодовой комбинации, в которой возможно содержание ошибок.

Если комбинация 01110100110 принята без ошибок на рисунке 1.1., то синдром ошибки  $S=0000$ .

Все индикаторы в правой части не горят.

В случае возникновения ошибки во 2 разряде принята комбинация 00110100110, изображенная на рисунке 1.2.

В этом случае синдром ошибки формирует номер в двоичном коде  $S=0010_2=2_{10}$ .

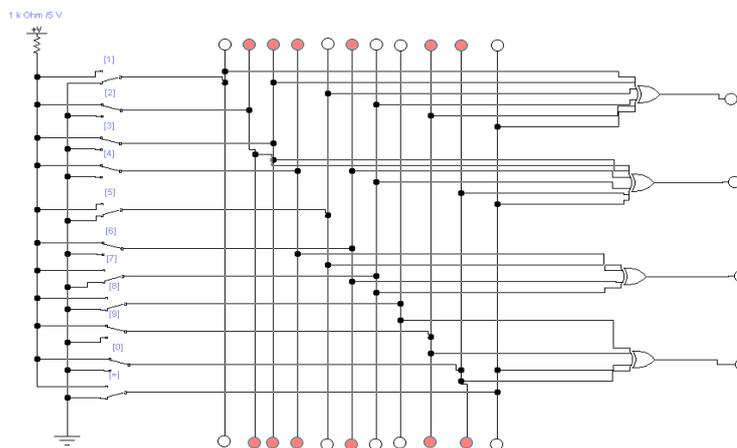


Рисунок 1.1. Декодер Хемминга

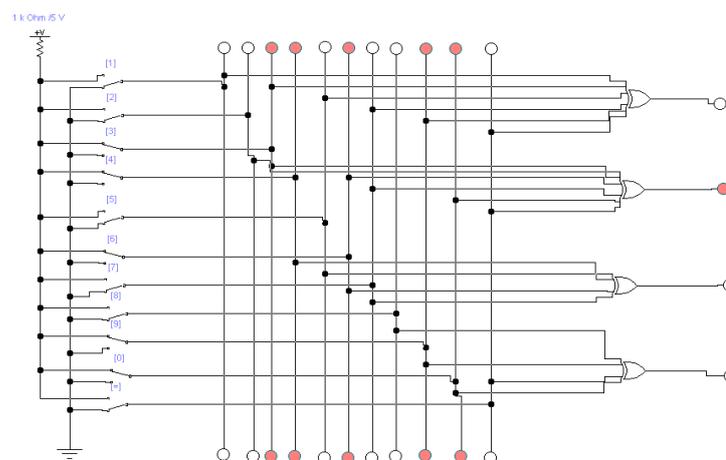


Рисунок 1.2. Декодер Хемминга с ошибкой во 2 разряде

Вывод: таким образом, разработанные виртуальные компьютерные схемы, позволяют моделировать передаваемые и принимаемые кодовые послылки. Данная виртуальная модель декодера предоставляет возможность рассматривать, как безошибочный прием, так и прием избыточных кодов с ошибками в канале связи. Так же,

---

необходимо отметить, что с помощью компьютерного моделирования решается задача поддержания непрерывного учебного процесса в создавшихся эпидемиологических условиях в настоящее время.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кудряшов Б.Д. Основы теории кодирования. – СПб.: БХВ-Петербург, 2016. – 400с.
2. Б. Скляр. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. Изд. 2-е, испр.: Пер. с англ. - М.: Издательский дом «Вильямс», 2003 г. - 1104 с.
3. Исследование применения многоточечного кроссовера при решении неоднородной минимаксной задачи большой размерности. Кобак В.Г., Поркшеян В.М., Жуковский А.Г., Кузин А.П. Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. 2021. № 2 (210). С. 5-9.

**А.Д. Лукьянов, М.И. Азнабаев, Е.В. Плеханова, И.Р. Капитанова**

#### **ПРЕЦИЗИОННАЯ ЛАБОРАТОРНАЯ ПЕЧЬ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ НАНОЧАСТИЦ С СИСТЕМОЙ ПРОГРАММНОГО УПРАВЛЕНИЯ И ОБЛАЧНЫМ МОНИТОРИНГОМ**

Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Россия

Ключевые слова: прецизионная печь, наночастицы, управление, моделирование, облачный мониторинг, микроконтроллер.

Аннотация: Представлена разработка прецизионной реакционной печи с микропроцессорной системой управления и мониторинга температуры через облачный сервис. Обеспечивается поддержание температуры в горне печи в диапазоне от 50 до 350 °С с точностью до 1%. Для повышения точности управления и настройки параметров регулятора используется эталонная математическая модель. Мобильный интерфейс, реализованный на смартфоне, позволяет дистанционно получать телеметрическую информацию и управлять режимами работы печи. Для высоких температур, с целью сохранности тигля, реализован режим автоматического ступенчатого нагрева и охлаждения. Печь позволяет проводить химические реакции при высоких температурах, в том числе - синтез наночастиц из меди и других металлов.

**A.D. Lukyanov, M.I. Aznabaev, E.V. Plekhanova, I.R. Kapitanova**

#### **A PRECISION LABORATORY FURNACE FOR PRODUCING NANOPARTICLES WITH A PROGRAM CONTROL SYSTEM AND CLOUD MONITORING**

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Россия

Keywords: precision furnace, nanoparticles, control, modeling, cloud monitoring, microcontroller.

Annotation: The development of a precision reaction furnace with a microprocessor control system and temperature monitoring via a cloud service is presented. The temperature in the hearth of the furnace is maintained in the range from 50 to 350 °C with an accuracy of 1%. To improve the control accuracy and adjust the controller parameters, a reference mathematical model is used. The mobile interface implemented on a smartphone allows you to remotely receive telemetry

---

information and control the furnace operating modes. For high temperatures, in order to preserve the crucible, an automatic stepwise heating and cooling mode is implemented. The furnace allows carrying out chemical reactions at high temperatures, including the synthesis of nanoparticles from copper and other metals.

### **Введение.**

Соблюдение точных и корректных условий проведения экспериментов по химическому синтезу является основой для получения качественного продукта. Поддержание стабильной температуры в реакционной зоне, по этой причине, является одним из важнейших параметров качества. Например, низкотемпературный синтез УНТ методом каталитического пиролиза ацетилена проводится в присутствии частиц Fe при 550 °С. Снижение температуры синтеза имеет негативные последствия. При более низких температурах получают УНТ с большим диаметром (около 100 нм) и сильно дефектной структурой типа «бамбук» или «вложенные наноконусы».

Печь также может применяться при синтезе наночастиц различных металлов и их оксидов. Синтез наночастиц проводится в большинстве случаев на границе раздела фаз, поэтому на размер и состав частиц будут оказывать влияние состав жидкой фазы, температура, степень сжатия. Контроль всех этих факторов - сложная задача, что может привести к отклонению состава и свойств частиц от заданных значений [1]. Несоблюдение температурного режима синтеза может приводить к тому, что полученные наночастицы имеют малый размер, вследствие чего обладают слабой намагниченностью или проводимостью, или обладают параметрами, превышающими наноразмерный диапазон и склонны к агломерации. Поэтому контроль температуры к реакционной среде является необходимым условием синтеза наночастиц.

Большое значение имеет также уверенность экспериментатора в том, что синтез проводился при заданных параметрах, что температура не выходила за допустимые пределы и т.д. Это достигается за счет мониторинга и журналирования телеметрической информации, с целью дальнейшего анализа. Вышеизложенное, а также консультации с учеными кафедры «Химия» ДГТУ, позволили сформулировать цель работы, и технические требования к разрабатываемому оборудованию

Целью представленной работы является обеспечение заданной температуры проведения химического синтеза при лабораторных экспериментах, обеспечение мониторинга и управления процессом синтеза с использованием эргономичных дистанционных (облачных) технологий.

Для достижения поставленной цели в работе должны быть решены следующие задачи:

- разработка и изготовление макета прецизионной лабораторной печи и системы микропроцессорного управления температурой внутри горна;
- разработка математической модели прецизионной лабораторной печи и идентификация ее параметров на основе экспериментальных исследований;
- настройка, на основании идентифицированной модели, цифрового регулятора температуры внутри горна, реализованного на современном микроконтроллере;
- разработка системы сбора, визуализации и сохранения телеметрической информации, на основе мобильного приложения и облачного сервиса.

Для макета печи были сформулированы следующие технические требования:

- печь должна обеспечивать нагрев объема внутри горна в диапазоне температур от +50 до +350 °С;
- погрешность поддержания температуры должна составлять не более 1% от заданной величины;
- длительность эксперимента может задаваться в диапазоне от 30 минут до 48 часов с дискретностью 10 минут;

- при нагревании до высокой температуры (выше 100 градусов) могут использоваться алгоритмы ступенчатого нагрева и охлаждения горна, при этом после достижения заданной температуры в Приложение выводится информационное сообщение, и звучит звуковой сигнал;
- за всё время эксперимента должна сохраняться телеметрическая информация, в виде отдельного файла.

### **Материалы и методы.**

Макет прецизионной лабораторной печи разработан с использованием бытовой электроплитки мощностью 900 Вт и рассчитанной на использование в сети переменного тока 220 В 50 Гц. В качестве горна использован керамический горшок, обеспечивающий как достаточный объем для размещения тиглей или пробирок, так и термостойкость и возможность обработки механическим инструментом, для выполнения отверстий под пробирки и измерительный датчик. Внешний вид собранного макета прецизионной печи и системы управления приведен на рис. 1.

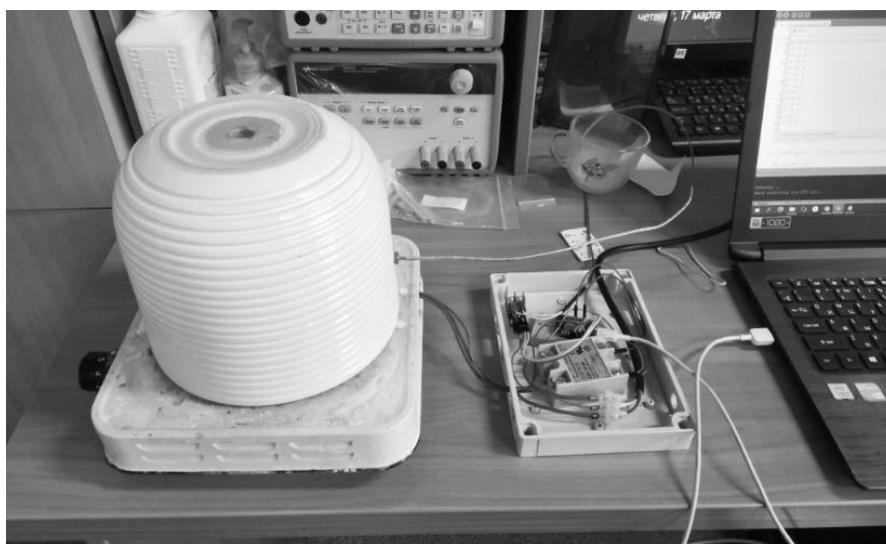


Рисунок 1. Внешний вид макета лабораторной печи

Система микроконтроллерного управления создана на базе однокристального микроконтроллера серии ESP-8266 [2] в формате платы NodeMCU 12E [3]. Это современный микроконтроллер класса IoT (Интернет вещей), способный не только обеспечить управление температурой внутри горна, но и, за счет встроенного WiFi модуля, обеспечить интерфейс с облачным сервисом, в том числе – передачу телеметрической информации и прием команд.

Для измерения температуры внутри горна используется термопара типа К [4], подключенная, для повышения точности измерений, к специализированному измерительному преобразователю MAX6675 [5], обеспечивающему линеаризацию характеристики термопары, дискретность измерения температуры 0.25 °С в диапазоне от 0 до 1024 °С, и разгружающему микроконтроллер от непосредственного проведения измерений.

Управление электрическим нагревателем осуществляется с помощью твердотельного (симисторного) реле типа SSR10DA [6] с возможностью цифрового включения и выключения. Диапазон управляющего напряжения (3-32 В) позволяет использовать его с выбранным микроконтроллером, использующим напряжение 3.3 В

Алгоритм управления температурой внутри горна печи осуществляется с помощью цифрового ПИД регулятора, программно реализованного на микроконтроллере. За основу была взята библиотека GiverPID [7], разработанная Александром Гайвером. Для упрощения

схемотехники системы управления, а также учитывая большую инерционность печи, постоянная времени которой составляет десятки минут, был выбран режим управления нагревателем по методу переключения через ноль (рис. 2). При реализации такого режима управление производится не каждую половину периода колебания напряжения в сети переменного тока, а каждую секунду, при делении секундного интервала на 50 частей. Это позволило существенно снизить требования к нагрузке на процессор, а также – снизить помехи, генерируемые при фазовом управлении. Для обеспечения качественного регулирования и своевременного переключения реле использовано аппаратное прерывание по таймеру на основе библиотеки Ticker [8], обеспечивающая достаточную точность реакции (порядка 100 мкс.).

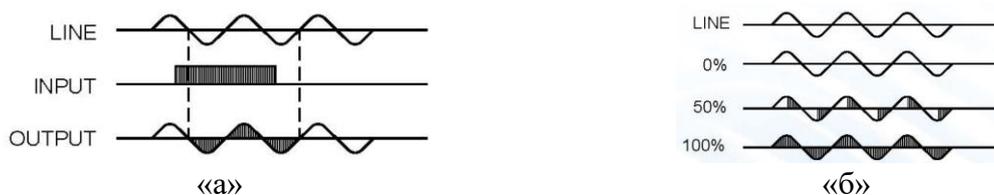


Рисунок 2. Реализация режимов управления нагревателем. Импульсно - фазовое управление «а». Управление по метод переключения через ноль «б».

Математическая модель печи была разработана на основе метода накопителей и потоков в классе ОДУ. Система уравнений математической модели имеет вид (1):

$$\begin{cases} \frac{d}{dt} \vartheta_1 = \frac{1}{m_1 c_1} (P(u) - S_1 \lambda (\vartheta_1 - \vartheta_2) - S_1 \sigma \varepsilon (\vartheta_1^4 - \vartheta_2^4)) \\ \frac{d}{dt} \vartheta_2 = \frac{1}{m_2 c_2} (S_1 \lambda (\vartheta_1 - \vartheta_2) + S_1 \sigma \varepsilon (\vartheta_1^4 - \vartheta_2^4) - S_2 \lambda (\vartheta_2 - \vartheta_{ext}) - S_2 \sigma \varepsilon (\vartheta_2^4 - \vartheta_{ext}^4)) \end{cases} \quad (1)$$

В уравнениях (1) с индексом «1» включены параметры нагревателя, с индексом «2» - параметры горна, с индексом «ext» - температура окружающей среды.

Для структуры модели оказался существенным и конвективный и лучистый способы передачи тепла, особенно при температурах горна выше 200 °С. Сбор данных осуществлялся с помощью разработанной системы сбора телеметрической информации, что послужило способом её тестирования.

После проведения тестовых экспериментов на макете лабораторной печи, параметры модели были идентифицированы с помощью метода наименьших квадратов для дискретного уравнения вида:

$$\vartheta_2 [i] = a_1 \vartheta_2 [i-1] + a_2 \vartheta_2 [i-2] + a_3 \vartheta_2^4 [i-1] + a_4 \vartheta_2^4 [i-1] + P [i] \quad (2)$$

Второй порядок уравнения регрессионного уравнения определяется неизмеримостью температуры  $\vartheta_1$  нагревателя. Изменением температуры окружающей среды за время эксперимента пренебрегаем.

Идентифицированная модель была использована для выбора параметров дискретного ПИД - регулятора с использованием модуля «Nonlinear Control Design» пакета Matlab.

Мобильное приложение для управления печью обеспечивает двунаправленную связь с объектом управления по сети WiFi, получение, визуализацию и архивирование телеметрической информации, и передачу команд в управляющий микроконтроллер.

#### Результаты и обсуждение.

Структурная схема разработанной системы приведена на рис. 3. На первом этапе исследований печь с системой микроконтроллерного управления была испытана в разомкнутом режиме управления для оценки температур, которые достигаются при подаче на нагреватель управляющего воздействия со скважностью 0.2, 0.5, 0.75 и 1.0. При этом, также, оценивалась постоянная времени печи.

На втором этапе испытаний были вобраны экспериментальные телеметрические данные о зависимости температуры от времени и скважности управляющего воздействия, и проведена идентификация параметров модели. Результат идентификации параметров модели приведен на рис. 4. Гладкая линия - модельный результат, линия с помехами – экспериментальный результат.

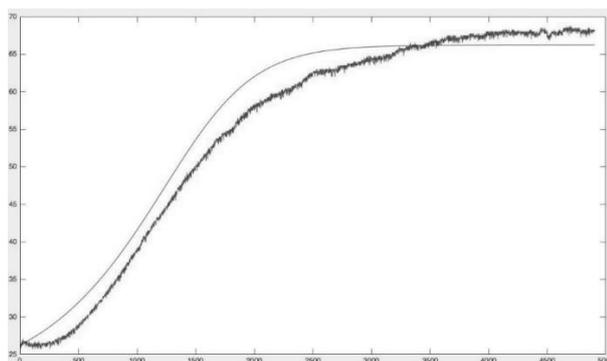


Рисунок 3. результат идентификации параметров модели (1) с помощью разностного уравнения (2)



Рисунок 4. Экран мобильного приложения для управления работой лабораторной печи

Хотя расхождение между модельными и экспериментальными данными является более значительным, чем требуемая точность регулирования температуры, однако для оптимизации настройки параметров регулятора такая модель является достаточной. После настройки коэффициентов дискретного регулятора, и замыкания отрицательной обратной связи, отклонение измеряемой температуры от заданной не превышало 1%.

На рис. 4 приведен внешний вид экрана мобильного приложения, позволяющего управлять работой лабораторной печи дистанционно через сеть WiFi. Приложение также позволяет сохранять получаемую телеметрическую информацию в файл в формате «машиночитаемый json» для дальнейшего анализа корректности условий проведения эксперимента. Приложение может использоваться на любом смартфоне под управлением ОС Android версии старше 9.0

### Заключение.

На основе вышеизложенной информации можно утверждать, что все задачи, поставленные в работе успешно выполнены и цель работы - *обеспечение заданной температуры проведения химического синтеза при лабораторных экспериментах,*

---

*обеспечение мониторинга и управления процессом синтеза с использованием эргономичных дистанционных (облачных) технологий - достигнута.*

Разработанная прецизионная лабораторная печью для получения наночастиц с системой программного управления и облачным мониторингом полностью удовлетворяет выдвинутым техническим требованиям и может использоваться для проведения экспериментальных исследований.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Effect of Synthesis Temperature on Structure and Magnetic Properties of (La,Nd)<sub>0.7</sub>Sr<sub>0.3</sub>MnO<sub>3</sub> Yulia Shlapa, Sergii Solopan, Andrii Bodnaruk, Nanoscale Research Letters volume12, 2017
2. ESP8266EX Datasheet. Version 6.8. Espressif Systems. 2022. [Электронный ресурс] URL: [https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/0a-esp8266ex\\_datasheet\\_en.pdf](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/0a-esp8266ex_datasheet_en.pdf)
3. NodeMCU Documentation. [Электронный ресурс] URL: <https://nodemcu.readthedocs.io/en/release/en/modules/tmr/>
4. Термопара типа К (ТХА). Характеристики. [Электронный ресурс] URL: <https://electro-nagrev.ru/catalog/materialy-dlya-nagrevatelykh-elementov/termopary/termopara-tipa-k/>
5. MAX6675. Cold-Junction-Compensated K-Thermocouple-. to-Digital Converter (0°C to +1024°C). Maxim Integrated. Rev.2, 4/14. [Электронный ресурс] URL: <https://www.rlocman.ru/datasheet/pdf.html?di=167953>
6. Fotek SSR Series. Solid State Relay. Guiding pf Model. [Электронный ресурс] URL: <https://datasheetspdf.com/pdf/789330/Fotek/SSR-10DA/1>
7. GyverPID - библиотека PID регулятора для Arduino. [Электронный ресурс] URL: <https://github.com/GyverLibs/GyverPID>
8. Arduino Ticker Library v4.x.x. [Электронный ресурс] URL: <https://github.com/ssstaub/Ticker>

**И. В. Калиенко<sup>1</sup>, О.Ю. Назарова<sup>1</sup>,  
А.Р. Переверзев<sup>1</sup>, И.В. Решетникова<sup>2</sup>, Т.Ю. Беликова<sup>1</sup>**

#### **МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ КОДИРУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА ЦИКЛИЧЕСКОГО КОДЕРА (7,4) ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ В УСЛОВИЯХ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ**

Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Россия<sup>1</sup>  
Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени ФГБОУ ВО  
«Московский технический университет связи и информатики», г. Ростов-на-Дону, Россия<sup>2</sup>

Ключевые слова: циклического кодер, кодовая комбинация

Представлены результаты компьютерного моделирования канального кодирования методом циклического кодера (7,4) в учебном процессе обучения специалистов в области телекоммуникаций. Предоставлена возможность моделирования как нормальной работы кодера, так и моделирование ошибок, сбоев, нестандартных ситуаций. Разработаны варианты индивидуальных заданий для обучаемых.

**SIMULATION OF THE OPERATION OF THE CODING DEVICE OF THE CYCLIC ENCODER (7,4) FOR LABORATORY WORK IN THE CONDITIONS OF DISTANCE LEARNING**

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia<sup>1</sup>  
North Caucasus branch of Moscow Technical University  
of Communications and Informatics, Rostov-on-Don, Russia<sup>2</sup>

Keywords: cyclic encoder, code combination

The results of computer modeling of channel coding by the cyclic encoder method (7,4) in the educational process of training specialists in the field of telecommunications are presented. The possibility of modeling both the normal operation of the encoder and the modeling of errors, failures, abnormal situations is provided. Variants of individual tasks for trainees have been developed.

В настоящее время в нашей стране осуществляется полный переход на цифровые методы представления информации. Поэтому подготовка специалистов в области телекоммуникаций и передаче цифровой информации без сбоев, без искажений, с заданной достоверностью является важной задачей.

Следовательно, тема представленной работы является актуальной.

Разработка учебных макетов и тренажеров имеет существенные отличия от реальной аппаратуры. Реальная аппаратура должна работать исправно, не допускать никаких сбоев, наилучшим образом выполнять свои функции.

На учебных тренажерах и макетах НЕОБХОДИМО моделировать и изучать возможные нештатные ситуации, сбои, ложные срабатывания, возникновение неисправностей. Поэтому разработка учебных макетов является отдельной задачей.

*Объект разработки* – учебный тренажер-макет моделирования алгоритмов канального кодирования с использованием циклических кодов.

*Цель работы* – разработать учебный тренажер-макет для возможности изучения и демонстрации работы алгоритмов циклических кодов.

*Полученные результаты и их новизна* – в работе рассмотрен вопрос применения разработанного учебного тренажер-макета моделирования алгоритмов канального кодирования с использованием циклического кода (7,4) для обучения и подготовки специалистов в области радиоэлектроники и систем связи. В работе проведены экспериментальные испытания в проверки разработанного компьютерного учебного тренажер-макета. Результат исследований показал, что разработанный компьютерный макет адекватно представляет работу аппаратуры связи при кодировании информационного сообщения.

В рамках исследований алгоритмов циклического кода на аппаратуре кафедры «Радиоэлектроника» в целях обучения и демонстрации работы, необходимо измерять и строить параметры и характеристики.

В исследовательской работе требуется:

1. Исследовать алгоритм формирования циклического кода.
2. Исследовать кодовое расстояние циклического кода.

Исходя из условий наглядности учебной компьютерной модели принято решение моделировать и исследовать циклический кодер (7,4). Такая размерность кода позволяет удобно наблюдать всю кодовую комбинацию одновременно в параллельном виде и имеет относительно небольшое число тактов работы. С другой стороны, циклический кодер (7,4) достаточно полно отражает все этапы формирования передаваемой посылки из

информационного сообщения и позволяет понять работу циклического кодера с любой размерностью кода.

Проверка цикличности полученных кодовых комбинаций. Проведем циклический сдвиг каждой из полученных кодовых комбинаций. Результаты исследований приведены в таблице 1.

Таблица 1. Циклический сдвиг кодовой комбинации 0001 011

Сдвиг	Кодовая комбинация	Информационное слово	
		двоичное	Десятичное
0	0001 011	0001	1
1	1000 101	1000	8
2	1100 010	1100	12
3	0110 001	0110	6
4	1011 000	1011	11
5	0101 100	0101	5
6	0010 110	0010	2

В результате исследования компьютерного моделирования циклического кодера создана учебная модель, позволяющая изучать порядок формирования, структуру и кодовое расстояние циклического кода.

Применение циклического кодера с другими периодами нецелесообразно в целях демонстрации работы и обучения специалистов. Циклические коды с большим периодом неудобны для оценивания всех разрядов одновременно и также не обладают наглядностью.

В результате исследования кодового расстояния циклического кодера (7,4) установлено, что кодовые расстояния циклического кода данного размера принимают значения 3,4,7. Минимальное кодовое расстояние равно  $d_{min}=3$ .

Рассчитанные кодовые комбинации можно получить циклическим сдвигом. Каждая кодовая комбинация является разрешенной кодовой комбинацией циклического кода (7,4) с порождающим полиномом 1011.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кудряшов Б.Д. Основы теории кодирования. – СПб.: БХВ-Петербург, 2016. – 400с.
2. Б. Скляр. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. Изд. 2-е, испр.: Пер. с англ. - М.: Издательский дом «Вильямс», 2003 г. - 1104 с.

**И. В. Калиенко<sup>1</sup>, О.Ю. Назарова<sup>1</sup>,  
А.Р. Переверзев<sup>1</sup>, И.В. Решетникова<sup>2</sup>, Т.Ю. Беликова<sup>1</sup>**

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ДЕКОДИРУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА ЦИКЛИЧЕСКОГО КОДА (7,4) ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ В УСЛОВИЯХ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ**

Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Россия<sup>1</sup>  
Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени ФГБОУ ВО  
«Московский технический университет связи и информатики», г. Ростов-на-Дону, Россия<sup>2</sup>

Ключевые слова: циклический декодер, ошибки в разрядах кодовой комбинации.

Представлены результаты компьютерного моделирования канального кодирования методом циклического декодера (7,4) в учебном процессе обучения специалистов в области телекоммуникаций. Предоставлена возможность моделирования как нормальной работы кодера, так и моделирование ошибок, сбоев, нестандартных ситуаций. Разработаны варианты индивидуальных заданий для обучаемых.

**EXPERIMENTAL STUDY AND SIMULATION OF THE OPERATION OF A CYCLIC  
CODE DECODING DEVICE (7,4) FOR LABORATORY WORK IN DISTANCE  
LEARNING CONDITIONS**

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia<sup>1</sup>  
North Caucasus branch of Moscow Technical University  
of Communications and Informatics, Rostov-on-Don, Russia<sup>2</sup>

Keywords: cyclic decoder, errors in code load bits.

The results of computer simulation of channel coding by the cyclic decoder method (7,4) in the educational process of teaching specialists in the field of telecommunications are presented. The possibility of modeling both the normal operation of the encoder and the modeling of errors, failures, emergency situations is provided. Variants of individual tasks for trainees have been developed.

В настоящее время в нашей стране осуществляется полный переход на цифровые методы представления информации. Поэтому подготовка специалистов в области телекоммуникаций и передаче цифровой информации без сбоев, без искажений, с заданной достоверностью является важной задачей.

Следовательно, тема представленной работы является актуальной.

Разработка учебных макетов и тренажеров имеет существенные отличия от реальной аппаратуры. Реальная аппаратура должна работать исправно, не допускать никаких сбоев, наилучшим образом выполнять свои функции.

На учебных тренажерах и макетах НЕОБХОДИМО моделировать и изучать возможные нештатные ситуации, сбои, ложные срабатывания, возникновение неисправностей. Поэтому разработка учебных макетов является отдельной задачей.

*Объект разработки* – учебный тренажер-макет моделирования алгоритмов канального кодирования с использованием циклических кодов.

*Цель работы* – разработать учебный тренажер-макет для возможности изучения и демонстрации работы алгоритмов циклических кодов.

*Полученные результаты и их новизна* – в работе рассмотрен вопрос применения разработанного учебного тренажер-макета моделирования алгоритмов канального декодирования с использованием циклического кода (7,4) для обучения и подготовки специалистов в области радиоэлектроники и систем связи. В работе проведены экспериментальные испытания в проверки разработанного компьютерного учебного тренажер-макета. Результат исследований показал, что разработанный компьютерный макет адекватно представляет работу аппаратуры связи при декодировании информационного сообщения.

В рамках исследований алгоритмов циклического кода на аппаратуре кафедры «Радиоэлектроника» в целях обучения и демонстрации работы, необходимо измерять и строить параметры и характеристики.

Разработка программы исследований

1. Исследовать алгоритм формирования синдрома ошибки при работе циклического декодера.
2. Исследовать алгоритм формирования синдрома ошибки при работе циклического декодера при однократной ошибке.
3. Исследовать алгоритм формирования синдрома ошибки при работе циклического декодера при двукратной ошибке.

4. Исследовать алгоритм формирования синдрома ошибки при работе циклического декодера при трехкратной ошибке.
5. Исследовать алгоритм формирования синдрома ошибки при работе циклического декодера при четырех ошибках в одной кодовой комбинации.

Результаты проведенных исследований использованы для написания методического пособия и проведения занятий для обучения специалистов в области телекоммуникаций.

Проведем моделирование работы циклического декодера в программе компьютерного моделирования EWB Electronics Workbench.

Работа циклического декодера заключается в формировании синдрома ошибки из принятой посылки. Передаваемая посылка состоит из информационного сообщения и проверочных символов. Циклический код (7,4) состоит из 4 символов информационной посылки и 3 проверочных символов. Таким образом, передаваемое сообщение содержит 7 символов.

Таким образом, работа циклического кодера и моделирование проходят в 2 этапа.

Этап 1. Ввод информационных символов. В рассматриваемом случае 1101001.

Этап 2. Формирование и обработка проверочных символов. В рассматриваемом случае 001.

В таблице 1 показаны такты работы циклического декодера. Во входной регистр записано принятое сообщение информационной посылки 1101001.

Таблица 1 Такты работы циклического декодера

Номер такта	Входной регистр							Регистр делителя			Выходной регистр						
	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	0	1	0	0	1		0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
2	0	1	0	0	1			0	1	1	0	0	0	0	0	0	1
3	1	0	0	1				1	1	0	0	0	0	0	1	1	0
4	0	0	1					1	1	0	0	0	0	1	1	0	1
5	0	1						1	1	1	0	0	1	1	0	1	0
6	1							1	0	1	0	1	1	0	1	0	0
7								0	0	0	1	1	0	1	0	0	1

На рисунке 1 приведено состояние схемы компьютерной модели циклического декодера по окончании обработки принятой посылки.

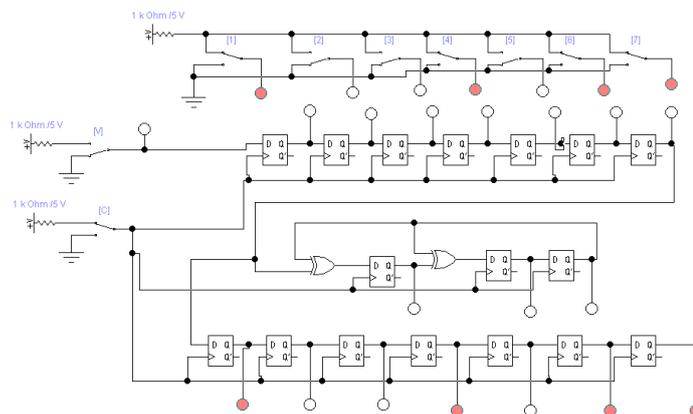


Рисунок 1. Схема компьютерной модели циклического декодера при обработке принятой посылки без искажений

Состояние выходного регистра после семи тактов работы совпадает с начальным состоянием. Нулевое состояние регистра делителя свидетельствует об отсутствии ошибок в принятой кодовой комбинации.

Наличие ошибок в принятой кодовой комбинации будем моделировать путем ввода (искажения) символа.

На рисунке 2 приведена схема компьютерной модели циклического декодера при наличии одиночных ошибок.

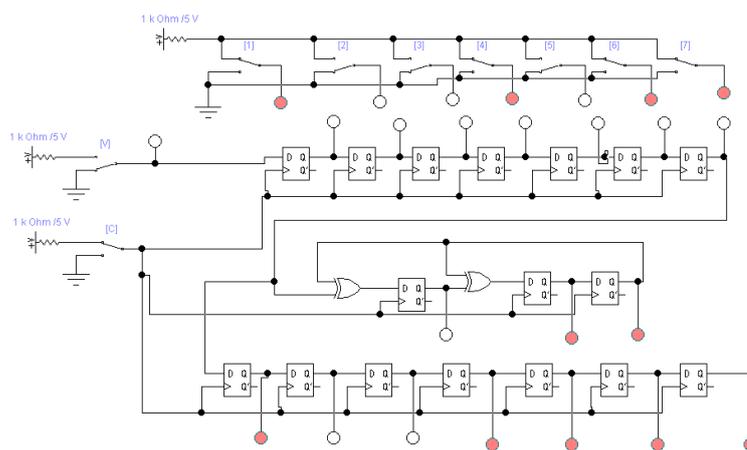


Рисунок 2. Схема компьютерной модели циклического декодера при обработке принятой посылки 1101001 и ошибке в третьем разряде

По результатам исследования одиночной ошибки, видно, что синдром одиночной ошибки однозначно показывает положение ошибки. Значение синдрома ошибки не зависит от вида разрешенной (искаженной) комбинации. Для любой кодовой комбинации значение синдрома ошибки одинаково и зависит только от места расположения ошибки.

#### Выводы.

В результате исследования компьютерного моделирования циклического декодера создана учебная модель, позволяющая изучать порядок обработки принятой кодовой комбинации, формирования синдрома ошибки, структуру и кодовую комбинацию циклического декодера.

Исходя из условий наглядности, выбран циклический код (7,4). Такой выбор позволяет удобно наблюдать весь процесс работы циклического декодера во всех разрядах одновременно.

Применение циклического декодера с другими периодами нецелесообразно в целях демонстрации работы и обучения специалистов. Циклические коды с большим периодом неудобны для оценивания всех разрядов одновременно и также не обладают наглядностью.

В результате исследования циклического декодера (7,4) установлено нулевое 000 состояние регистров делителя при отсутствии ошибок в кодовой комбинации.

Учебная компьютерная модель позволяет моделировать и изучать работу циклического декодера как в штатном режиме при отсутствии ошибок, так и в нештатных режимах при наличии ошибок в кодовой комбинации.

Проведено компьютерное и составлены таблицы работы циклического декодера при наличии ошибки в различных разрядах кодовой комбинации. Составлены таблицы работы и состояния регистров делителя, свидетельствующие о наличии ошибки и о расположении ошибки в разрядах кодовой комбинации.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кудряшов Б.Д. Основы теории кодирования. – СПб.: БХВ-Петербург, 2016. – 400с.
2. Б. Скляр. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. Изд. 2-е, испр.: Пер. с англ. - М.: Издательский дом «Вильямс», 2003 г. - 1104 с.
3. Modification and optimization of Miller - Rabin simplicity test algorithm implemented by parallel computation Cherkeshova L.V., Safaryan O.A., Trubchik I., Chumakov V., Yukhnov V.I., Yengibaryan I.A. В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Сер. "International Scientific and Practical Conference Environmental Risks and Safety in Mechanical Engineering, ERSME 2020" 2020. С. 012064.

## О МОДЕЛЯХ В ИССЛЕДОВАНИЯХ КОГНИТИВНЫХ РАДИОСИСТЕМ

Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени ФГБОУ ВО «Московский технический университет связи и информатики», г. Ростов-на-Дону, Россия

Ключевые слова: модель, когнитивное радио, программно-определяемое радио, алгоритм, производственная система.

В работе представлены функциональная модель подсистемы управления телекоммуникационными ресурсами когнитивной радиосистемы и модель алгоритма функционирования этой системы.

V.A. Golovskoy

## ABOUT MODELS IN RESEARCH OF COGNITIVE RADIO SYSTEMS

North Caucasus branch of Moscow Technical University  
of Communications and Informatics, Rostov-on-Don, Russia

Keywords: model, cognitive radio, software-defined radio, algorithm, production system.

The paper presents a functional model of a subsystem for managing telecommunication resources of a cognitive radio system and a model of the algorithm for the functioning of this system.

Интенсивное развитие телекоммуникаций явилось одной из причин проблемы дефицита радиочастотного спектра, которая становится все острее. Одним из пути решения указанной проблемы является создание когнитивных радиосистем (КРС) [1], которые в настоящий момент являются достаточно актуальной концепцией [2–7], однако далекой от полноценного внедрения в ближайшее время.

Под КРС понимают радиосистему, использующую технологию [1], «позволяющую этой системе получать знания о своей среде эксплуатации и географической среде, об установленных правилах и о своем внутреннем состоянии; динамически и автономно корректировать свои эксплуатационные параметры и протоколы согласно полученным знаниям для достижения заранее поставленных целей; и учиться на основе полученных результатов».

### **Постановка задачи.**

Ранее автором [7, 8 и др.] в результате исследований были сформированы требования, предложены схемы и описывающие их модели функционирования различных подсистем. Для построения модели функционирования КРС была использована нотация IDEF0. Выбор в пользу указанной нотации объясняется тем, что она предполагает отображение структуры и функций системы, а также потоков информации, связывающих эти функции. На рисунке 1 представлена контекстная диаграмма, описывающая в целом функционирование подсистемы управления ресурсами КРС.

Цель работы – описать модель алгоритма управления телекоммуникационными ресурсами когнитивной радиосистемы, описываемой приведенной функциональной моделью.

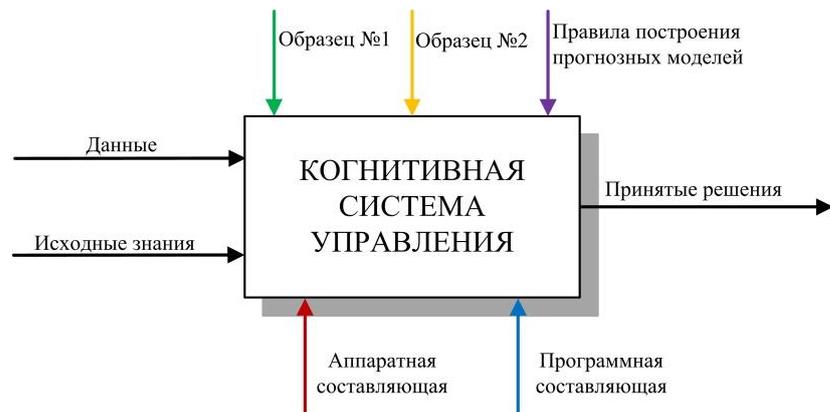


Рисунок 1. Модель функционирования рассматриваемой подсистемы

Приведенное выше описание этапов обработки информации в подсистеме управления КРС для последующей алгоритмизации нуждается в более формальном описании.

В соответствии с принятым производственным подходом [9] необходимо некоторое неполное описание множества ситуаций  $S$ , описывающих условия функционирования КРС, называемое левой частью продукции, и некоторое неполное описание множества ситуаций  $T$ , описывающих желаемое состояние ресурсов КРС. Таким образом, необходим набор образцов  $S$  и  $T$ , на рисунках 1 и 2 обозначенных Образец 1 и Образец 2 соответственно. Далее для формирования продукции из множества ситуаций  $S$  в множество ситуаций  $T$  необходимо наличие пары образцов, определяющих отображения:

$$\begin{cases} \phi: X \rightarrow S, \\ \psi: X \rightarrow T, \end{cases} \quad (1)$$

где  $X$  – множество допустимых конкретизаторов  $S$ , т.е. наборов информации, дополняющих неполное описание  $S$  или  $T$  до конкретного соответствующего образца.

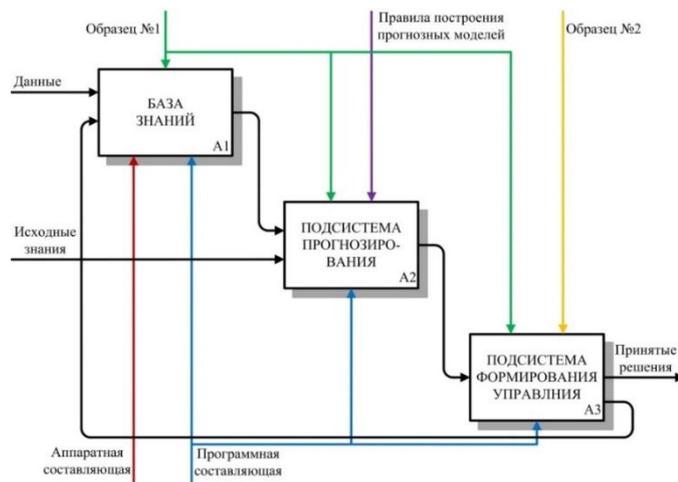


Рисунок 2. Декомпозиция контекстной диаграммы

Представленная на рисунке 2 диаграмма содержит блок «База знаний» который будет осуществлять узнавание текущей ситуации за счет сопоставления её с Образцом 1, а выработка рекомендаций по необходимому направлению и конкретным параметрам адаптации ресурсов КРС будет осуществляться в блоке «Подсистема формирования управления» на основании выбора дополнения описания текущей ситуации до Образца 2. На основании принятых решений, анализа изменений в ситуации и уточнения прогноза и прогнозных моделей будет осуществляться динамическая актуализация «Базы знаний».

### Модель алгоритма управления ресурсами.

Для создаваемого алгоритма  $A^{CRS}$  входом должны быть данные [7, 10]: о внешней среде ( $\chi$ ), о состоянии абонента КРС ( $\beta$ ), а выходом – описание состояния его телекоммуникационного оборудования ( $\omega_{k+\Delta_k}$ )

$$A^{CRS}(\chi, \beta, \tau) = \omega_{k+\Delta_k}. \quad (2)$$

Указанный алгоритм, как и любой другой, может быть формализован при помощи любой из известных эквивалентных вычислительных моделей [11, 12]. Предлагается для построения модели алгоритма  $A^{CRS}$  использовать аппарат продукционных систем, поскольку этот подход имеет ряд таких достоинств, существенных для рассматриваемой проблемной области [9], как:

- возможность автоматического формирования знаний;
- относительная простота создания и актуализации продукционной базы знаний.

Необходимо отметить, что при рассмотрении алгоритма  $A^{CRS}$  принята абстракция потенциальной осуществимости.

Продукционные системы оперируют с продукциями, являющимися словами в некоторых алфавитах. Исходя из этого опишем состояния КРС при помощи слов.

В работе [10] функционирование предлагаемой КРС описывалось с использованием множества образов  $T = \{T_k\}, k = \overline{1, N_K}$ , каждый из которых описывает словом состояние телекоммуникационного оборудования этой КРС

$$\Omega = \prod_{i=1}^{N_I} M_i = \left\{ (m_{1,j} m_{2,v} \dots m_{N_I,l})_k \right\}, \quad i = \overline{1, N_I}, k = \overline{1, N_K}, \quad (3)$$

где  $M_i$  – конечное множество, задающее набор возможных значений  $i$ -й характеристики телекоммуникационного оборудования КРС,  $m_{1,j} \in M_1, m_{2,v} \in M_2, \dots, m_{N_I,l} \in M_{N_I}$ .

Также в работе [11] было показано, что имеет место соотношение

$$|\Omega| < \prod_{i=1}^{N_I} |M_i|$$

Алгоритм  $A^{CRS}$  может быть формализован с помощью продукционной системы вида

$$A^{CRS} = \langle E, B, V, \Pi \rangle, \quad (4)$$

где  $E = \{\rho_e, \beta_s\}$  – основной алфавит, содержащий две группы символов:  $\rho_e, e = \overline{1, N_E}$ , – для описания радиоэлектронной обстановки (РЭО) на рассматриваемой территории;  $\beta_s, s = \overline{1, N_S}$ , – символы для описания состояния КРС,  $\alpha \cup (m_{1,j}, m_{2,v}, \dots, m_{N_I,l}) = \beta$ ;

$B = \{b_f\}, f = \overline{0, N_F}$ , – вспомогательный алфавит, содержащий символы, необходимые для разделения терминальных от нетерминальных слов;

$V = \{x_e\}, p = \overline{1, N_E}$ , – алфавит переменных;

---

$\Pi = \{\pi_u\}$ ,  $u = \overline{1, N_U}$ , – совокупность продукций в алфавитах  $E, B$  и  $V$ , содержащая как продукции-аксиомы, так и продукции, не являющиеся таковыми.

Не теряя общности рассуждений, будем считать, что все слова словарного множества  $\Omega$  выводимы при помощи системы (4). Таким образом модель алгоритма (4) описывает с конструктивистских позиций способ построения интересующего алгоритма

$$A^{CRS}(\rho_e, \omega_k, \alpha) = \omega_{k+\Delta_k}.$$

С учетом принятых в (1) обозначений имеют место следующие соотношения:  
 $\{m_{1,j}, m_{2,v}, \dots, m_{N_i,l}\} \subset X$ ,  $S = \{m_{1,j}, m_{2,v}, \dots, m_{N_i,l}\} \cup \rho_e \cup \alpha$ ,  $T = \{m_{1,j}, m_{2,v}, \dots, m_{N_i,l}\} \cup \rho_e \cup \alpha$ .

### **Заключение.**

Предлагаемый в работе подход позволяет построить модель алгоритма, разрешающего множество описаний КРС вида (3), которое может рассматриваться как язык рассматриваемой КРС.

В работе не рассматривались такие важные вопросы, как, конкретная структура слов-знаний, обеспечение минимального объема таких слов, формирование онтологий и другие, которые будут решены автором в последующих исследованиях.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Report ITU-R SM.2152. Definitions of Software Defined Radio (SDR) and Cognitive Radio System (CRS). URL: [https://www.itu.int/dms\\_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-SM.2152-2009-PDF-e.pdf](https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-SM.2152-2009-PDF-e.pdf) (дата обращения: 11.09.2022).
2. *Адамовский Е.Р., Чертков В.М., Богуш Р.П.* Модель формирования карты радиосреды для когнитивной системы связи на базе сотовой сети LTE // Компьютерные исследования и моделирование. – 2022. т. 14, № 1, с. 127-146.
3. *Голубинский А.Н.* Применение искусственной нейронной сети в виде многослойного перцептрона для формирования рейтинга частотных каналов в системе когнитивного радио // Теория и техника радиосвязи. – 2020, № 2, с. 64-73.
4. *Giral D., Hernández C., Salgado C.* Spectral decision in cognitive radio networks based on deep learning. Expert Systems with Applications. 2021. Vol. 180. URL: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.115080> (дата обращения: 27.02.2022).
5. *Mourougayane K., Srikanth S.* A tri-band full-duplex cognitive radio transceiver for tactical communications // IEEE Communications Magazine. – 2020, № 58, p. 61–65.
6. *Степанова Н.В.* Каналы доставки результатов зондирования спектра в двухъярусных сетях когнитивного радио // Инфокоммуникационные технологии. – 2020, т. 18, № 4, с. 473-477.
7. *Головской В.А., Филинов В.С.* Предложения по созданию когнитивных систем передачи данных для робототехнических комплексов // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2019, т. 13, № 9, с. 22-29.
8. *Головской В.А., Хренов М.Н., Алферов М.А.* Функциональная модель конфликтно-устойчивой когнитивной системы передачи данных робототехнических комплексов // Сборник статей II Всероссийской НТК «Состояние и перспективы развития современной науки по направлению «Информационная безопасность». ФГАУ «Военный инновационный технополис «ЭРА». Анапа. – 2020., с.98-104.
9. *Жожикашвили А.В.* Категорная технология создания и развития интеллектуальных систем, основанных на знании // Информационные процессы. – 2016, т. 16, № 4, с.312-332.
10. *Головской В. А.* О проблеме обеспечения конфликтной устойчивости радиосистемы робототехнического комплекса // Информационная безопасность - актуальная проблема современности. Совершенствование образовательных технологий

---

подготовки специалистов в области информационной безопасности: Материалы XXIV Всероссийской межведомственной НТК. Геленджик. – 2022, т.2, с. 49-55.

11. *Рогожин Ю.В.* Универсальные вычисления // Математические вопросы кибернетики. Вып. 8. М.: Наука. – 1999, с. 147-190.
12. *Хопкрофт Д.Э., Мотвани Р., Ульман Д.Д.* Введение в теорию автоматов, языков и вычислений, 2-е изд. Пер. с англ. М.: Издательский дом «Вильямс», 2008. 528 с.

**А.Н. Шухардин<sup>1</sup>, А.В. Шкорина<sup>2</sup>**

## **МЕТОДИКА ОПЕРАТИВНОГО ВЫБОРА ПУТЕЙ ДОВЕДЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ В ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ**

Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени ФГБОУ ВО «Московский технический университет связи и информатики», г. Ростов-на-Дону, Россия<sup>1</sup>  
Военная академия Ракетных войск стратегического назначения им. Петра Великого, Московская обл., г. Балашиха, Россия<sup>2</sup>

Ключевые слова: оперативный выбор, информационно-телекоммуникационная система, пути доведения информации.

В статье рассматривается методика, позволяющая выбрать пути доведения информации в информационно-телекоммуникационных системах, а также оценить выполнение предъявляемых требований к системе доведения информации до всех узлов системы при изменениях характеристик системы в процессе эксплуатации.

**A.N. Shukhardin<sup>1</sup>, A.V. Shkorina<sup>2</sup>**

## **METHODOLOGY FOR THE OPERATIONAL SELECTION OF WAYS TO COMMUNICATE INFORMATION IN INFORMATION AND TELECOMMUNICATION SYSTEMS**

North Caucasus branch of Moscow Technical University  
of Communications and Informatics, Rostov-on-Don, Russia<sup>1</sup>  
Military Academy of Strategic Missile Forces, Moscow region, Balashikha, Russia<sup>2</sup>

Keywords: operational selection, information and telecommunication system, ways of communicating information.

The article discusses a technique that allows you to choose ways to communicate information in information and telecommunications systems, as well as to evaluate the fulfillment of the requirements for the system of communicating information to all nodes of the system when the characteristics of the system change during operation.

В работах [1, 2] было показано, что применение положений теории раскрашенных иерархических сетей Петри [3, 4] позволяет создавать модели современных сложных информационно-телекоммуникационных систем (ИТС), позволяющие с относительно невысокими вычислительными затратами проводить моделирование функционирования таких систем, проведение натурных исследований в которых в процессе эксплуатации либо невозможно, либо не целесообразно по различным причинам.

В работах [5, 6] представлена методика, позволяющая эксплуатирующему персоналу на основе построенных моделей таких систем при изменении её структуры, характеристик

её элементов оперативно находить все возможные существующие в текущий момент времени пути доведения информации от пункта-источника до всех узлов в ИТС, а также рассчитать вероятность и сроки доставки сообщений для каждого пути.

Однако вопросы оценки результатов проведенного моделирования и принятия решения по результатам моделирования в этих работах не изложены. Требуется разработать методику оперативного выбора путей доведения информации в ИТС, которая позволяла бы эксплуатирующему персоналу оперативно для каждого узла системы выбрать путь (или совокупность путей), обеспечивающий выполнение требуемых значений вероятности и времени доведения информации, или выявить узлы, для которых таких путей не существует.

Структурными элементами данной методики являются методика оценивания [6] и математическая модель функционирования ИТС [2] при доведении сообщений. Выполнение разработанной методики производится в четыре этапа. Порядок выполнения методики представлен на рисунке 1.

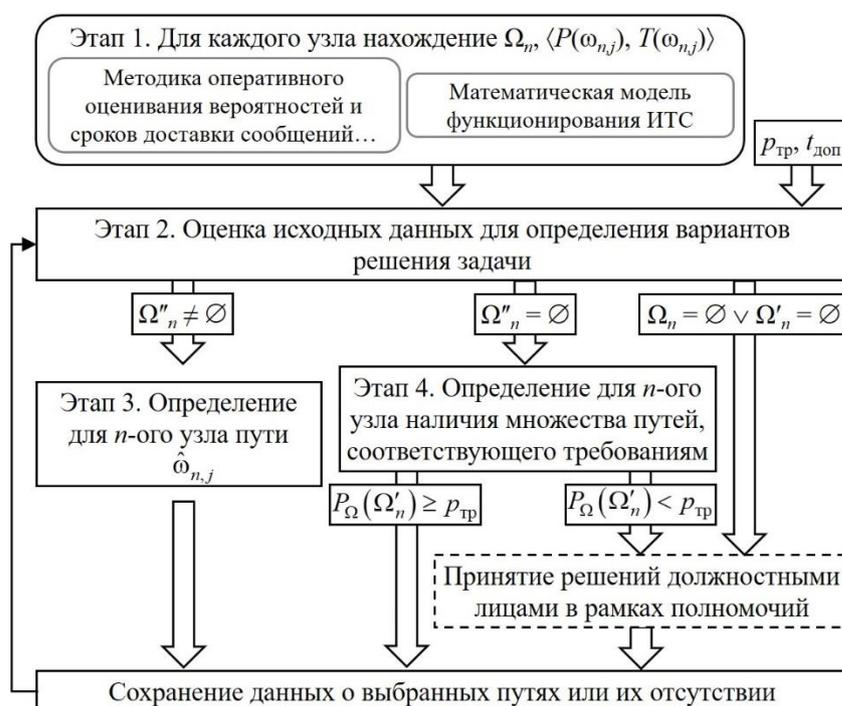


Рисунок 1. Порядок выполнения методики оперативного выбора путей доведения информации в ИТС

На первом этапе методики с целью формирования данных для второго этапа производится выполнение методики оперативного оценивания вероятностей и времён доведения информации до каждого узла системы, описанной выше. В результате выполнения первого этапа формируются множества  $\Omega_n$  существующих в расчётный момент времени путей  $\omega_{n,j}$  доведения информации до каждого  $n$ -ого узла системы и кортежи значений вероятности и времени доведения информации по каждому из путей  $\langle P(\omega_{n,j}), T(\omega_{n,j}) \rangle$ . Кроме того, исходными данными для выполнения второго этапа методики являются требуемая вероятность доведения информации  $p_{тр}$  и допустимое время доведения информации  $t_{доп}$  до узлов системы, задаваемые требованиями к системе.

На втором этапе для каждого узла системы проводится оценка полученных на первом этапе данных с целью определения возможных вариантов решения задачи.

Если определено, что  $\Omega_n = \emptyset$ , представляются данные об отсутствии путей доведения информации до  $n$ -ого узла системы, соответствующих предъявляемым требованиям, так как для него в данный расчётный момент времени в ИТС не существует

путей доведения информации. На этом для  $n$ -ого узла выполнение методики завершается и осуществляется переход ко второму этапу для оценки данных следующих узлов.

Иначе, определяется подмножество  $\Omega'_n$  путей  $\omega'_{n,q}$  доведения информации до  $n$ -ого узла ИТС, характеризуемых значением времени, не превышающим  $t_{\text{доп}}$ :

$$\Omega'_n \subset \Omega_n, |\Omega'_n| = Q_n, \Omega'_n = \left\{ \omega'_{n,q} \mid T(\omega'_{n,q}) \leq t_{\text{доп}}, q = \overline{1, Q_n} \right\}, \quad (1)$$

где  $\omega'_{n,q}$  –  $q$ -й путь доведения информации до  $n$ -ого узла.

Если определено, что  $\Omega'_n = \emptyset$ , представляются данные об отсутствии путей доведения информации до  $n$ -ого узла системы, соответствующих предъявляемым требованиям, так как для него в данный расчетный момент времени в ИТС не существует путей доведения информации. На этом для  $n$ -ого узла выполнение методики завершается и осуществляется переход ко второму этапу для оценки данных следующих узлов.

Если определено, что  $\Omega'_n \neq \emptyset$ , то в подмножестве  $\Omega'_n$  определяется подмножество  $\Omega''_n$  путей доведения информации до  $n$ -ого узла системы, характеризуемых значением вероятности, не ниже  $p_{\text{тр}}$ :

$$\Omega''_n \subset \Omega'_n, |\Omega''_n| = Q'_n, \Omega''_n = \left\{ \omega''_{n,q'} \mid P(\omega''_{n,q'}) \geq p_{\text{тр}}, q' = \overline{1, Q'_n} \right\}, \quad (2)$$

где  $\omega''_{n,q'}$  –  $q'$ -й путь доведения информации до  $n$ -ого узла.

Если  $\Omega''_n \neq \emptyset$ , то осуществляется переход к третьему этапу методики, в ходе выполнения которого методом прямого перебора находится путь, соответствующий критерию

$$\hat{\omega}''_{n,q'} = \arg \max_{\omega''_{n,q'} \in \Omega''_n} P(\omega''_{n,q'}). \quad (3)$$

Найденный путь  $\hat{\omega}''_{n,q'}$  и является искомым  $\hat{\omega}_{n,j}$ . Данные о нём представляются эксплуатирующему персоналу. Для отображения найденного пути  $\hat{\omega}_{n,j}$  на схеме последовательность сработавших переходов представляется как последовательность пройденных пакетом информации узлов системы и каналов связи между ними до  $n$ -ого узла системы. На этом для  $n$ -ого узла выполнение методики завершается и осуществляется переход ко второму этапу для оценки данных следующих узлов.

Если  $\Omega''_n = \emptyset$ , то для  $n$ -ого узла единственного пути  $\hat{\omega}_{n,j}$ , соответствующего предъявляемым требованиям, не существует, и выполняется четвёртый этап методики, на котором производится оценка совокупности путей  $\Omega'_n$  на соответствие установленным требованиям. Для подмножества путей вычисляется значение вероятности  $P_{\Omega}(\Omega'_n)$  доведения информации до этого узла. Доведение информации по подмножеству путей  $\Omega'_n$  есть наступление хотя бы одного из событий «доведение информации по отдельному пути  $\omega'_{n,q} \in \Omega'_n$ ». Так как события «доведение информации по отдельному пути  $\omega'_{n,q}$ » являются независимыми в совокупности, то вероятность наступления хотя бы одного из событий, независимых в совокупности, определяется выражением:

$$P_{\Omega}(\Omega'_n) = 1 - \prod_{q=1}^{Q_n} (1 - P(\omega'_{n,q})), \quad (4)$$

где  $P(\omega'_{n,q})$  – вероятность доведения информации до  $n$ -ого узла системы по пути  $\omega'_{n,q}$ .

Вместе с тем, из-за особенностей функционирования ИТС (доведение информации по всем возможным каналам, распараллеливанием, дублированием, избыточностью структуры ИТС и т.п.) пути подмножества  $\Omega'_n$  могут иметь общие элементы (узлы, ЛС). При этом значение вероятности, вычисленное в соответствии с выражением (4), будет некорректно и завышено.

Для получения более корректного результата предложен подход с использованием функции поглощения, описанный в ГОСТ Р 53111–2008 [7]. При определении вероятности  $P_{\Omega}(\Omega'_n)$  доведения информации до  $n$ -ого узла по подмножеству путей  $\Omega'_n$  в соответствии с выражением (4) вероятность  $P(\omega'_{n,q})$  представляется как произведение значений вероятностей функционирования узлов системы и значений вероятностей передачи информации по линиям связи, и после раскрытия скобок у всех членов выражения заменяются на единицу значения показателей степени, имеющие значения больше единицы. Таким образом, исключается возможность многократного учета вероятности существования узла или передачи информации по ЛС. В соответствии с этим выражение для вычисления вероятности доведения информации до  $n$ -ого узла по подмножеству путей  $\Omega'_n$  принимает следующий вид:

$$P_{\Omega}(\Omega'_n) = E \left\{ 1 - \prod_{q=1}^{Q_n} \left( 1 - \prod_{z=1}^{Z_q} p_{u,z} \right) \right\}, \quad (5)$$

где  $p_{u,z}$  – значение вероятности срабатывания  $z$ -го помеченного перехода в  $q$ -ом пути до  $n$ -ого узла;

$Z_q$  – количество помеченных переходов в  $q$ -ом пути до  $n$ -ого узла;

$E$  – функция поглощения.

Если  $P_{\Omega}(\Omega'_n)$  не ниже  $p_{\text{тр}}$ , т.е. удовлетворяет критерию

$$P_{\Omega}(\Omega'_n) \geq p_{\text{тр}}, \quad (6)$$

то выполнение всего подмножества путей  $\Omega'_n$  соответствует предъявляемым требованиям. В этом случае при выполнении доведения информации каждый путь подмножества  $\Omega'_n$  является обязательным для реализации. Для отображения на схеме в подмножестве  $\Omega'_n$  методом прямого перебора определяется путь, характеризующийся максимальным значением вероятности, по критерию

$$\hat{\omega}'_{n,q} = \arg \max_{\omega'_{n,q} \in \Omega'_n} P(\omega'_{n,q}). \quad (7)$$

Полученные данные представляются для отображения на схеме. На этом для  $n$ -ого узла выполнение методики завершается и осуществляется переход ко второму этапу для оценки данных следующих узлов.

Если  $P_{\Omega}(\Omega'_n)$  не удовлетворяет критерию (6), представляются данные об отсутствии путей доведения информации до  $n$ -ого узла, соответствующих предъявляемым требованиям. На этом для  $n$ -ого узла выполнение методики завершается и осуществляется переход ко второму этапу для оценки данных следующих узлов.

Во всех случаях представления данных об отсутствии до  $n$ -ого узла ИТС путей доведения информации, соответствующих предъявляемым требованиям, должностные лица в рамках своих полномочий должны принять решение о порядке доведения информации до  $n$ -ого узла системы с использованием других средств или принять

компенсационные меры, приводящие ИТС в состояние, позволяющее получить пути доведения информации до указанного узла, соответствующие требованиям.

Выполнение 2–4 этапов методики описано алгоритмом выбора пути доведения информации до каждого узла ИТС, изображённым на рисунках 2, 3, и начинается с загрузки исходных данных (рисунок 2, блок 1) – данных, найденных на 1-ом этапе, а также значений  $p_{тр}$  и  $t_{доп}$ . Все три этапа методики проводятся в теле цикла «Перебор узлов» (блоки 3–17), в котором последовательно для каждого узла ИТС осуществляется выбор путей, обеспечивающих выполнение требуемых значений вероятности и времени доведения информации.

Второй этап методики реализован блоками 4–8. В случае если до  $n$ -ого узла не существует путей доведения информации, множество  $\Omega_n$  пустое (блок 4, решение «Да»), выполнение методики для этого узла завершается. Производится сохранение информации об отсутствии путей доведения информации до  $n$ -ого узла в ИТС, позволяющих обеспечить выполнение требуемых значений вероятности и времени доведения информации (блок 15) в данный расчетный момент времени. После этого счётчик  $n$  увеличивается на 1 (блок 16), и цикл может повториться для нового значения  $n$  до перебора всех  $N$  узлов рассматриваемой системы (блок 17).

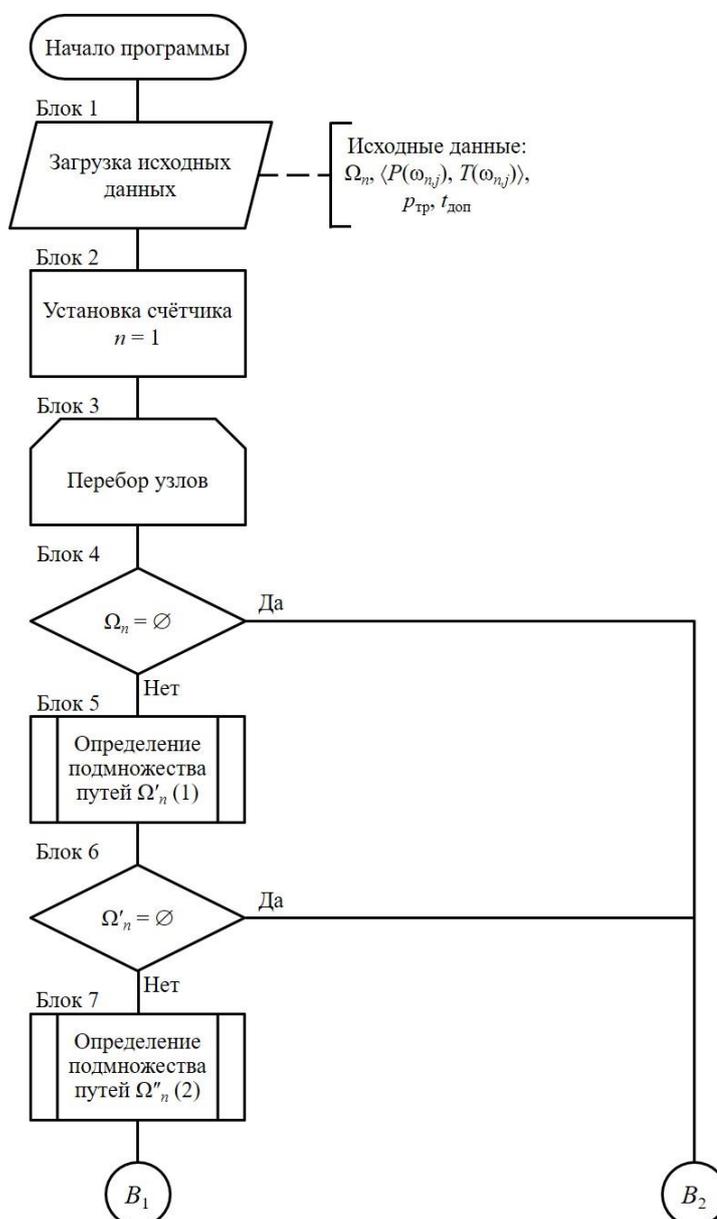


Рисунок 2. Алгоритм выбора пути доведения информации до каждого узла ИТС (часть 1)

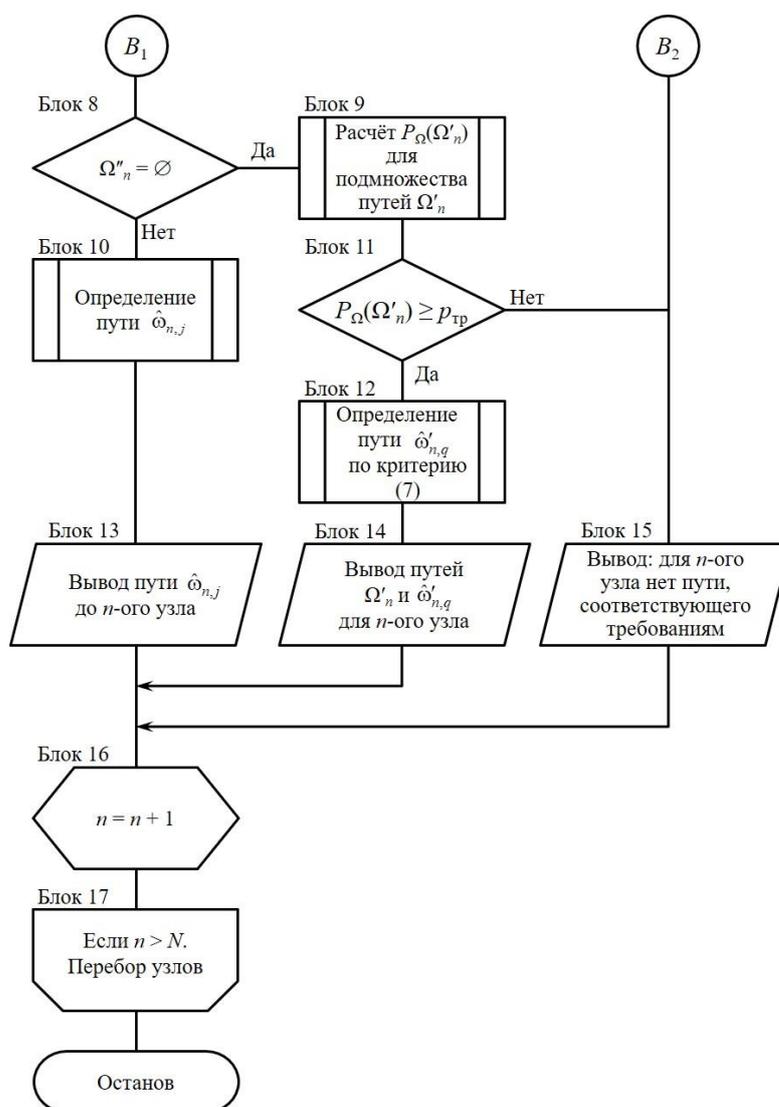


Рисунок 3. Алгоритм выбора пути доведения информации до каждого узла ИТС (часть 2)

Если до  $n$ -ого узла существуют пути доведения информации (блок 4, решение «Нет»), то для него в блоке 5 методом прямого перебора определяется подмножество  $\Omega'_n$  (1) путей, учитывающее ограничение по значению времени.

В случае, если в подмножестве  $\Omega'_n$  не существует путей до  $n$ -ого узла (блок 6, решение «Да»), выполнение методики для этого узла завершается. Производится сохранение информации об отсутствии путей доведения информации до  $n$ -ого узла в ИТС, позволяющих обеспечить выполнение требуемых значений вероятности и времени доведения информации (блок 15) в данный расчетный момент времени. После этого счётчик  $n$  увеличивается на 1 (блок 16), и цикл может повториться для нового значения  $n$  до перебора всех  $N$  узлов рассматриваемой системы (блок 17).

Если подмножество  $\Omega'_n$  не пустое (блок 6, решение «Нет»), то для неё в блоке 7 методом прямого перебора определяется подмножество  $\Omega''_n$  (2) путей, учитывающее ограничение по значению вероятности. Второй этап методики заканчивается анализом подмножества  $\Omega''_n$ .

Если подмножество  $\Omega''_n$  не пустое (блок 8, решение «Нет»), то начинается третий этап методики (блоки 10, 13). В блоке 10 методом прямого перебора в подмножестве  $\Omega''_n$  определяется путь, характеризующийся максимальным значением вероятности по критерию (3). Далее производится его сохранение (блок 13). На этом выполнение методики для  $n$ -ого узла завершается. После этого счётчик  $n$  увеличивается на 1 (блок 16), и цикл

---

может повториться для нового значения  $n$  до перебора всех  $N$  узлов рассматриваемой системы (блок 17).

Если подмножество  $\Omega''_n$  пустое (блок 8, решение «Да»), то начинается четвёртый этап методики (блоки 9, 11, 12, 14). Для подмножества путей доведения информации до  $n$ -ого узла  $\Omega'_n$ , характеризуемого значением времени, не превышающим  $t_{\text{доп}}$ , вычисляется значение вероятности  $P_{\Omega}(\Omega'_n)$  (5) доведения информации до этого узла по всему подмножеству путей (блок 9).

Если  $P_{\Omega}(\Omega'_n)$  не ниже  $p_{\text{тр}}$ , т.е. удовлетворяет критерию (6), (блок 11, решение «Да»), то выполнение всего подмножества путей  $\Omega'_n$  позволит удовлетворить заданные требования к вероятности и времени доведения информации, и, соответственно, при доведении информации каждый его путь является обязательным для реализации.

Для отображения на схеме в подмножестве  $\Omega'_n$  методом прямого перебора определяется путь, характеризующийся максимальным значением вероятности по критерию (7) (блок 12). На этом выполнение методики для  $n$ -ого узла завершается, производится сохранение полученных данных для отображения на схеме (блок 14). После этого счётчик  $n$  увеличивается на 1 (блок 16), и цикл может повториться для нового значения  $n$  до перебора всех  $N$  узлов рассматриваемой системы (блок 17).

Если  $P_{\Omega}(\Omega'_n)$  не удовлетворяет критерию (6) (блок 10, решение «Нет»), производится сохранение информации об отсутствии путей доведения информации до  $n$ -ого узла, позволяющих обеспечить выполнение требуемых значений вероятности и времени доведения информации (блок 11), выполнение методики для  $n$ -ого узла завершается. После этого счётчик  $n$  увеличивается на 1 (блок 16), и цикл может повториться для нового значения  $n$  до перебора всех  $N$  узлов рассматриваемой системы (блок 17).

Цикл завершается при окончании последовательного перебора всех узлов рассматриваемой системы (блок 17). На этом завершается выполнение методики.

Сходимость описанного алгоритма достигается конечностью цикла «Перебор узлов» (блоки 3–17), обеспечиваемой последовательным изменением значения счётчика и заданием его максимального значения.

В результате выполнения разработанной методики формируется 3 группы узлов:

- a. множество узлов, имеющих путь доведения информации, характеризующийся максимальным значением вероятности, при этом не ниже  $p_{\text{тр}}$ , и значением времени, не превышающим  $t_{\text{доп}}$ ;
- b. множество узлов, имеющих совокупность  $\Omega'_n$  путей доведения информации, выполнение которых позволит обеспечить выполнение требуемых значений вероятности и времени доведения информации;
- c. множество узлов, для которых отсутствуют пути, позволяющие обеспечить выполнение требуемых значений вероятности и времени доведения информации.

Таким образом, разработанная методика оперативного выбора путей доведения информации в ИТС позволяет для каждого узла рассматриваемой системы выбрать путь (или совокупность путей) доведения информации, позволяющий обеспечить выполнение требуемых значений вероятности и времени доведения информации, или выявить узлы, для которых таких путей не существует, для своевременного принятия компенсационных мер.

Для одного из частных случаев информационно-телекоммуникационных систем, а, именно, автоматизированной системы управления, данная методика доведена до функционирующего программного продукта, она реализована в среде Delphi 10.3.3 Community Edition, получено свидетельство о регистрации программы для ЭВМ [8].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шкорина А.В., Шухардин А.Н. Модель территориально-распределенной иерархической автоматизированной системы управления // Информация и космос. – 2020. № 3, С. 94-99.
2. Шухардин А.Н., Шкорина А.В. Модель информационно-телекоммуникационной системы на базе сетей Петри // Труды Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики. - 2021. № 1. С. 158-161.
3. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем / Дж. Питерсон : перевод с английского под ред. В. А. Горбатова. – М. : Мир, 1984. – 264 с.
4. Тронин В. Г. Применение раскрашенных сетей Петри в моделировании вычислительной сети // Автоматизация процессов управления. – 2007. № 2. С. 97–102.
5. Шухардин А.Н., Шкорина А.В. Оценка вероятностно-временных характеристик доведения информации в автоматизированной системе управления войсками и оружием // Вестник Ярославского высшего военного училища противовоздушной обороны. – 2019. № 4(7), С. 162-169.
6. Шухардин А.Н., Шкорина А.В. Методика оперативного оценивания вероятностей и сроков доставки сообщений в информационно-телекоммуникационных системах // Труды Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики. 2021. № 1. С. 153-157.
7. ГОСТ Р 53111–2008 Устойчивость функционирования сети связи общего пользования. Требования и методы проверки: национальный стандарт Российской Федерации. - М.: Стандартинформ, 2008.
8. Шкорина А.В. Методика выбора допустимого варианта доведения информации в автоматизированной системе управления // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ №2020616029. 08.06.2020г.

С.В. Петров<sup>1</sup>, И.Е. Афонин<sup>1</sup>, В.В. Ершов<sup>2</sup>

### ОБОСНОВАНИЕ И ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПОКАЗАТЕЛЯ УСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНО-КОСМИЧЕСКОЙ ОБОРОНОЙ

Краснодарское высшее военное авиационное училище лётчиков имени Героя Советского Союза А.К. Серова, Краснодар, Россия<sup>1</sup>

Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени ФГБОУ ВО «Московский технический университет связи и информатики», г. Ростов-на-Дону, Россия<sup>2</sup>

Ключевые слова: показатель устойчивости, показатель связности, информационное направление, система управления, воздушно-космическая оборона, командный пункт, узел связи, средства воздушно-космического нападения, теория графов.

В статье представлены обоснование и формализация показателя устойчивости системы управления воздушно-космической обороной, необходимые для разработки модели оценивания в конфликте со средствами воздушно-космического нападения. Материал статьи в дальнейшем планируется к использованию для разработки модели оценивания устойчивости системы управления воздушно-космической обороной в конфликте со средствами воздушно-космического нападения противника.

**SUBSTANTIATION AND FORMALIZATION OF THE STABILITY INDICATOR OF THE AEROSPACE DEFENSE CONTROL SYSTEM**

Krasnodar Higher Military Aviation School of Pilots named after Hero of the Soviet Union A.K. Serov, Krasnodar, Russia<sup>1</sup>  
North Caucasus branch of Moscow Technical University of Communications and Informatics, Rostov-on-Don, Russia<sup>2</sup>

**Keywords:** stability indicator, connectivity indicator, information direction, control system, aerospace defense, command post, communications node, means of aerospace attack, graph theory.

The article presents the justification and formalization of the stability indicator of the aerospace defense control system, necessary for the development of an assessment model in a conflict with the means of aerospace attack. The material of the article is planned to be used in the future to develop a model for assessing the stability of the aerospace defense control system in a conflict with the means of an enemy aerospace attack.

**Введение.**

Непрерывное развитие средств воздушно-космического нападения (СВКН) вероятного противника, форм их боевого применения и способов действий вынуждают военно-политическое руководство нашей страны совершенствовать организационную структуру, как Вооруженных сил, в целом, так и войск воздушно-космической обороны (ВКО), в частности.

В настоящее время нанесение Быстрого глобального удара (БГУ) является реальной угрозой для РФ, а его готовность и способность его отразить – важнейшей задачей ВКО. При этом надо учитывать, что первый эшелон БГУ будет ориентирован именно на поражение основных элементов ВКО, и обеспечение боевой устойчивости ВКО, в целом, и устойчивости ее системы управления, в частности, является актуальнейшей и важнейшей задачей, без решения которой отражение ударов последующих эшелонов БГУ, направленных на поражения сил ядерного сдерживания, центров государственного и военного управления РФ, окажется попросту невозможным [1, 2]. Вместе с тем несмотря на большое количество работ, связанных с развитием эффективности различных аспектов ВКО, такое направление исследований как повышение устойчивости системы управления ВКО в условиях массированного удара СВКН, не получило должного развития. В большинстве исследований совершенствование ВКО рассматривается через повышение эффективности уже существующих образцов вооружения, военной и специальной техники: радиолокационных станций, автоматизированных систем управления, комплексов средств автоматизации, зенитно-ракетных комплексов и систем.

Целью исследований авторов является разработка модели оценивания устойчивости системы управления (СУ) ВКО в конфликте со СВКН, а также формализация показателя ее устойчивости. В основу модели положена формализация пространственно-распределенной структуры СУ ВКО в виде графа сети, на которую «накладывается» параметры пространственной конфигурации средств разведки и дестабилизирующих воздействий СВКН.

Ввиду того, что показатели устойчивости СУ ВКО определяются параметрами графа, который ее формализует, определим логическую взаимосвязь показателей устойчивости СУ ВКО с показателями связности из теории графов. При этом будем считать, что отдельные командные пункты (КП), вместе с узлом связи (УС) в его составе, а в некоторых случаях отдельно организованные УС (в соответствии со схемой связи СУ) – соответствуют вершинам графа, а линии связи – ребрам графа.

Введем основные понятия, используемые в модели.

*Маршрут* – конечная чередующаяся последовательность вершин и ребер в графе  $G(u, v)$ , формализующем систему управления ВКО, начинающаяся и оканчивающаяся на вершинах, являющимися концевыми. Маршрут называется открытым, если его концевые вершины различны, в противном случае он называется замкнутым.

*Цепь* – маршрут, в котором все его ребра (но не вершины) различны.

*Путь* – открытая цепь, то есть цепь, концевые вершины которой различны.

*Степень вершины* – число ребер, инцидентных этой вершине.

*Информационное направление (ИН)* – путь, представляющий собой совокупность ребер и узлов в графе, формализующем систему управления ВКО, по которому осуществляется обмен информацией либо между двумя КП (органами управления), либо между отдельным КП (органом управления) и подчиненными ему силами и средствами. Информационное направление состоит из одного или нескольких путей передачи данных информационного обеспечения и команд боевого управления.

*Подграф ИН ( $G_{ИН}$ )* – подграф, образованный из графа  $G$  элементами (вершинами и ребрами), входящими в данное ИН.

Показатели связности СУ ВКО могут быть определены через показатели связности графа  $G(u, v)$ , формализующего СУ ВКО, в виде множеств вершин  $\{u\}$  и соединяющих их ребер  $\{v\}$  (рисунок 1). При этом, как правило, в процессе формализации СУ вершинами графа представляются такие узлы СУ, к которым направлены не менее трех линий связи. Показатели связности  $i$ -го ИН определяются через показатели связности его подграфа  $G_{ИН i}$ .

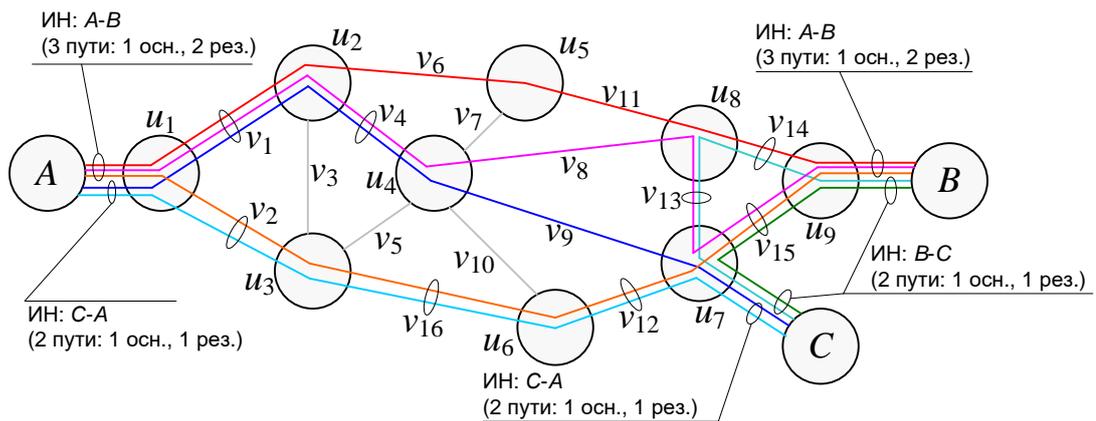


Рисунок 1. Граф, формализующий СУ ВКО

Для графа  $G$  различают показатели вершинной  $x_u$  и реберной  $x_v$  связности. Вершинная связность  $x_u$  определяет минимальное число вершин, удаление которых приводит к несвязному графу, а реберная связность  $x_v$  – минимальное число ребер, удаление которых приводит к тому же результату [6]. Минимальная степень вершины  $\delta_{min}$  в графе  $G$  определяется минимальным количеством ребер, инцидентных вершине. Показатели  $x_v$ ,  $x_u$  и  $\delta_{min}$  связаны между собой следующим неравенством:

$$x_u \leq x_v \leq \delta_{min} \leq 2m/n, \quad (1)$$

где:  $m$  – количество ребер в графе;  $n$  – количество вершин в графе.

Проведя анализ выражения (1), можно сделать вывод о том, что связность графа  $G$  нарушается при удалении  $x_u$  вершин или  $x_v$  ребер. Предельный случай для неравенства (1) наступает в случае, если граф сети полносвязный. В этом случае любая пара вершин графа связана между собой ребром и имеет место равенство:

$$x_u = x_v = \delta_{min} = 2m/n. \quad (2)$$

Таким образом, значение связности СУ ВКО максимально для полносвязного графа. Для остальных случаев ее значение не может превысить значения минимальной степени вершины  $\delta_{min}$ . То есть для повышения связности СУ ВКО в условиях дестабилизирующих воздействий системы СВКН необходимо равномерное распределение плотности степеней вершин формализованного графа СУ ВКО.

Для системы связи специального назначения значение вершинной связности  $x_u$  определяет количество вершин графа, поражение которых приведет к несвязному графу СУ ВКО, то есть к утрате свойства устойчивости. Значение реберной связности  $x_v$  определяет количество линий связи (ребер графа), приведение которых в неработоспособное состояние приведет к тому же результату.

Анализ функционирования СУ ВКО в условиях быстрого глобального удара (БГУ) СВКН позволяет сделать вывод о том, что основными источниками дестабилизирующих воздействий на линии связи и радиолокационные станции (РЛС) являются преднамеренные помехи, а на КП и их УС – ударные средства физического поражения и функциональное поражение электромагнитным излучением (ФП ЭМИ) [2-5]. Причем вклад преднамеренных помех в складывающуюся электромагнитную обстановку в военное время несоизмеримо больше, нежели естественных помех, а вероятность поражения КП средствами поражения много выше вероятности его отказа вследствие естественных процессов надежности. Поэтому для СУ ВКО значение реберной связности  $x_v$  характеризует эффективность применения средств радиоэлектронного подавления, а значение вершинной связности  $x_u$  – эффективность применения средств поражения (физического и ФП ЭМИ). Таким образом, значения вершинной ( $x_u$ ) и реберной ( $x_v$ ) связности формализованного графа СУ ВКО могут служить как критериями устойчивости СУ ВКО, так и критериями эффективности дестабилизирующих воздействий СВКН и определять то количество элементов СУ ВКО, отказ которых соответствует утрате свойства устойчивости.

Дополнительно к показателям реберной и вершинной связности можно использовать показатели из теории сложных сетей, представленные в работе [6] и также описывающие устойчивость формализованного графа СУ ВКО.

1) Диаметр графа  $D(G)$  – длина максимального из кратчайших путей  $d_{ij}$ , которые можно сформировать между всеми вершинами графа  $G$ :

$$D(G) = \max(d_{ij} \mid d_{ij} < \infty), i=1\dots n, j=1\dots n, i \neq j. \quad (3)$$

В современных сетевых протоколах маршрутизации, как правило, используется ограничение на число ретрансляций сообщения. Соответственно, в графе, представляющим такую СУ ВКО, будут считаться связными только те пары узлов (вершин графа), между которыми существует путь, имеющий длину не более заданного. Таким образом, данный показатель характеризует требование к сетевому протоколу маршрутизации по возможному количеству ретрансляций сообщений (данных информационного обеспечения и команд).

2) Функция распределения степеней вершин  $F(\delta_i)$  графа  $G$ , определяемая вероятностью того, что вершина  $u_i$  в графе  $G$  имеет степень  $\delta_i$ . Функция  $F(\delta_i)$  может характеризоваться распределением Пуассона, экспоненциальным или степенным распределением и используется при анализе вероятностных характеристик связности графа, формализующего СУ ВКО.

3) Средний путь  $d_{cp}$  между вершинами графа  $G$ :

$$d_{cp} = \frac{2}{n(n+1)} \sum_{i \neq j} d_{ij}, \quad (4)$$

где:  $n$  – количество вершин графа;

$d_{ij}$  – кратчайший путь между  $i$ -ой и  $j$ -ой вершинами графа.

Чем меньше величина среднего пути  $d_{ср}$ , тем меньше элементов СУ ВКО (вершин и ребер) входит в состав путей ИН и, соответственно, ниже вероятность их отказа и выше вероятность связности СУ ВКО.

4) Показатель уязвимости сети  $H_z$  относительно удаления  $z$ -го элемента СУ ВКО (вершины или ребра):

$$H_z = |E - E_z| / E, \quad (5)$$

где:  $E$  – эффективность исходной сети;

$E_z$  – эффективность сети после удаления  $z$ -го элемента (вершины или ребра).

В качестве меры эффективности могут быть использованы усредненные показатели качества обслуживания в сети связи СУ ВКО. Для пакетных сетей связи такими показателями могут являться: пропускная способность сети, нормированная к количеству ИН; средняя длительность передачи сообщения (пакета) от КП-источника к КП-получателю в СУ ВКО; вероятность отказа в обслуживании.

5) Посредничество  $b_u$  вершины  $u$ :

$$b_u = \sum_{i \neq j} \frac{\varphi(i, u, j)}{\varphi(i, j)}, \quad (6)$$

где:  $\varphi(i, j)$  – общее количество путей между вершинами  $i$  и  $j$ ;

$\varphi(i, u, j)$  – количество путей между вершинами  $i$  и  $j$ , проходящих через вершину  $u$ .

Величина посредничества вершины  $b_u$  определяет степень важности соответствующего ей узла связи при маршрутизации информационных потоков, то есть чем выше  $b_u$ , тем большее количество транзитных маршрутов, проходящих через узел связи  $u$ , будут нуждаться в перенаправлении в случае его отказа.

б) Коэффициент кластеризации вершины  $Y_u$ :

$$Y_u = \frac{2\delta_{u\Sigma}}{\delta_u(\delta_u - 1)}, \quad (7)$$

где:  $\delta_u$  – степень вершины  $u$ ;

$\delta_{u\Sigma}$  – суммарная степень вершин, инцидентных вершине  $u$ .

Большое значение коэффициента кластеризации является признаком принадлежности вершины к группе узлов с высокой плотностью взаимосвязей между собой, а распределение коэффициента кластеризации – соответствует тенденции к образованию таких групп.

Показатели уязвимости  $H_z$ , посредничества  $b_u$  и кластеризации  $Y_u$  могут быть использованы при определении коэффициентов важности элементов СУ ВКО в ходе решения как задач повышения устойчивости СУ ВКО, так и задач повышения эффективности воздействия на нее СВКН. Например, учет коэффициента кластеризации  $Y_u$  позволит скорректировать направление воздействия ударных средств СВКН с целью подавления граничных элементов кластеров в интересах декомпозиции СУ ВКО на изолированные кластеры.

По аналогии с устойчивостью систем связи [6, 7] введем показатель устойчивости СУ ВКО в виде значения вероятности связности ИН  $P_{св}$ , под которой понимается вероятность того, что на заданном направлении связи между двумя отдельными КП

существует хотя бы один путь, по которому возможна передача информации с требуемым качеством (QoS – Quality of Service):

$$P_{св} = P(k_{QoS} \geq 1 \mid \{Q_k\} \in \{Q^{треб}\}), \quad (8)$$

где:  $k_{QoS}$  – количество работоспособных путей на заданном ИН, обеспечивающих заданное качество обслуживания QoS;

$Q_k$  – качество обслуживания, обеспечиваемое путями (путем) на заданном ИН;

$Q^{треб}$  – требуемый уровень качества обслуживания.

Вместе с тем, данное определение устойчивости не учитывает важность отдельных ИН, количество и распределение в них путей, а также особенности влияния на них дестабилизирующих воздействий. В связи с этим, в качестве показателя устойчивости СУ ВКО предлагается использовать *среднюю вероятность устойчивости ИН* ( $P_{у\text{ ср}}$ ):

$$P_{у\text{ ср}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N P_{у\text{ }i}, \quad (9)$$

где:  $N$  – количество ИН в СУ ВКО;

$P_{у\text{ }i}$  – устойчивость  $i$ -го ИН,  $i = \overline{1, N}$ .

При этом устойчивость каждого  $i$ -го ИН  $P_{у\text{ }i}$ , входящего в сумму (9), будет определяться выражением [6]:

$$P_{у\text{ }i} = K_{Г\text{ }i} P_{св\text{ }i}, \quad (10)$$

где:  $K_{Г\text{ }i}$  – коэффициент готовности  $i$ -го ИН;

$P_{св\text{ }i}$  – вероятность связности  $i$ -го ИН в условиях влияния на его элементы дестабилизирующих воздействий.

В выражении (10) коэффициент готовности  $K_{Г\text{ }i}$  определяет временные параметры процесса отказ – восстановление ИН при влиянии на ИН дестабилизирующих факторов СВКН, а вероятность связности  $P_{св\text{ }i}$  – структурно-вероятностные параметры ИН.

Необходимо отметить, что при использовании показателя устойчивости в виде выражения (9) вводится допущение о равнозначности различных ИН в составе СУ ВКО. Однако ИН имеют различную важность и для учета их различного вклада в общий показатель устойчивости (выражение (9)) целесообразно ввести соответствующие весовые коэффициенты важности  $\alpha_i$  для каждого  $i$ -го ИН в СУ ВКО [6]:

$$P_{у\text{ ср}} = \sum_{i=1}^N \alpha_i P_{у\text{ }i}, \quad (11)$$

где  $\alpha_i$  удовлетворяют условию нормировки:

$$\sum_{i=1}^N \alpha_i = 1.$$

В работе [6], посвященной устойчивости систем связи, коэффициенты важности  $i$ -го ИН предложено определять исходя из циркулирующих по ним долей трафика:

$$\alpha_i(\lambda_i) = \frac{\lambda_i}{\sum_{i=1}^N \lambda_i}, \quad (12)$$

где  $\lambda_i$  – интенсивность трафика, передаваемого в  $i$ -том ИН.

Однако, для СУ ВКО такой показатель не будет отражать реальную важность ИН для решения задачи управления. Поэтому в качестве весовых коэффициентов  $\alpha_i$  ИН СУ ВКО предлагается использовать коэффициенты уязвимости  $H_z$  (5), посредничества  $b_u$  (6) и кластеризации  $Y_u$  (7). Например, в случае учета степени посредничества узлов  $b_u$  в коэффициенте важности  $i$ -го ИН,  $\alpha_i$  примет вид:

$$\alpha_i(b_u) = \frac{\sum_{j=1}^{k_i} \sum_{v=1}^{n_j} b_{u jv}}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{k_i} \sum_{v=1}^{n_j} b_{u ijv}}, \quad (13)$$

где:  $k_i$  – количество путей в составе  $i$ -го ИН;

$n_j$  – количество вершин в составе  $j$ -го пути  $i$ -го ИН;

$b_{u jv}$  – коэффициент посредничества  $v$ -го элемента  $j$ -го пути в рассматриваемом ИН;

$b_{u ijv}$  – коэффициент посредничества  $v$ -го элемента  $j$ -го пути в  $i$ -ом ИН.

По аналогии, могут быть получены выражения для коэффициента важности  $i$ -го ИН  $\alpha_i$  в зависимости от коэффициентов уязвимости  $H_i$  и кластеризации  $Y_u$ :

$$\alpha_i(H) = \frac{\sum_{j=1}^{k_i} \sum_{v=1}^{z_j} H_{jv}}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{k_i} \sum_{v=1}^{z_j} H_{ijv}}, \quad (14)$$

где:  $z_j$  – количество элементов ( $m_j$  ребер и  $n_j$  вершин) в составе ИН;

$H_{jv}$  – коэффициент уязвимости  $v$ -го элемента (вершины или ребра)  $j$ -го пути рассматриваемого ИН;

$H_{ijv}$  – коэффициент уязвимости  $v$ -го элемента (вершины или ребра)  $j$ -го пути  $i$ -го ИН;

$$\alpha_i(Y_u) = \frac{\sum_{j=1}^{k_i} \sum_{v=1}^{n_j} Y_{u jv}}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{k_i} \sum_{v=1}^{n_j} Y_{u ijv}}, \quad (15)$$

где:  $n_j$  – количество вершин в составе ИН;

$Y_{u jv}$  – коэффициент кластеризации  $v$ -ой вершины  $j$ -го пути рассматриваемого ИН;

$Y_{u ijv}$  – коэффициент кластеризации  $v$ -ой вершины  $j$ -го пути  $i$ -го ИН.

Вместе с тем, даже несмотря на возможность использования весовых коэффициентов, показатель устойчивости (10) учитывает структурные и динамические параметры устойчивости СУ ВКО в слишком обобщенном виде, а также не учитывает особенности воздействия на элементы ИН различных типов дестабилизирующих воздействий со стороны СВКН. Для учета вышеуказанных факторов необходимо в

---

дальнейшем разработать отдельные подходы к формализации дестабилизирующих факторов СВКН.

### **Заключение.**

В результате произведенных исследований можно сделать следующие выводы. Критериями устойчивости СУ ВКО могут служить значения вершинной ( $x_u$ ) и реберной ( $x_v$ ) связности формализованного графа СУ ВКО. Дополнительно можно использовать такие показатели, как диаметр графа, функция распределения степеней вершин графа, средний путь между вершинами графа, показатель уязвимости сети относительно удаления одного из элемента СУ ВКО (вершины или ребра), посредничество одной из вершины графа, коэффициент кластеризации вершины. Показатели уязвимости  $H_z$ , посредничества  $b_u$  и кластеризации  $Y_u$  могут быть использованы при определении коэффициентов важности элементов СУ ВКО в ходе решения задач повышения устойчивости СУ ВКО. Также в работе обосновано введение показателя устойчивости СУ ВКО в виде значения вероятности связности информационного направления, для которого, однако, целесообразно вводить весовые коэффициенты важности для каждого из информационных направлений в СУ ВКО.

В дальнейшем планируется на основе предложенных показателей разработать модель оценивания устойчивости системы управления воздушно-космической обороной в конфликте со средствами воздушно-космического нападения противника.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Петров С.В. Повышение устойчивости управления в столкновении системы воздушно-космической обороны со средствами воздушно-космического нападения. // Технические и технологические системы. Материалы 11-ой Международной научной конференции. – Краснодар: Издательский дом – Юг, 2020, с. 137-141.
2. Афонин И.Е., Макаренко С.И., Михайлов Р.Л. Быстрый глобальный удар: ретроспективный анализ концепции, вероятный сценарий нанесения, состав сил и средств, последствия и приоритетные мероприятия по противодействию. Монография. – СПб.: Научно-технологические технологии, 2022. – 174 с.
3. Афонин И.Е., Макаренко С.И., Митрофанов Д.В. Анализ концепции «Быстрого глобального удара» средств воздушно-космического нападения и обоснование перспективных направлений развития системы воздушно-космической обороны в Арктике в интересах защиты от него // Воздушно-космические силы. Теория и практика. – Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА», 2020, № 15, с. 75-87.
4. Афонин И.Е., Макаренко С.И., Петров С.В. Описательная модель подсистемы радиоэлектронного подавления в составе средств воздушно-космического нападения, используемых для нарушения функционирования элементов системы воздушно-космической обороны // Системы управления, связи и безопасности. – 2021, № 2, с. 76-95.
5. Афонин И.Е., Макаренко С.И., Михайлов Р.Л. Описательная модель боевых потенциалов сторон в конфликте системы воздушно-космической обороны со средствами воздушно-космического нападения // Системы управления, связи и безопасности. – 2022, № 3, с. 41-66.
6. Михайлов Р.Л., Макаренко С.И. Оценка устойчивости сети связи в условиях воздействия на неё дестабилизирующих факторов // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. – 2013, № 4, с. 69-79.
7. Макаренко С.И. Модели системы связи в условиях преднамеренных дестабилизирующих воздействий и ведения разведки. Монография. – СПб.: Научно-технологические технологии, 2020. – 337 с.

**СТАБИЛИЗАЦИЯ ЧАСТОТЫ НА ОСНОВЕ ПЕРВИЧНО-ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ СВОЙСТВ БОЛЬШИХ СИСТЕМ**

<sup>1</sup> Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени ФГБОУ ВО «Московский технический университет связи и информатики», г. Ростов-на-Дону, Россия

<sup>2</sup> Донской Государственный Технический университет, Ростов-на-Дону, Россия

Ключевые слова: система одновременно и независимо работающих генераторов, синергичность, эмерджентность, гармонический сигнал, фаза сигнала, стабильность частоты, оценка частоты, несмещенность и эффективность оценок.

В статье рассматриваются вопросы, связанные с проявлением первично-фундаментальных свойств больших систем, таких как синергичность и эмерджентность, потенциально присущих большим системам с одинаковыми или близкими по свойствам составными частями. Сформулированы условия получения несмещенных эффективных оценок частоты каждого из генераторов. Приведены результаты математического моделирования, подтверждающие правильность полученных теоретических результатов и основные отмеченные закономерности.

**O.A. Safaryan<sup>2</sup>, I.A. Alferova<sup>2</sup>, I.A. Engibaryan<sup>1</sup>, V.I. Yukhnov<sup>1</sup>**

**FREQUENCY STABILIZATION BASED ON PRIMARY FUNDAMENTAL PROPERTIES OF LARGE SYSTEMS**

<sup>1</sup> North Caucasus branch of Moscow Technical University of Communications and Informatics, Rostov-on-Don, Russia

<sup>2</sup> Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia

Keywords: a system of simultaneously and independently operating generators, synergy, emergence, harmonic signal, signal phase, frequency stability, frequency estimation, non-bias and efficiency of estimates

The article deals with issues related to the manifestation of the primary fundamental properties of large systems, such as synergy and emergence, potentially inherent in large systems with the same or close in properties components. The conditions for obtaining unbiased effective frequency estimates for each of the generators are formulated. The results of mathematical modeling are presented, confirming the correctness of the obtained theoretical results and the main observed regularities.

Тенденции современного этапа развития технических систем в различных отраслях характеризуются требованиями постоянного повышения точности получаемых данных, увеличения объема передаваемой информации. В качестве примера можно привести радиотехнические системы сотовой связи, дистанционного зондирования поверхности Земли, осуществляемого с помощью космических и летательных аппаратов в радиодиапазоне длин волн, получение геоинформационных данных о состоянии крупных объектов (мосты, плотины и т.д.) и ряд других направлений научной и практической деятельности [1-3].

Повышение разрешения получаемых изображений при мониторинге и соответствующее увеличение объема получаемой информации требует высоких скоростей передачи данных с борта аппарата на наземные станции. Для реализации указанных возможностей широкое применение находят сложные сигналы, эффективное применение

которых связано с требованием высокой стабильности частоты, как правило, с относительной нестабильностью  $10^{-8} - 10^{-9}$  и выше [3, 4].

В настоящее время требуемая стабильность частоты в радиотехнических системах достигается при использовании методов фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) с высокостабильными генераторами радиосигналов. Система ФАПЧ позволяет обеспечить высокую стабильность частоты сигналов. Однако эксплуатация таких генераторов представляет собой сложную техническую задачу по обеспечению заданных требований стабильности температурно-влажностного режима, напряжения питания, малых уровней вибрации и т.д. Кроме того, система ФАПЧ имеет ограниченное быстродействие и полосу захвата для последующей стабилизации частоты сигнала. Несмотря на большое число работ, посвященных вопросам стабилизации частоты генераторов с использованием системы ФАПЧ, большое число вопросов не нашло своего разрешения [4-21].

Однако для ряда радиотехнических систем с большим числом одновременно и независимо работающих генераторов, которые могут быть отнесены к большим системам, повышение стабильности частоты возможно при использовании свойств синергичности и эмерджентности, являющихся первично-фундаментальными свойствами большой системы и потенциально присущих любой системе близких по назначению элементов [22-25].

Целью доклада является анализ предпосылок, обусловленных свойствами синергичности и эмерджентности системы одновременно и независимо работающих генераторов, и теоретические основы их реализации для повышения частоты формируемых этими генераторами сигналов.

Рассмотрим систему  $N$  одновременно и независимо формирующих гармонические сигналы генераторов. Формируемые генераторами сигналы поступают или могут быть поданы на общее устройство, в котором происходит измерение их фаз и совместная оценка параметров частоты каждого генератора. Известными являются предполагаемые значения частоты и относительной нестабильности сигнала, формируемого каждым генератором. На основе полученных оценок параметров частоты сигналов может проводиться коррекция параметров генераторов, используемых при формировании, модуляции и демодуляции сигналов в системе.

Обобщенное представление структурной схемы системы, позволяющее рассмотреть предпосылки и теоретические основы анализируемого метода стабилизации частоты, приведено на рисунке 1



Рисунок 1. Структурная схема системы стабилизации частоты  $N$  одновременно и независимо формирующих гармонические сигналы генераторов

Физической реализацией служит, как отмечалось выше, совокупность генераторов, формирующих сигналы абонентов в сети связи и устройства базовой станции, используемые для приема, передачи и преобразования сигналов. Указанные сигналы одновременно и независимо поступают на вход устройства, где в течение некоторых интервалов времени  $t_m$  ( $m = 1, \dots, M$ ) происходит измерение фаз сигналов. Для каждого сигнала предполагаются номинальные значения частоты  $\omega_n^{(0)}$  и относительной

нестабильности  $\sigma_n^{(0)}$  ( $n=1, \dots, N$ ). Кроме того, предполагается номинальная длительность  $t_m^{(0)}$  и дисперсия номинальной длительности  $\sigma_t^{(0)}$   $m$ -го измерительного интервала. Требуется оценить текущую частоту каждого генератора на каждом измерительном интервале.

Представим текущее значение частоты  $n$ -го генератора на  $m$ -м измерительном интервале следующим соотношением

$$\omega_{n,m} = \omega_n^{(0)} + \Delta\omega_n + \delta\omega_{n,m} \quad (1)$$

где  $\Delta\omega_n$  - постоянная для всех  $M$  измерительных интервалов составляющая отклонения частоты  $n$ -го генератора от предполагаемого номинального значения;  $\delta\omega_{n,m}$  - случайная, принимающая на каждом из  $M$  измерительных интервалов свое значение составляющая отклонения частоты  $n$ -го генератора от предполагаемого номинального значения. При этом дополнительно будем считать, что математическое ожидание  $\delta\omega_{n,m} = 0$ , ( $n=1, \dots, N$ ,  $m=1, \dots, M$ ).

С учетом соотношения (1) запишем линейризованное значение фазы сигнала  $n$ -го генератора на  $m$ -м измерительном интервале в виде

$$\Phi_{n,m} = \Phi_{n,m}^{(0)} + \omega_n^{(0)} \Delta t_m + \Delta\omega_n t_m^{(0)} + \delta\omega_{n,m} t_m^{(0)} \quad (2)$$

где  $\Phi_{n,m}^{(0)} = \omega_n^{(0)} t_m^{(0)}$ ;  $\Delta t_m$  - отклонение длительности  $m$ -го интервала измерений от предполагаемого номинального значения  $t_m^{(0)}$ , имеющее постоянную и случайную, принимающую на каждом измерительном составляющие.

Составляющие  $\Delta\omega_n \cdot \Delta t_m$  и  $\delta\omega_{n,m} \cdot \Delta t_m$ , имеющие более высокий порядок малости, в соотношении (2) опущены.

Выразим из соотношения (2) значение случайной составляющей отклонения частоты каждого из  $N$  генераторов на  $m$ -м измерительном интервале следующим образом

$$\delta\omega_{n,m} = \frac{\Phi_{n,m} - \Phi_{n,m}^{(0)} - \omega_n^{(0)} \Delta t_m - \Delta\omega_n t_m^{(0)}}{t_m^{(0)}} \quad (3)$$

Как следует из соотношения (3) в пренебрежении ошибками измерений точность оценивания частоты сигналов генераторов полностью определяется точностью оценок  $\Delta t_m$  смещением оценки и среднеквадратической ошибкой (СКО).

Рассмотрение начнем с частного случая  $\Delta\omega_n = 0$ , ( $n=1, \dots, N$ ). Данное предположение соответствует случаю совпадения на каждом  $m$ -м измерительном интервале ( $m=1, \dots, M$ ) средней частоты каждого генератора с соответствующим предполагаемым для него значением частоты.

Для реализации потенциально присущего системе  $N$  одновременно и независимо функционирующих генераторов проведем одновременную обработку результатов измеренных значений фаз сигналов генераторов. Выражение (3) показывает, что значения

$\delta\omega_{n,m}$  при сделанном предположении  $\Delta\omega_n = 0$ , ( $n = 1, \dots, N$ ) могут быть легко найдены по результатам измерений фаз при известном значении  $\Delta t_m$ .

Для определения  $\Delta t_m$  составим функцию правдоподобия  $M$  переменных в следующей форме

$$L(\Delta \mathbf{t}) = \prod_{m=1}^M \prod_{n=1}^N p(\delta\omega_{n,m}) \quad (4)$$

где  $\Delta \mathbf{t} = \{\Delta t_1, \dots, \Delta t_M\}$ . В случае, если значения  $\Delta t_m$  на различных измерительных интервалах являются статистически независимыми, функция правдоподобия (4) распадается на произведение  $M$  функций правдоподобия, аргументом каждой из которых является  $\Delta t_m$

$$L(\Delta \mathbf{t}) = \prod_{m=1}^M L^{(m)}(\Delta t_m) \quad (5)$$

$$L^{(m)}(\Delta t_m) = \prod_{n=1}^N p(\delta\omega_{n,m}), \quad m = 1, \dots, M \quad (6)$$

Оценка  $\Delta t_m$  в этом случае определяется из условия

$$L^{(m)}(\Delta t_m) \rightarrow \max_{\Delta t_m} \quad (7)$$

Оценивание  $\Delta t_m$  в соответствии с (7) сводится к решению уравнения

$$\frac{\partial L^{(m)}(\Delta t_m)}{\partial \Delta t_m} = 0 \quad (8)$$

С физической точки зрения соотношения (5) и (6) означают:

- для оценивания отклонения длительности  $\Delta t_m$   $m$ -го измерительного интервала ( $m = 1, \dots, M$ ) достаточно результатов измерений фаз сигналов генераторов, выполненных только на этом измерительном интервале;
- оценивание каждого  $\Delta t_m$  по результатам измерений фаз сигналов  $N$  генераторов соответствует  $N$ -кратным непрямым измерениям  $\Delta t_m$  на основе результатов прямых измерений  $\Phi_{n,m}$  ( $n = 1, \dots, N$ ) на  $m$ -м измерительном интервале.

В частном, для наиболее широко распространенного на практике случая распределения  $\delta\omega_{n,m}$  по нормальному закону выражение (6) принимает вид

$$L^{(m)}(\Delta t_m) = (2\pi)^{-1/2} \prod_{n=1}^N (\sigma_n^{(0)})^{-1} \frac{(\Phi_{n,m} - \Phi_{n,m}^{(0)} - \omega_n^{(0)} \Delta t_m)^2}{2(t_m^{(0)} \sigma_n^{(0)})^2} \quad (9)$$

С учетом (8) оценка  $\Delta t_m$ , получаемая из (9), определяется зависимостью

$$\Delta \hat{t}_m = \sum_{n=1}^N \frac{(\Phi_{n,m} - \Phi_{n,m}^{(0)}) \cdot \omega_n^{(0)}}{(\sigma_n^{(0)})^2} \left( \sum_{n=1}^N \frac{(\omega_n^{(0)})^2}{(\sigma_n^{(0)})^2} \right)^{-1} \quad (10)$$

Проанализируем основные свойства получаемых оценок  $\Delta t_m$ . Для математического ожидания оценки  $\Delta \hat{t}_m$  может быть записано следующее представление

$$M \{ \Delta \hat{t}_m \} = \sum_{n=1}^N \frac{(M \{ \Phi_{n,m} \} - \Phi_{n,m}^{(0)}) \cdot \omega_n^{(0)}}{(\sigma_n^{(0)})^2} \cdot \left( \sum_{n=1}^N \frac{(\omega_n^{(0)})^2}{(\sigma_n^{(0)})^2} \right)^{-1} \quad (11)$$

При условии  $\Delta \omega_n = 0$  можно с учетом (2) записать

$$M \{ \Delta \hat{t}_m \} = \Delta t_m \cdot \left( \sum_{n=1}^N \frac{(\omega_n^{(0)})^2}{(\sigma_n^{(0)})^2} \right) \cdot \left( \sum_{n=1}^N \frac{(\omega_n^{(0)})^2}{(\sigma_n^{(0)})^2} \right)^{-1} = \Delta t_m \quad (12)$$

В соотношении (12) усреднение рассматривается по ансамблю генераторов. Таким образом, независимо от значений рабочей частоты  $\omega_n^{(0)}$  и относительной нестабильности  $\sigma_n^{(0)}$  всех генераторов ( $n = 1, \dots, N$ ) получаемая оценка является несмещенной.

Для доказательства эффективности получаемых оценок рассмотрим соотношение

$$M \{ (\Delta \hat{t}_m)^2 - (\Delta t_m)^2 \} = M \{ (\Delta \hat{t}_m)^2 \} - (\Delta t_m)^2 \quad (13)$$

С учетом соотношения (2) и результата (12) можно записать

$$M \{ (\Delta \hat{t}_m)^2 \} = \frac{M \left\{ \sum_{n=1}^N \sum_{p=1}^N \left( \omega_n^{(0)} \omega_p^{(0)} (\Delta t_m)^2 + \delta \omega_{p,m} t_m^{(0)} \omega_n^{(0)} \Delta t_m + \delta \omega_{n,m} t_m^{(0)} \omega_p^{(0)} \Delta t_m + \delta \omega_{n,m} \delta \omega_{p,m} (t_m^{(0)})^2 \right) \right\}}{\left( \sum_{n=1}^N \frac{(\omega_n^{(0)})^2}{(\sigma_n^{(0)})^2} \right)^2} \quad (14)$$

Первое слагаемое из правой части (14) после преобразований вычисляется и равно  $(\Delta t_m)^2$ . Второе и третье слагаемые равны нулю. После преобразований четвертого слагаемого в (14) с учетом (13) и независимости статистического распределения случайных значений  $\delta \omega_{n,m}$  и  $\delta \omega_{p,m}$  окончательное выражение для дисперсии оценки  $\Delta \hat{t}_m$  приводится к виду

$$M \{ (\Delta \hat{t}_m)^2 \} = M \left\{ \sum_{n=1}^N (\delta \omega_{n,m} \omega_n^{(0)} t_m^{(0)})^2 \right\} \left( \sum_{n=1}^N \frac{(\omega_n^{(0)})^2}{(\sigma_n^{(0)})^2} \right)^2 \quad (15)$$

Для совокупности одновременно и независимо работающих генераторов с одинаковыми параметрами ( $\omega_n^{(0)} = \omega^{(0)}$ ,  $\sigma_n^{(0)} = \sigma^{(0)}$ ) из соотношения (12) непосредственно следует

$$M\{\Delta\hat{t}_m - \Delta t_m\} = 0 \quad (16)$$

$$D\{\Delta\hat{t}_m\} = \frac{\sigma_t^{(0)}}{\sqrt{N}} \quad (17)$$

где  $M\{\Delta\hat{t}_m\}$  и  $D\{\Delta\hat{t}_m\}$  соответственно математическое ожидание и дисперсия получаемой оценки  $\Delta\hat{t}_m$ .

С учетом соотношения (3) можно непосредственно показать, что

$$D\{\delta\omega_n\} = \frac{\omega^{(0)} \cdot \sigma_t^{(0)}}{\sqrt{N}} \quad (18)$$

В более общем случае системы генераторов с различными параметрами (рабочей частотой и относительной нестабильностью) формула (13) приобретает более сложный вид, но, как следует из (10), указанная закономерность сохраняется.

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы:

- совместная обработка измеряемых значений фазы сигналов для системы генераторов позволяет уменьшить дисперсию оценки частоты формируемого сигнала и соответственно путем управления параметрами генератора уменьшить нестабильность частоты формируемого сигнала;
- все генераторы системы независимо от собственных параметров (рабочей частоты и относительной нестабильности) будут характеризоваться одинаковой нестабильностью частоты формируемого сигнала.

Указанные выводы определяют проявление свойства синергичности в системе одновременно и независимо функционирующих генераторов.

Перейдем к рассмотрению более общего случая  $\Delta\omega_n \neq 0$ . Более общим подходом для определения несмещенного текущего значения  $\Delta\hat{t}_m$  будет являться проведение измерений фаз сигналов на нескольких измерительных интервалах ( $M > 1$ ). Последующая оценка значений  $\Delta\omega_n$  ( $n = 1, \dots, N$ ) проводится из обеспечения выполнения следующего условия

$$\sum_{n=1}^N \left( \sum_{m=1}^M \Delta\hat{t}_m \right)^2 \xrightarrow{\Delta\omega} \min \quad (19)$$

С физической точки зрения данное условие определяет исключение из оценки  $\Delta\hat{t}_m$  составляющей, обусловленной  $\Delta\omega_n \neq 0$ , и связано с реализацией свойства эмерджентности системы одновременно и независимо работающих генераторов.

С использованием предложенных соотношений проанализированы численные результаты проявления синергичности и эмерджентности в системе одновременно и независимо работающих генераторов. На рисунке 2 для системы из 100 генераторов ( $N = 100$ ) показаны смоделированные отклонения частоты каждого из генераторов (линия точек) и разность между значениями отклонения частоты и соответствующими значениями

полученных оценок (штриховая линия). При моделировании частота всех генераторов полагалась равной  $\omega_n = 2\pi \cdot 10^9 \text{ рад/с}$ , относительная нестабильность всех генераторов -  $\sigma_n^{(0)} = 10^{-7}$ .

Как следует из приведенного графика, реализация свойства синергичности в системе генераторов при указанных параметрах позволяет повысить точность получаемых оценок случайной составляющей отклонения частоты в 10 раз.

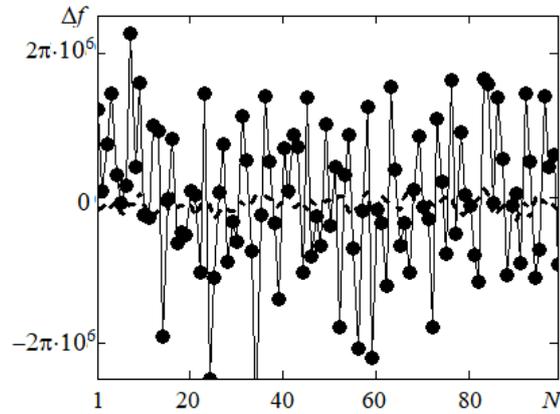


Рисунок 2. Колебания частоты сигналов генератора и отклонения полученных оценок в  $\Delta\omega_n = 0$

На рисунках 3, 4 представлены результаты исследований, позволяющие проиллюстрировать проявление свойства эмерджентности для рассматриваемой системы генераторов. Линией точек показаны отклонения длительности временного интервала  $\Delta t_m$  от номинального значения  $t_m^{(0)} = 10^{-3} \text{ с}$ , штриховой линией - оценки отклонения длительности измерительного интервала  $\Delta \hat{t}_m$ . Исследования проводились при  $\sum_{n=1}^N \Delta\omega_n = 2\pi \cdot 10^3 \text{ рад/с}$ ,  $t_m^{(0)} = 10^{-3} \text{ с}$ .

В частности, на рисунке 3 приведены результаты, полученные при проведении измерений фаз сигналов на десяти измерительных интервалах ( $M = 10$ ), а на рисунке 4 – при проведении измерений на ста измерительных интервалах ( $M = 100$ ).

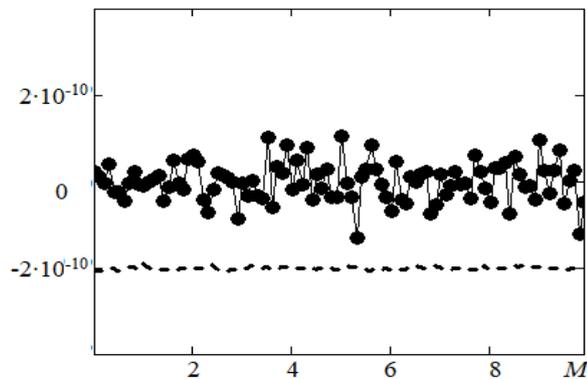


Рисунок 3. Колебания частоты сигналов генератора и отклонения полученных оценок в  $M = 10$

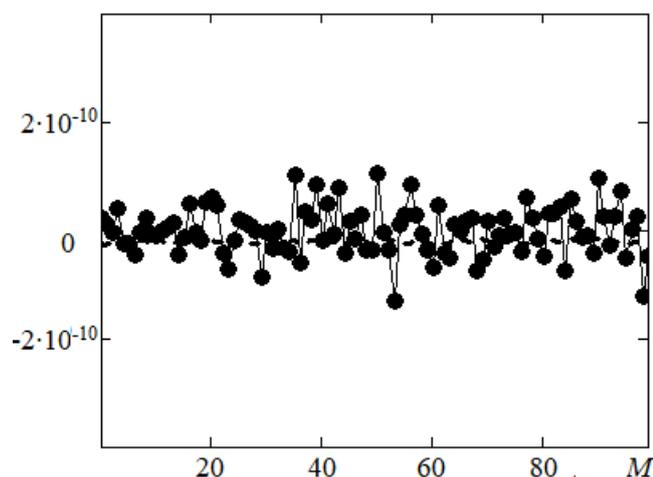


Рисунок 4. Колебания частоты сигналов генератора и отклонения полученных оценок в  $M = 100$

Представленные результаты показывают, что проявление свойства эмерджентности, реализуемое путем наложения условия (19), в рассматриваемой системе генераторов связано с увеличением числа измерительных интервалов, позволяющим исключить постоянную составляющую отклонения оценки длительности временного интервала измерений.

Проведенные исследования, что использование свойств синергичности и эмерджентности, потенциально присущих системам с однотипными элементами в системе одновременно и независимо работающих генераторов позволяет повысить точность получаемых оценок частоты формируемых сигналов (уменьшить СКО и возможное смещение оценки частоты). Уменьшение среднеквадратического отклонения частоты сигналов генераторов связано с реализацией свойства синергичности. В случае распределения отклонений частоты сигналов от номинальных значений по нормальному закону повышение точности получаемых оценок частоты сигналов изменяется к закону  $N^{-1/2}$ . Свойство эмерджентности проявляется в возможности исключения медленно меняющихся отклонений частоты сигналов при проведении многократных измерений фаз формируемых сигналов на большом числе интервалов измерений. Такие системы генераторов и возможность реализации потенциально присущих таким системам указанных свойств возникает в современных информационно-телекоммуникационных системах. При этом построение систем стабилизации частоты на основе предлагаемого подхода связано с меньшими сложностями, эксплуатации в отличие от системы ФАПЧ.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глотов А.Ф. Интеллектуализация информационных систем: подходы и направления.// «Геоматика»-2015, с.18-24.
2. David B. Lesson. Oscillator Phase Noise: A 50-Year Review // IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequencies control.-2016, № 8. p. 1208-1225.
3. Demir, A. Mehrotra, J. Roychowdhure. Phase noise in oscillators: A unifying theory and numerical methods for characterization // IEEE Trans. Circuits Syst. I. Fundam. Theory Appl., May 2000, vol. 47, no. 5, p. 655-674.
4. Zheng T., Chen L., Chen T., Wei S.M., Virtual synchronous generator technology and prospects// Autom. Electric Power Syst. -2015, № 39 (21) p.165–175.
5. Shao H., Li P., Fu W.B., Yang G.H., Wind-solar grid-connected technology based on virtual synchronous generator control strategy// Electr. Autom. – 2018, № 40 (5) p.16–18.
6. Ling Y.L., Adaptive control of distributed power inverter based on VSG// Energy Conserv. – 2020 № 39 (4) p. 5–9.

7. *Ren D.J., Wei Y.B., Xi Z.F., Zhang J.*, Control strategy of inverter power sharing based on VSG// *Power Electron. Technol* – 2020, №54 (2) p. 28–31.
8. *Huo X.X., Wu P., Huang X., Yan J.J., Wang K.Y., Xu K., Yao C., Chen P.Y.*, Microgrid Stability Control Based on Adaptive Parameter Virtual Synchronous Machine// *Electric Power Construct* - 2019, № 40 (2), p. 79–86.
9. *Cheng G., Shao X., Wang G.*, Adaptive control strategy for virtual synchronous generator parameters// *Renewable Energy* - 2021, № 39 (12) p.1655–1661.
10. *Lu Z., Sheng W., Zhong Q., Liu H., Zeng Z.*, Virtual synchronous generator and its applications in micro-grid// *Proc. CSEE* - 2014, № 34 (16) p.2591–2603.
11. *Zhao D.M., Zhang N., Liu Y.H., Zhang X.*, Integrated control strategy for smooth switching of microgrid and island operation mode based on energy storage// *Power Syst. Technol* - 2013, № 37 (2),p.301–306.
12. *Li P., Zhang X.S., Zhao B., Wang Z.L., Sun J.R.*, Microgrid design and mode switching control strategy of multi-microgrid and multi-grid point structure// *Autom. Electric Power Syst.* - 2015, № 39 (9), p.172–178.
13. *Wang J.S., Tang C.H., Chen N., Tan K., Mao J.X.*, A microgrid on-off and off-grid smooth switching control strategy based on self-recognition of operating mode// *Autom. Electric Power Syst* - 2015, № 39 (9), p.185–191.
14. *Yang Y.C., Zhou Z.G.*, Distributed power grid-connected inverter seamless switching control strategy// *J. Electric Power Syst. Autom.* - 2016, № 28 (8), p.91–97.
15. *Shi R.L., Zhang X., Xu H.Z., Liu F., Hu C., Yu Y.*, Seamless switching control strategy of microgrid operation mode based on virtual synchronous generator// *Autom. Electric Power Syst.* - 2016, №40 (10), p. 16–23.
16. *Wang C.S., Xiao Z.X., Wang S.X.*, Integrated control and analysis of microgrid// *Autom. Electric Power Syst* - 2008, № 7, p.98–103.
17. *Bai W., Liu L.Q., Zhang C.M., Ma L.Q.*, Seamless switching control technology of virtual synchronous generator// *Autom. Instrument* - 2017, №38 (12), p. 13–17.
18. *Gu B.S., Wang J.H., Luo F.F., Ji Z.D., Lv Z.P., Gu W., Wang T.*, Three phase four leg virtual synchronous generator pre synchronization, multi loop control and load imbalance control method// *Acta Electrotech. Sinica* - 2017, №32 (S1) p. 138–150.
19. *Wan X.F., Zhan Z.L., Liao Z.P., Xi R.X.*, Research on seamless switching strategy of virtual synchronous generator on and off grid// *J. Electron. Measure. Instrument* - 2018, №32 (5) p.33–40.
20. *Ji Y., Su J., Ding B.*, Microgrid inverter VSG off-grid switching and fault handling//*Control Eng* - 2021, № 28 (7), p.1496–1504.
21. *Li B., Zhou L., Yu X.R., Zheng C., Liu J.H.*, A microgrid inverter secondary frequency modulation scheme based on improved virtual synchronous generator algorithm// *Power Syst. Technol* - 2017, №41 (8), p/ 2680–2687.
22. *Safaryan O.A., Pilipenko I.A., Boldyrikhin N.V., Yukhnov V.I.*, Multidimensional likelihood function in the problem of estimating time-frequency parameters of signals,// *Conference Proceedings - 2021 Radiation and Scattering of Electromagnetic Waves, RSEMW 2021*, pp. 393-396
23. *Safaryan O.A., Pilipenko I.A., Saharov I.A.*, Features of Frequency Generators Stabilization in Distributed Information-Measuring Systems// *Conference Proceedings - 2019 Radiation and Scattering of Electromagnetic Waves, RSEMW 2019* - 2019, pp. 208-211.
24. *Сафарьян О.А., Пилипенко И.А.* Метод оценивания параметров стабильности генераторов // *РАДИОЛОКАЦИЯ, НАВИГАЦИЯ, СВЯЗЬ / сборник трудов XXVI Международной научно-технической конференции: в 6 т. Воронеж - 2020, с.204-211.*
25. *Safaryan O.A., Pilipenko I.A.*, Prerequisites and Theoretical Foundations of the Statistical Method of Frequency Stabilization in Information and Telecommunication Systems// *Electronics* - 2022, №11(18), p 1-9

## СТРУКТУРНЫЙ СИНТЕЗ АДАПТИВНОГО ФИЛЬТРА ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени ФГБОУ ВО «Московский технический университет связи и информатики», г. Ростов-на-Дону, Россия<sup>1</sup>  
Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Россия<sup>2</sup>

Ключевые слова: динамическая система, принцип максимума, фильтр Калмана.

Эта статья представляет результаты исследования альтернативного подхода к созданию эффективных фильтров сопровождения, сформированного на методологии объединенного принципа максимума (ОПМ), на основе вариационных принципов.

G.K. Pankov<sup>1</sup>, M.V. Kravchina<sup>2</sup>, M.R. Granin<sup>2</sup>

## STRUCTURAL SYNTHESIS OF AN ADAPTIVE FILTER FOR ESTIMATING THE STATE OF DYNAMIC SYSTEMS

North Caucasus branch of Moscow Technical University  
of Communications and Informatics, Rostov-on-Don, Russia<sup>1</sup>  
Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia<sup>2</sup>

Keywords: dynamic system, maximum principle, Kalman filter.

This paper presents the results of a study of an alternative approach to the creation of efficient accompaniment filters, formed on the methodology of the Joint Maximum Principle (JMP), based on variational principles.

### Введение.

Обнаружение сбоя в алгоритмах оценки параметров движения динамической системы является причиной срыва электронно-вычислительных процессов оценивания характеристик движения подвижных систем. Как правило, исходные соотношения основаны на предположениях о том, что объект обладает ограниченными способностями маневра, а координаты положения возникают на основе кинематических моделей [1], не исследующих истинную динамику маневров. К настоящему моменту известно о результатах исследований, направленных на конструирование эффективных фильтров сопровождения маневрирующих летательных аппаратов с использованием классического Калмановского подхода [1, 2].

Эта статья представляет результаты исследования альтернативного подхода к созданию эффективных фильтров сопровождения, сформированного на методологии объединенного принципа максимума (ОПМ), на основе вариационных принципов. [2, 3].

### Постановка задачи.

Идентификация модели движения:

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_s} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_s} = Q_s; \quad s = \overline{1, n}, \quad (1)$$

где  $q_s, \dot{q}_s$  – обобщенные координаты и скорости;

$T = T(q, \dot{q})$  – кинетическая энергия системы;

$Q_s(q, \dot{q}, u)$  – обобщенная сила;

$n$  – число степеней свободы.

В формуле (2) содержится описание вариационного принципа Гамильтона-Остроградского, согласно которому реализуется равенство нуля элементарного параметра

$$\delta'R = \int_{t_0}^{t_1} (\delta T + \delta'A) = 0 \quad (2)$$

$$R = \int_{t_0}^{t_1} (T + A) dt, \quad A = \int_{q_s(t_0)}^{q_s(t_1)} \sum_{s=1}^n Q_s(q, \dot{q}, u) dq_s$$

Интеграла действия где в основе работы обобщенных сил лежит вектор управления, который выбирается из некоторой допустимой области измерений и ограниченного управления  $\bar{G}_u: u \in \bar{G}_u$ .

Уравнение наблюдения имеет вид

$$Y(t) = H(q, t) + \xi(t) \quad (3)$$

где  $H = H(\cdot) \in R^n$  – известная вектор-функция;

$\xi = \xi(t) \in R^n$  – вектор случайных воздействий на канал наблюдения с известным уровнем интенсивности.

В области просмотра появляется целевой функционал

$$J_1 = \frac{1}{2} \int_{t_0}^{t_1} [Y(t) - H(\hat{q}, t)]^T R_\xi^{-1} [Y(t) - H(\hat{q}, t)] dt \quad (4)$$

где  $R_\xi \in R^{n \times n}$  – диагональная весовая матрица, которая характеризует насыщенность помех в канале наблюдения;

$T$  – знак транспонирования.

Проблема анализа установить траекторию  $\hat{q}(t) \in R^n$  и вектор обобщенных сил  $Q$  как функцию общих координат, а также универсальных скоростей  $(\hat{q}, \dot{\hat{q}}) \in R^{2n}$ . Это обеспечивает минимальный функционал (4), если нет ограничений на управление (2).

Разработки в области синтеза дискретных алгоритмов оценивания объединительного принципа максимума. Методологией ОПМ было получено множество обобщенных сил, которые доставляют максимум (4), решаемых выражением

$$Q_s = \lambda^{-1} \left[ \mu_s(q, \dot{q}) \dot{q}_s - R_{\xi_{ss}}^{-1} [y_s(t) - H_s(\hat{q}, t)] \frac{\partial H_s}{\partial \dot{q}_s} \right], \quad (5)$$

где  $\lambda$  – неизвестный коэффициент Лагранжа;

$\mu_s$  – синтезирующая функция, которая записывается в следующем виде:

$$\mu_s = -\lambda \left| \frac{dp_s}{dq_s} \right| = -\lambda \left| \frac{\dot{q}_s}{L\hat{q}_s} \right|. \quad (6)$$

Для решения задачи дистанционного зондирования опасных ситуаций можно использовать беспилотный летательный аппарат, показатели движения которого тоже нужно устанавливать. В плоскости, где  $n=2$ , рассматривается движение в направлении, перпендикулярном к плоскости

$$y(t) = \begin{bmatrix} q_1 \\ q_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \xi_1 \\ \xi_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sqrt{x^2 + y^2} \\ \arctg\left(\frac{y}{x}\right) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \xi_1 \\ \xi_2 \end{bmatrix}, \quad (7)$$

где  $q_1$  – наклонная дальность;  
 $q_2$  – азимут;  
 $x, y$  – декартовы координаты.

С точки зрения динамических систем с кинетической энергией  $T = \frac{1}{2} [a_{11}\dot{q}_1^2 + a_{22}\dot{q}_2^2]$ , обобщенные силы являются неизвестными и не относятся ни к каким из известных, реализующим наблюдаемое перемещение. Применяются параметры инерции  $a_{11}, a_{22}$ .

Если же они имеют решение, то уравнения Лагранжа второго рода (1) можно записать в разрешенном относительно старшей производной варианте

$$\ddot{q}_s = \frac{1}{a_{ss}} Q_s, \quad s = \bar{1}, \bar{2}. \quad (8)$$

Если использовать (8), то необходимо привести эти уравнения к дискретному виду, так как информация о расположении маневрирующей цели определяется в виде колебательных отсчетов. Таким образом

$$\hat{q}_s(k+1) = 2\hat{q}_s(k) - \hat{q}_s(k-1) - \frac{1}{\lambda a_{ss}} \left[ \frac{(\hat{q}_s(k) - \hat{q}_s(k-1))^2 \text{sign}(\hat{q}_s(k) - \hat{q}_s(k-1))}{|(y_s(k) - \hat{q}_s(k)) + C|} - \Delta t^2 R_{\xi_{ss}}^{-1} (y_s(k) - \hat{q}_s(k)) \right], \quad (9)$$

где  $k$  – номер отсчета.  
 При этом если [2]

$$\frac{\hat{q}_s(k) - \hat{q}_s(k-1)}{\hat{q}_s(k)} > 0, \quad (10)$$

То условие  $\mu_s = -\frac{|\hat{q}_s(k) - \hat{q}_s(k-1)|}{|(y_s(k) - \hat{q}_s(k)) + C|} < 0$  выполняется когда

$$\hat{q}_s(k+1) = 2\hat{q}_s(k) - \hat{q}_s(k-1) - \frac{1}{\lambda a_{ss}} \left[ \frac{(\hat{q}_s(k) - \hat{q}_s(k-1))^2}{|(y_s(k) - \hat{q}_s(k)) + C|} - \Delta t^2 R_{\xi_{ss}}^{-1} (y_s(k) - \hat{q}_s(k)) \right]. \quad (11)$$

Иначе в другом случае

$$\hat{q}_s(k+1) = \frac{\hat{q}_s(k) \left( 2\hat{q}_s(k) - \hat{q}_s(k-1) - (\lambda a_{ss} L_s)^{-1} (\hat{q}_s(k-1) - \hat{q}_s(k)) - \Delta t^2 R_{\xi\xi}^{-1} (y_s(k) - \hat{q}_s(k)) \right)}{y_s(k) - \hat{q}_s(k) + C} \quad (12)$$

### **Заключение.**

В результате проведенного математического моделирования можно сделать вывод, что предлагаемые фильтры сопровождения на участке маневра моделируемой траектории летательного аппарата превосходят по точности  $\alpha$ - $\beta$  алгоритм и фильтр Калмана с моделью маневра Зингера. При этом вычислительные затраты значительно ниже. При выполнении условия знакоотрицательной функции, алгоритм обеспечивает высокую точность оценивания.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Singer, R. A. *Estimating Optimal Filter Tracking Performance for Manned Maneuvering Targets* / R. A. Singer // *IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems*. – 1970. – Vol. ES-6, – №4. – P. 473–483.
2. Костоглотов, А. А. Объединённый принцип максимума в информационных технологиях анализа и синтеза : учебное пособие / А. А. Костоглотов, А. И. Костоглотов, С. В. Лазаренко. – Ростов-на-Дону : РАСЮРГУЭС, 2010. – 165 с.
3. Метод оценки параметров движения управляемого летательного аппарата на основе объединенного принципа максимума с построением опорной траектории / А. А. Костоглотов, А. И. Костоглотов, С. В. Лазаренко, Б. М. Ценных // *Успехи современной радиоэлектроники*. – 2012. – №6. – С. 61 – 66.

**Г.К. Панков<sup>1</sup>, О.А. Решетникова<sup>2</sup>, А.В. Кравчина<sup>3</sup>, М.С. Булеко<sup>3</sup>**

### **СИНТЕЗ СЛЕДЯЩИХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКИХ СООБЩЕНИЙ**

Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени ФГБОУ ВО  
«Московский технический университет связи и информатики»,  
г. Ростов-на-Дону, Россия<sup>1</sup>

Ростовский филиал Российской таможенной академии, Ростов-на-Дону, Россия<sup>2</sup>  
Донской государственной технической университет, Ростов-на-Дону, Россия<sup>3</sup>

Ключевые слова: фильтр сопровождения, обратная задача динамики, объединенный принцип максимума.

В данной статье рассмотрена и решена обратная задача динамики на основе объединенного принципа максимума. Синтезированные уравнения отличаются от известных наличием дополнительного коэффициента. Их использование позволяет повысить точность оценки параметров траектории в сравнении с оценками расширенного фильтра Калмана при существенном снижении объема вычислительных затрат.

**SYNTHESIS OF TRACKING SYSTEMS USING A DYNAMIC MODEL OF  
TELEMETRY MESSAGES**

North Caucasus branch of Moscow Technical University  
of Communications and Informatics,  
Rostov-on-Don, Russia<sup>1</sup>  
Rostov Branch of the Russian Customs Academy, Rostov-on-Don, Russia<sup>2</sup>  
Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia<sup>3</sup>

Keywords: follow filter, inverse dynamics problem, unified maximum principle.

In this paper the inverse problem of dynamics based on the unified maximum principle is considered and solved. The synthesized equations differ from the known ones by the presence of an additional coefficient. Their use makes it possible to increase the accuracy of trajectory parameters estimation in comparison with the estimates of the extended Kalman filter with a significant decrease in the volume of computational costs.

**Введение.**

Функционирование информационных систем, позволяющих определять траектории управляемых средств воздушно-космического нападения, как правило, происходит в условиях противодействия. Одним из самых эффективных способов борьбы является маневрирование, которое позволяет летательным аппаратам существенно увеличить зоны применения оружия, уменьшить время на выход в зону атаки и повысить собственную безопасность, в том числе и за счет уклонения от управляемых средств поражения. Устойчивое сопровождение таких целей предъявляет существенно более жёсткие требования к точности, быстродействию и алгоритмическому обеспечению информационных систем, чего во многих практически важных случаях не удастся добиться.

В работах [1, 2] установлено, что применение теоремы объединенного принципа максимума позволяет получить конструктивное решение таких проблем.

**Постановка задачи.**

Известно, что функционирование любого алгоритма сопровождения основано на использовании математической модели движения, которая может быть представлена дифференциальным уравнением первого порядка

$$\frac{dx}{dt} + f(x) = u, \quad x(0) = x^0, \quad (1)$$

где  $x = x(t)$  – вектор состояния;

$f(x)$  – переходная функция;

$u = u(t)$  – вектор управлений.

Такая запись модели движения (1) удовлетворяет дифференциальным уравнениям Лагранжа второго рода

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_s} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_s} = Q_s, \quad s = \overline{1, n}, \quad (2)$$

где  $q_s(t), \dot{q}_s(t)$   $s = \overline{1, n}$  – обобщенные фазовые координаты;

$T = T(q, \dot{q})$  – кинетическая энергия системы;

$Q_s(q, \dot{q}, u)$  – обобщенная сила, соответствующая обобщенной координате  $q_s$ .

Уравнение (2) является следствием вариационного принципа Гамильтона – Остроградского, согласно которому выполняется равенство нулю элементарного значения

$$\delta'R = \int_{t_0}^{t_1} (\delta T + \delta'A) = 0, \quad (3)$$

где  $A$  – работа обобщенных сил.

Уравнение наблюдения имеет вид

$$y(t) = H(q, t) + \xi(t), \quad (4)$$

где  $H = H(\cdot) \in R^{n_1}$  – известная вектор-функция;

$\xi = \xi(t) \in R^{l_1}$  – вектор случайных воздействий на канал наблюдения с известной интенсивностью.

Оценка качества обеспечивается условием минимума целевого функционала

$$I = \frac{1}{2} \int_{t_0}^{t_1} [y(t) - H(\hat{q}, t)]^T R_\xi^{-1} [y(t) - H(\hat{q}, t)] dt \rightarrow \min, \quad (5)$$

где  $R_\xi \in R^{n_1 \times n_1}$  – диагональная весовая матрица, характеризующая интенсивность помех в канале наблюдений;

$T$  – знак транспонирования.

Обозначим  $F(q, \dot{q})$  подынтегральное выражение целевого функционала (5) и потребуем, чтобы  $F(q, \dot{q})$  являлась непрерывной функцией вместе с частными производными по всей области определения. Тогда имеет место следующая формулировка обратной задачи динамики: требуется определить вектор обобщенных сил  $Q$  как функцию обобщенных координат и обобщенных скоростей  $(q, \dot{q}) \in R^{2n}$  и соответствующую ему траекторию  $q(t) \in R^n$ , обеспечивающие минимум целевого функционала при условии (3) и ограничениях на управление  $u \in \bar{G}_u$ .

$$J_1 = \int_{t_0}^{t_1} F(q, \dot{q}) dt \rightarrow \min \quad (6)$$

Объединенный принцип максимума. Минимум функционала (6) можно найти при использовании ограничения в форме интеграла действия (3) Гамильтона – Остроградского

$$J = \int_{t_0}^{t_1} [F(q, \dot{q}) + \lambda(T + A)] dt, \quad (7)$$

где  $\lambda$  – неопределенный множитель Лагранжа.

Теорема: для того, чтобы управление  $u(q, \dot{q}) \in \bar{G}_u$  и соответствующая ему траектория  $(q, \dot{q})$ , доставляли минимум расширенному функционалу (7) при ограничениях (4) необходимо и достаточно выполнение условия максимума для функции  $\Phi$  переменных  $(q, \dot{q}) \in R^{2n}$ ,  $u(q, \dot{q}) \in \bar{G}_u$  при этом множитель Лагранжа постоянен а на концах траектории выполняются условия трансверсальности

$$\Phi_s(q, \dot{q}, Q, \lambda) = \max_{u(q, \dot{q}) \in \bar{G}_u} \sum_{s=1}^n \left[ \lambda Q_s(q, \dot{q}, u) + \frac{\delta F}{\delta q_s} \right] \dot{q}_s. \quad (8)$$

В соответствии с (2) и теоремой

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_s} - \frac{\partial T}{\partial q_s} = \lambda^{-1} \left\{ \mu_s(q, \dot{q}) \dot{q}_s - \frac{\delta F}{\delta q_s} \right\}. \quad (9)$$

Для синтезирующей функции известно выражение [2]

$$\mu_s(q, \dot{q}) = -\lambda \left| \frac{dp_s}{dq_s} \right|, \quad s = \overline{1, n}. \quad (10)$$

Алгоритм оценки телеметрических сообщений. В качестве допустимых управлений выбраны величины  $u_s = \lambda^{-1} |W_s|$ . Тогда на основании (9), (10)

$$\ddot{h}_s = C |h_s - y_s| \text{sign} \left[ -\lambda |\dot{h}_s| |h_s| |h_s^{-1}| - \beta_s (h_s - y_s) \right]. \quad (11)$$

### Заключение.

Использование алгоритма фазовых траекторий позволяет получить уравнения нового фильтра сопровождения (15). Их применение позволяет снизить вычислительные затраты в сравнении с фильтром Калмана [1] и требует решения системы всего из 6 дифференциальных уравнений, что приводит к обеспечению устойчивости решения для рассматриваемого фильтра.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Костоглотов, А. А. Объединенный принцип максимума в задачах оценки параметров движения маневрирующего летательного аппарата / А. А. Костоглотов, С. В. Лазаренко // Радиотехника и электроника. – 2009. – №4 (54). – С. 450-457.
2. Костоглотов, А. А. Объединенный принцип максимума в информационных технологиях анализа и синтеза: монография / А. А. Костоглотов, А. И. Костоглотов, С. В. Лазаренко. – Ростов-на-Дону : РАСЮРГУЭС, 2010. – 165 с.

## ОБЗОР МЕТОДА ПОДАВЛЕНИЯ ВИБРАЦИЙ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УСЛОВИЯ МАКСИМУМА ФУНКЦИИ ОБОБЩЕННОЙ МОЩНОСТИ

Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени ФГБОУ ВО «Московский технический университет связи и информатики», г. Ростов-на-Дону, Россия<sup>1</sup>  
Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Россия<sup>2</sup>

Ключевые слова: принцип максимума, метод аналитического конструирования оптимального регулятора, чистые помещения.

В данной статье представлены современные методы снижения вибраций при производстве печатных плат с использованием условия максимума функции обобщенной мощности. Обеспечение особой чистоты воздуха и применяемых технологических сред на производстве снижают концентрации микрозагрязнений. Пренебрежение этим требованием сказывается на уровне нанометров в браке и несоответствиях в изготавливаемой продукции печатных плат.

O.S. Labunko<sup>1</sup>, A.V. Kravchina<sup>2</sup>, A.V. Tsyrik<sup>2</sup>

## REVIEW OF THE VIBRATION SUPPRESSION METHOD IN THE PRODUCTION OF PRINTED CIRCUIT BOARDS USING THE CONDITION MAXIMUM OF THE GENERALIZED POWER FUNCTION

North Caucasus branch of Moscow Technical University  
of Communications and Informatics, Rostov-on-Don, Russia<sup>1</sup>  
Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia<sup>2</sup>

Keywords: principle of maximum, method of analytical design of optimum regulator, pure premises.

This article presents modern methods of reducing vibrations in the production of printed circuit boards using the condition of the maximum function of the generalized power. Ensuring special cleanliness of air and process media used in production reduces concentrations of micropollutants. Neglecting this requirement affects the level of nanometers in rejects and inconsistencies in the manufactured PCB products.

### Введение.

Развитие рынка нанотехнологий сегодня немыслимо без развития современных производств. Одним из примеров того является возникновение обновленных строительных технологий в микроэлектронике, так называемых «чистых помещений» для различных производств связанных с созданием воздушных ламинарных потоков в помещениях, где обеспечивается поддержание чистоты в течение длительного времени. Обеспечение особой чистоты воздуха и применяемых технологических сред на производстве снижают концентрации микрозагрязнений. Пренебрежение этим требованием сказывается на уровне нанометров в браке и несоответствиях в изготавливаемой продукции печатных плат.

Снижение вибраций для помещений с микровибрационной средой в «чистых помещениях» является самостоятельной инновационной проектной задачей и влечет за собой как привлечение отдельных научных и инженерных разделов, так и большие материальные и трудовые затраты.

Синтез амортизаторов для решения такой задачи может быть осуществлен методом объединенного принципа максимума, установленного для признака истинного движения

Гамильтона-Остроградского [1–6]. Отличительная особенность этого метода в том, что условия оптимальности получаются для конечного промежутка времени. Таким образом, задача синтеза управления решается непосредственно. В известных принципах Л.С. Понтрягина, Р. Беллмана и методе Лагранжа [7] движение объекта записывается в виде систем дифференциальных уравнений и условия оптимальности устанавливаются для данного момента времени, то есть отыскиваются в начале программы оптимального управления, а решение задачи синтеза требует дополнительных гипотез.

Основная теорема объединенного принципа максимума. В качестве исходного положения динамики материальной системы принимается принцип Гамильтона – Остроградского, интеграл действия которого имеет вид

$$R = \int_{t_0}^{t_k} (T + A) dt, \quad (1)$$

где  $T$  – кинетическая энергия системы;

$A$  – работа внешних и управляющих обобщенных сил.

При движении системы из начального состояния  $t = t_0, q(q_{01}, \dots, q_{0n}), \dot{q}(t_0) = [\dot{q}_{01}, \dots, \dot{q}_{0n}]$  в конечное  $t = t_k, q(t_k) = [q_{11}, \dots, q_{1n}], \dot{q}(t_k) = [\dot{q}_{11}, \dots, \dot{q}_{1n}]$  под действием внешних сил  $Q = [Q_1, \dots, Q_n]$ , зависящих от управлений  $u = [u_1, \dots, u_m]$  принцип Гамильтона-Остроградского, записывается в виде

$$\delta'R = \int_{t_0}^{t_k} (\delta T + \delta'A) dt = 0, \quad (2)$$

$$\delta'A = \sum_{s=1}^n Q_s \delta q_s$$

где – элементарная работа обобщенных сил, причем на управления

могут быть наложены ограничения вида  $u(q, \dot{q}) \in \bar{G}_u$ ;

$n = \dim Q$  – число степеней свободы;

$m = \dim u$  – число управлений.

По правилу множителей Лагранжа

$$J = \lambda R + J_1 = \int_{t_0}^{t_k} [\lambda(T + A) + F] dt \rightarrow \min, \quad (3)$$

где  $\lambda \in R^1$  – неопределенный множитель Лагранжа.

Теорема о необходимых и достаточных условиях оптимальности: для того, чтобы управление  $u(q, \dot{q}) \in \bar{G}_u$  и соответствующая ему траектория  $(q, \dot{q}) \in R^{2n}$  доставляли минимум расширенному функционалу (3) при ограничениях (1) необходимо и достаточно выполнение условия максимума для функции  $\Phi$  переменных  $(q, \dot{q}, u) \in R^{2n} \times U^m$

$$\Phi(q, \dot{q}, u, \lambda) = \max_{u(q, \dot{q}) \in \bar{G}_u} (\lambda Q + V) \dot{q}, \quad (4)$$

где  $\lambda = \lambda_0 = \text{const.}$

При  $t = t_0, t = t_k$  выполняются условия трансверсальности в форме функции Гамильтона на концах траектории

$$H = \lambda(A - T) + F = 0. \quad (5)$$

Отсюда получается выражение для обобщенной силы

$$Q_s(q, \dot{q}, u, \lambda) = \lambda^{-1} [\mu_s \dot{q}_s - V_s], \quad s = \overline{1, n}. \quad (6)$$

Построение синтезирующей функции. Согласно (6) равенства определяют в фазовом пространстве гиперповерхность переключения управления

$$Q_s = \lambda^{-1} [\hat{\mu}_s(q, \dot{q}) \dot{q}_s - V_s] = 0, \quad s = \overline{1, n}. \quad (7)$$

На этих поверхностях выполняется условие постоянства функции Гамильтона

$$H = \lambda T + F = \frac{\lambda}{2} \sum_{s,k=1}^n \frac{A_{sk}}{D} p_s p_k + F = h = \text{const}, \quad (8)$$

где  $A_{sk}$  – алгебраическое дополнение элемента  $a_{sk}$  гессиана кинетического потенциала  $D$ .

Из уравнения (8) следует, что поверхности переключения являются эллипсоидами, во внутренней области которых находится терминальная точка. На этой поверхности канонические уравнения для переменных Гамильтона имеют вид

$$\frac{dq_s}{dt} = \frac{dH}{dp_s}; \quad \frac{dp_s}{dt} = -\frac{dH}{dq_s}, \quad s = \overline{1, n}. \quad (9)$$

Из анализа этой системы следует, что семейство траекторий, для которых угловые коэффициенты касательных удовлетворяют условию

$$\hat{\mu}_s = \frac{\dot{q}_s}{V_s} > \mu_s = -\frac{|\dot{q}_s|}{L_s |V_s| + \varepsilon_s} > -\frac{V_{ss} \dot{q}_s}{\lambda^{-1} V_s}. \quad (10)$$

обязательно попадают в терминальную точку, т.е. для этих траекторий терминальная точка является устойчивым узлом.

Тогда обобщенная сила определяется выражением

$$Q_s = \lambda^{-1} \left[ -\frac{|\dot{q}_s| \dot{q}_s}{L_s |V_s| + \varepsilon_s} - V_s \right], \quad s = \overline{1, n}, \quad (11)$$

где  $\lambda^{-1} > 0$ ;  
 $L_s \geq 0$ ;  
 $\varepsilon_s \geq 0$ .

Целевой функционал (3) становится функцией параметров и это позволяет найти их лучшее сочетание в зависимости от терминальных условий. Задача синтеза решена.

Конструирование демпфера с оптимальным законом подавления вибраций технологических агрегатов. Рассматривается типовой агрегат, состоящий из привода и машины, которые могут устанавливаться на общем или на индивидуальных основаниях. Причиной возникновения вибрация является плохая балансировка подвижных частей агрегата. Уравнения Лагранжа вибрационного движения имеют вид

$$\ddot{q} = u + e_1 w_1^2 \sin w_1 t + e_2 w_2^2 \cos(w_2 t + \phi), \quad (12)$$

где  $e_1, e_2$  – эксцентриситеты статической несбалансированности;

$w_1, w_2$  – частоты вращения;

$\phi$  – сдвиг фаз гармонических колебаний.

Ставится задача: найти закон оптимального демпфирования вибраций, а по нему подобрать коэффициенты жесткости упругого элемента  $C$  и коэффициент гидравлического сопротивления  $b$ .

В соответствии с основной теоремой объединенного принципа максимума закон оптимального управления будет иметь вид

$$u = \lambda^{-1} \left[ \frac{|\dot{q} \dot{q}}{L|V| + \varepsilon} - q \right]. \quad (13)$$

Для целевого функционала

$$J_1 = \int_0^{t_k} q^2 dt. \quad (14)$$

Коэффициент жесткости постоянен  $C = \lambda^{-1}$ , а коэффициент гидравлического сопротивления в законе управления будет таким и может быть реализован путем изменения диаметра дроссельного отверстия.

$$b = \frac{\lambda^{-1} |\dot{q}|}{L|V| + \varepsilon}. \quad (15)$$

Пусть для дроссельного отверстия справедливо положение о ламинарном режиме течения жидкости в нем. Тогда из сравнения потерь напора в диссипативной части (13) и потерь напора в дроссельном отверстии получается выражение для определения диаметра дроссельного отверстия

$$\xi \frac{l}{d} \frac{v^2}{g} = \frac{4\lambda^{-1} \dot{q}^2}{\rho g \pi D^2 (L|q| + \varepsilon)}, \quad (16)$$

где  $\xi = \frac{64}{\text{Re}} = \frac{64\nu}{vd}$  – коэффициент гидравлического трения;

$\text{Re}$  – число Рейнольдса;

$d$  – диаметр дроссельного отверстия в силовом поршне демпфера диаметром  $D$ ;

$\nu$  – коэффициент кинематической вязкости;  
 $l = (3...6)d$  – длина дроссельного отверстия;  
 $\rho$  – плотность рабочей жидкости;  
 $g$  – ускорение свободного падения;  
 $v = \left(\frac{D}{d}\right)^2 \dot{q}$  – скорость движения жидкости сквозь свободное отверстие.

Закон изменения относительного диаметра отверстия имеет вид

$$\bar{d} = \frac{d}{D} = \left[ \frac{8\pi\rho\nu l (L|q| + \varepsilon)}{\lambda^{-1} |\dot{q}|} \right]^{0.25}. \quad (17)$$

Вычислительный эксперимент проводился при  $\lambda^{-1} = 40$ ,  $L = 0,25c^{-2}$ ,  $\varepsilon = 2 \cdot 10^{-4} m c^{-2}$ ,  $\nu = 10^{-6} m^2 c^{-1}$ ,  $\rho = 800 kg m^{-3}$ ,  $l = 10^{-2} m$ ,  $e_1 = 2 \cdot 10^{-3} m$ ,  $e_2 = 3 \cdot 10^{-3} m$ . Его результаты подтверждают конструктивность предложенного решения.

### Заключение.

Новый метод аналитического конструирования оптимального регулятора обладает универсальностью и простотой, позволяет решать задачу вплоть до конкретных расчетов. Это является существенным достоинством предлагаемого подхода.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Совмещенный синтез адаптивного к маневру фильтра сопровождения / А. А. Костоготов, А. А. Кузнецов, С. В. Лазаренко, Б. М. Ценных // Радиотехника. – 2015. – № 7. – С. 95-103.
2. Синтез адаптивных многорежимных управлений на основе комбинированного управления объединенного принципа максимума / И. В. Дерябкин, А. А. Костоготов, С. В. Лазаренко [и др.] // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2016. – № 3. – С. 124-132.
3. Анализ алгоритмов параметрической идентификации информационно-управляющих систем, удовлетворяющих принципу Гамильтона-Остроградского / Д. С. Андрашитов, Д. В. Дерябкин, А. А. Костоготов, С. В. Лазаренко // Динамика сложных систем. – 2014. №2. – С. 90 – 95.
4. Костоготов, А. А. Регуляризованный алгоритм многопараметрической вариационной идентификации динамических систем / А. А. Костоготов, С. В. Лазаренко, Д. С. Андрашитов // Сервис в России и за рубежом. – 2011. – № 8 (27). – С. 25-36.
5. Синтез оптимальной по быстродействию системы фазовой автоподстройки частоты на основе объединенного принципа максимума / А. А. Костоготов, С. В. Лазаренко, И. В. Пугачев, А. В. Чеботарев // Десятая юбилейная МНПК / Актуальные вопросы современной техники и технологии». – Липецк, 2013. – С. 84-86.
6. Лурье, А. И. Аналитическая механика : учебное пособие / А. И. Лурье. – Москва : Наука ГРФМЛ, 1961. – 824 с.
7. Лойцянский, Л. Г. Механика жидкости и газа : учебное пособие / Л. Г. Лойцянский. – Москва : ГРФМЛ, 1987. – 840 с.

## ОЦЕНКА ЧАСТОТНОГО ШУМА СИГНАЛА В РАДИОКАНАЛЕ

<sup>1</sup> Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени ФГБОУ ВО «Московский технический университет связи и информатики», г. Ростов-на-Дону, Россия  
<sup>2</sup> Донской Государственный Технический университет, Ростов-на-Дону, Россия

Ключевые слова: гармонический сигнал, стабильность частоты, фазовый шум, частотный шум, спектральная плотность мощности частотного и фазового шума, оценка частоты.

В статье рассматриваются вопросы, связанные с оценкой частотного шума сигнала, взаимосвязи мощности частотного и мощности фазового шума и их зависимостью от стабильности частоты. Предложен алгоритм корреляционного анализа флуктуаций частоты сигнала. Приведены результаты математического моделирования, подтверждающие правильность полученных теоретических результатов и основные отмеченные закономерности.

О.А. Safaryan<sup>2</sup>, I.A. Alferova<sup>2</sup>, I.A. Engibaryan<sup>1</sup>, V.I. Yukhnov<sup>1</sup>

## ESTIMATION OF THE FREQUENCY NOISE OF THE SIGNAL IN THE RADIO CHANNEL

<sup>1</sup> North Caucasus branch of Moscow Technical University  
of Communications and Informatics, Rostov-on-Don, Russia  
<sup>2</sup> Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia

Keywords: harmonic signal, frequency stability, phase noise, frequency noise, spectral power density of frequency and phase noise, frequency estimation.

The report discusses issues related to the evaluation of the frequency noise of the signal, the relationship between the power of frequency and power of phase noise and their dependence on frequency stability. An algorithm for correlation analysis of signal frequency fluctuations is proposed. The results of mathematical modeling are presented, confirming the correctness of the theoretical results obtained and the main patterns noted.

Активный рост цифровых технологий связи, внедрение и развитие новых скоростных стандартов передачи данных - WLAN, DVB-C, DVB-T, MMDS, Bluetooth, за счет освоения достаточно сложных способов цифровой модуляции, таких как 64QAM, 256QAM, OFDM, заключается в нахождении более эффективного способа использования выделенной полосы частот. Последнее позволяет осуществлять передачу большего объема данных в более узкой полосе частот. Уменьшение требуемой полосы частот при заданной скорости передачи данных достигается за счет посылки большего количества битов при помощи одного символа.

Решение данной задачи осуществляется изменением амплитуды и фазы несущей между многими дискретными состояниями (это модуляция QAM с большими индексами — 64, 128, 256) путем ортогонального мультиплексирования большого количества несущих частот с низкой канальной скоростью (OFDM). Как в случае с цифровой модуляцией типа QAM с большими индексами (64, 128, 256), так и в случае с ортогональным мультиплексированием множества несущих (OFDM) критическим параметром приемопередающей аппаратуры, который выходит на первый план, является фазовый шум. При модуляции QAM нестабильность генератора (фазовый шум на отстройках менее 10 кГц)

---

может приводить к «размазыванию» точек фазы на диаграмме состояний, что на приемном конце будет вызывать рост бит-ошибок и ухудшение качества связи [1-8].

Любой фазовый шум связан с нестабильностью частоты сигнала. Взаимосвязь между флуктуациями частоты сигналов генераторов и фазовым шумом определяется следующими выражениями

$$S_{\varphi}(f_m) = \frac{S_{\Delta f}(f_m)}{f_m^2}, \quad (1)$$

где  $S_{\varphi}(f_m)$  - спектральная плотность мощности фазового шума;  
 $S_{\Delta f}(f_m)$  - спектральная плотность мощности частотного шума (частотных флуктуаций);  
 $f_m$  - частота отстройки от несущей.

Значение спектральной плотности мощности частотного шума может быть определено следующим образом

$$S_{\Delta f}(f_m) = \frac{D_{\Delta f}(f_m)}{F}, \quad (2)$$

где  $D_{\Delta f}(f_m)$  - дисперсия отклонений частоты при отстройке от несущей на величину  $f_m$ .

Соотношения (1) и (2) показывают, что уменьшение мощности фазовых шумов достигается повышением стабильности частоты. Одним из направлений формирования высокостабильных колебаний является использование кварцевых генераторов. Кварцевые автогенераторы позволяют формировать сигналы с относительной нестабильностью частоты до  $10^{-7} \dots 10^{-8}$ , что является достаточным для достаточно широкого спектра приложений. Для повышения стабильности частоты могут применяться рубидиевые, цезиевые и водородные стандарты частоты, которые обеспечивают относительную нестабильность частоты сигналов на уровне  $10^{-9} \dots 10^{-10}$  и выступают в качестве опорных генераторов в системе ФАПЧ. Однако использование таких генераторов связано с обеспечением стабильности внешних факторов (температуры, напряжения питания, вибрации и т.д.).

Возможным направлением формирования высокостабильных колебаний при уменьшении влияния внешних факторов на изменение частоты генераторов является определение закона распределения отклонений частоты генератора от номинальных значений. Такой закон распределения позволяет сформировать функцию правдоподобия, которая позволяет получать оценки текущего отклонения частоты сигнала и формировать управляющие сигналы для генератора для стабилизации его частоты. [9, 10].

С учетом описанного выше целью доклада является оценка частотного шума сигнала, обусловленная нестабильностью частоты самого сигнала, на основе алгоритма оценивания параметров закона распределения случайных отклонений частоты генераторов от номинальных значений.

Одним из методов повышения стабильности частоты, который может находить применение в системах связи, включающих большое число одновременно и независимо работающих генераторов, является метод стабилизации частоты, основанный на получении оценок отклонений частот с использованием корреляционного анализа случайных процессов и компенсации этих отклонений.

Рассмотрим метод корреляционного анализа случайных процессов применительно к получению оценок флуктуаций частот генераторов. В качестве используемых входных данных выступают следующие:

- число отсчетов и значения текущей частоты каждого генератора;
- вычисление математического ожидания и дисперсии флуктуаций частоты для каждого генератора;
- формирование значений флуктуаций частоты для каждого генератора на основе найденных значений математического ожидания и дисперсии флуктуаций частоты для каждого генератора с использованием различных законов распределения;
- формирование упорядоченного ряда измеренных значений флуктуаций частоты и сформированных для различных законов распределения значений флуктуации частоты для каждого генератора;
- вычисление значений корреляции упорядоченного ряда измеренных отсчетов с упорядоченными рядами найденных отсчетов для различных законов распределения;
- выбор закона распределения, упорядоченный ряд флуктуаций частоты которого имеет наибольшую корреляцию с упорядоченным рядом измеренных отсчетов.

Результатом является определение закона распределения и его параметров для флуктуаций частоты каждого генератора.

На рисунке 1 приведены 100 значений флуктуаций частоты сигнала, измеренные для генератора с частотой  $2\pi \cdot 10^9$  Гц и относительной нестабильностью  $10^{-7}$ .

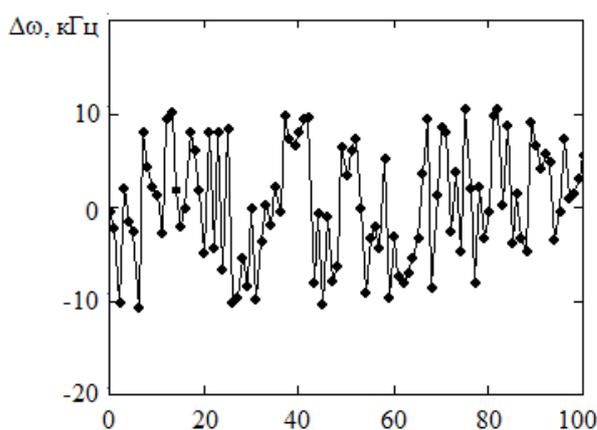


Рисунок 1. Флуктуации частоты последовательных отсчетов сигнала генератора

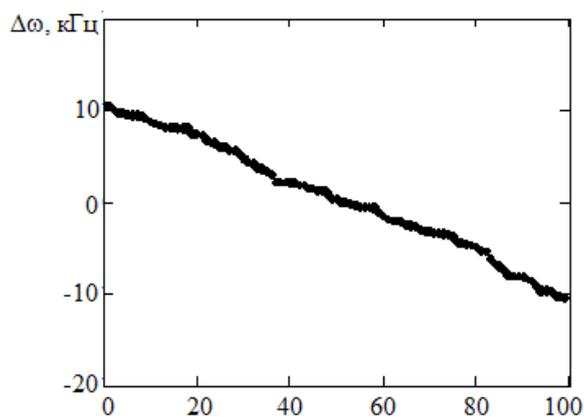


Рисунок 2. Упорядоченный по значениям ряд отсчетов флуктуаций частоты сигнала

На рисунке 2 эти же значения флуктуаций, приведенные на рисунке 1, представлены в виде упорядоченного ряда измеренных отсчетов.

Этапы реализации метода корреляционного анализа случайных процессов представлены в виде алгоритмической структуры на рисунке 3.

Найденные значения флуктуаций частоты позволяют с использованием соотношения (2) определить спектральную плотность мощности частотных шумов. Далее на основе соотношения (1) определяется спектральная плотность мощности фазовых шумов.

Таким образом, можно отметить, что использование метода корреляционного анализа случайных процессов позволяет находить закон распределения и параметры закона распределения флуктуаций частоты сигнала, длительности измерительного интервала от номинального значения. Это позволяет на основе полученных данных проводить коррекцию ухода частоты сигнала от номинального значения и тем самым снизить уровень

спектральной мощности частотных шумов и соответственно спектральной мощности фазовых шумов.



Рисунок 3. Алгоритмическое конструирование метода корреляционного анализа случайных процессов

---

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Zheng T., Chen L., Chen T., Wei S.M., Virtual synchronous generator technology and prospects// Autom. Electric Power Syst. -2015, № 39 (21) p.165–175.
2. Shao H., Li P., Fu W.B., Yang G.H., Wind-solar grid-connected technology based on virtual synchronous generator control strategy// Electr. Autom. – 2018, № 40 (5) p.16–18.
3. Ling Y.L., Adaptive control of distributed power inverter based on VSG// Energy Conserv. – 2020 № 39 (4) p. 5–9.
4. Ren D.J., Wei Y.B., Xi Z.F., Zhang J., Control strategy of inverter power sharing based on VSG// Power Electron. Technol – 2020, №54 (2) p. 28–31.
5. Huo X.X., Wu P., Huang X., Yan J.J., Wang K.Y., Xu K., Yao C., Chen P.Y., Microgrid Stability Control Based on Adaptive Parameter Virtual Synchronous Machine// Electric Power Construct - 2019, № 40 (2), p. 79–86.
6. Cheng G., Shao X., Wang G., Adaptive control strategy for virtual synchronous generator parameters// Renewable Energy - 2021, № 39 (12) p.1655–1661.
7. Lu Z., Sheng W., Zhong Q., Liu H., Zeng Z., Virtual synchronous generator and its applications in micro-grid// Proc. CSEE - 2014, № 34 (16) p.2591–2603.
8. Wan X.F., Zhan Z.L., Liao Z.P., Xi R.X., Research on seamless switching strategy of virtual synchronous generator on and off grid// J. Electron. Measure. Instrument - 2018, №32 (5) p.33–40.
9. Safaryan O.A., Pilipenko I.A., Prerequisites and Theoretical Foundations of the Statistical Method of Frequency Stabilization in Information and Telecommunication Systems// Electronics - 2022, №11(18), p 1-9.
10. Сафарьян О.А., Пилипенко И.А. Метод оценивания параметров стабильности генераторов // РАДИОЛОКАЦИЯ, НАВИГАЦИЯ, СВЯЗЬ / сборник трудов XXVI Международной научно-технической конференции: в 6 т. Воронеж - 2020, с.204-211

**О.А. Сафарьян<sup>2</sup>, И.А. Алферова<sup>2</sup>, Ю.И. Найденова<sup>2</sup>, И.В. Решетникова<sup>1</sup>**

### **СТАБИЛЬНОСТЬ ЧАСТОТЫ ГЕНЕРАТОРОВ И ВЕРОЯТНОСТЬ БИТОВОЙ ОШИБКИ В СИСТЕМАХ РАДИОСВЯЗИ С М-КАМ СИГНАЛАМИ**

<sup>1</sup> Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени ФГБОУ ВО «Московский технический университет связи и информатики», г. Ростов-на-Дону, Россия

<sup>2</sup>Донской Государственный Технический университет, Ростов-на-Дону, Россия

Ключевые слова: система одновременно и независимо работающих генераторов, синергичность, эмерджентность, гармонический сигнал, QAM-сигналы, стабильность частоты, оценка частоты, несмещенность и эффективность оценок.

В статье рассматриваются вопросы, связанные с представлением сигнала в канале связи с учётом возникновения флуктуаций амплитуды, частоты и фазы от номинальных значений. Сформулированы условия влияния постоянной и случайной составляющих отклонения частоты сигнала от номинального значения на вероятность битовой ошибки.

Приведены результаты математического моделирования, подтверждающие правильность полученных теоретических результатов и основные отмеченные закономерности.

**FREQUENCY STABILIZATION BASED ON PRIMARY FUNDAMENTAL PROPERTIES OF LARGE SYSTEMS**

<sup>1</sup> North Caucasus branch of Moscow Technical University of Communications and Informatics, Rostov-on-Don, Russia

<sup>2</sup> Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia

**Keywords:** a system of simultaneously and independently operating generators, synergy, emergence, harmonic signal, signal phase, frequency stability, frequency estimation, non-bias and efficiency of estimates, QAM signals.

The article discusses issues related to the representation of a signal in a communication channel, taking into account the occurrence of fluctuations in amplitude, frequency and phase from nominal values. The conditions for the influence of constant and random components of the signal frequency deviation from the nominal value on the probability of a bit error are formulated.

The results of mathematical modeling are presented, confirming the correctness of the theoretical results obtained and the main patterns noted.

Вероятность битовой ошибки является одним из важнейших показателей эффективности системы связи. Вопросы, связанные с анализом вероятности битовой ошибки в зависимости от отношения сигнал/шум в канале связи получили фундаментальное и всестороннее рассмотрение. В то же время взаимосвязь вероятности битовой ошибки и стабильности частоты является менее исследованной.

Целью доклада является анализ влияния постоянной и случайной составляющих отклонения частоты сигнала от номинального значения на вероятность битовой ошибки.

Рассмотрим представление сигнала в канале связи, которое должно учитывать возникновение флуктуаций амплитуды, частоты и фазы от номинальных значений, определяемых требованиями к частоте несущей излучаемого сигнала, выделенной полосе частот и виду манипуляции параметров сигнала. С учетом отмеченных требований представим реальный сигнал в виде:

$$V(t) = [V_0 + \Delta V(t)] \cdot \cos[(\omega_0 + \Delta\omega(t)) \cdot t + \varphi_0 + \Delta\varphi(t)] + n_{ш}(t), \quad (1)$$

где  $\Delta V(t)$ ,  $\Delta\omega(t)$ ,  $\Delta\varphi(t)$  - соответственно флуктуации амплитуды, частоты и установки начальной фазы сигнала;  $n_{ш}(t)$  - аддитивный белый гауссовский шум.

При обработке сигналов в приемнике значение ОСШ будет определяться двумя группами факторов:

- первая группа факторов определяет при заданных энергетических параметрах радиоканала уровень сигнала на выходе устройства обработки;
- вторая группа факторов представляет мощность шумов на выходе устройства обработки.

Одним из факторов первой группы, определяющих на выходе устройства обработки уровень сигнала и соответственно ОСШ, а, в конечном итоге, целевые характеристики системы связи, является долговременная нестабильность генераторов передающих и приемных устройств в каналах связи. Прежде всего, необходимо отметить, что отклонение амплитуды сигнала от номинального значения практически не приводит к изменению вероятности битовой ошибки для широко используемых в современных системах связи QAM- и OFDM-сигналов. Это связано с тем, что флуктуации амплитуды на указанные сигналы практически не влияют, так как не приводят к изменению взаимного положения точек в сигнальном созвездии.

Наибольшее влияние на вероятность битовой ошибки, в первую очередь, оказывает нарушение частотно-временных параметров (ЧВП) сигналов, таких как начальная фаза в каждой битовой посылке QAM-сигналов и расстройка частоты поднесущих передатчика и приемника, приводящая к нарушению условия ортогональности отдельных поднесущих для OFDM-сигналов.

Наличие долговременной нестабильности ЧВП приводит к появлению медленно изменяющегося отклонения частоты передаваемого сигнала и частоты гетеродина на приемной стороне радиоканала. Следствием возникающего рассогласования частот является снижение выходного сигнала – автокорреляционной функции (АКФ) при корреляционной обработке. Необходимо отметить, что связанное с долговременной нестабильностью отклонение частоты принимаемого и/или опорного сигналов от номинальных значений проявляется в виде:

- непосредственного рассогласования частот принимаемого и опорного сигналов без учета возможной частичной их рассинхронизации на входе приемного устройства;
- частичной рассинхронизации приемного и опорного сигналов на входе приемного устройства, обусловленной несовпадением их частот.

Количественные оценки влияния первого фактора могут быть показаны на примере обработки широкополосных сигналов (ШПС) [1]. Отметим, что обеспечение высоких значений ОСШ для ШПС в радиотехнических системах потенциально связано с большой базой таких сигналов.

Нестабильность частоты генераторов передатчика и приемника приводит при корреляционной обработке к изменению АКФ ШПС, вследствие чего уровень главного пика АКФ уменьшается

$$|R(0, \Delta\omega)| = \frac{\sin(\Delta\omega \cdot T/2)}{\Delta\omega \cdot T/2}, \quad (2)$$

где  $T$  - длительность ШПС.

При допустимом снижении уровня амплитуды  $R(\Delta f)$  до значения 0,75 выражение (2) может быть аппроксимировано следующим образом

$$|R(0, \Delta\omega)| = 1 - (\Delta\omega \cdot T/2)^2 / 6. \quad (3)$$

На рисунке 1 показаны зависимости (2) и (3) при длительности импульса  $T = 10^{-3}$  с.

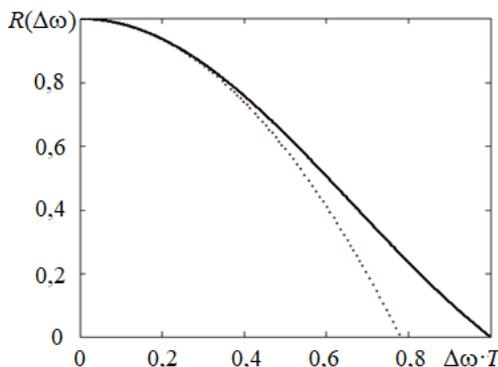


Рисунок 1. Представление автокорреляционной функции ШПС: зависимость (1.2) - сплошная линия, зависимость (1.3) - штриховая линия

Приближение (3), как следует из приведенных данных, справедливо при  $|\Delta\omega \cdot T/2| \leq 0,4$ , что соответствует возможному уменьшению уровня нормированной АКФ, как отмечено выше, до значения 0,75. Решение уравнения (3) имеет простой вид, который позволяет определить допустимое отклонение частоты сигнала по допустимому уменьшению уровню сигнала на выходе устройства корреляционной обработки

$$\frac{\Delta\omega}{\omega_0} = \frac{2\sqrt{6(1-R)} \cdot F}{B \cdot \omega_0} \quad (5)$$

где  $R_T$  - скорость передачи двоичных символов;  $F$  - ширина спектра сигнала. На рисунке 2 приведена зависимость допустимого относительного отклонения частоты несущей ШПС от величины допустимого снижения относительного уровня АКФ.

В частности, при следующих параметрах передаваемого сигнала: частота несущей  $\omega_0 = 2\pi \cdot 10^{10}$  рад/с; ширина спектра сигнала  $F = 20$  МГц; база сигнала  $B = 2 \cdot 10^4$  при допустимом снижении уровня АКФ до 0,89 (снижение уровня АКФ на минус 0,5 дБ) относительное отклонение частоты не должно превышать величину  $2,6 \cdot 10^{-8}$ .

В случае равенства допустимых отклонений частоты сигналов передатчика и приемника значения относительного отклонения частоты не должны превышать  $1,85 \cdot 10^{-8}$ . При использовании более высоких диапазонов частот и/или увеличении базы сигнала допустимое относительное отклонение частоты сигнала должно быть уменьшено на порядок и более.

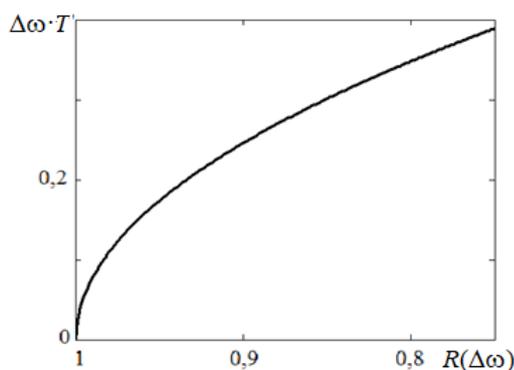


Рисунок 2. Зависимость допустимого относительного отклонения частоты несущей ШПС от величины допустимого снижения амплитуды АКФ

Полученные с использованием соотношений (2)-(5) оценки определяют количественную взаимосвязь между постоянным отклонением частоты сигнала от номинального значения и снижением значения АКФ при корреляционной обработке сигнала.

В свою очередь, вероятность битовой ошибки в зависимости от уровня АКФ может быть определена с использованием следующего выражения

$$P_b(Q) \approx 2\left(1 - 1/\sqrt{M}\right) \operatorname{erfc} \left[ \sqrt{\frac{3 \log_2 M}{2(M-1)} \cdot \frac{Q \cdot \Delta F}{R_T}} \right] \quad (6)$$

Влияние случайных флуктуаций частоты несущей приводит к появлению флуктуаций фазы несущей

$$\Delta\varphi(t) = \int_0^t \omega(\tau) d\tau \quad (7)$$

Данные флуктуации наиболее сильно проявляются в каналах с QAM-сигналами. Количественная оценка указанной вероятности при одновременном воздействии амплитудного белого гауссовского шума (АБГШ) и фазового шума в канале связи с QAM-сигналами в зависимости от величины фазовых флуктуаций может быть получена на основе результатов работы [2] в виде

$$P_{QAM} = \frac{1}{N_i} \cdot \sum_m \left\{ J(1, m, 0, \sqrt{\gamma/N_2}, \sigma_\psi^2) \right\} \quad (8)$$

где  $N_i$  – коэффициент порядка модуляции;  $m$  – индексы порядка модуляции;  $\gamma$  – ОСШ на входе приемника;  $\sigma_\psi^2$  – дисперсия оценивания фазы приемник–передатчик.

На рисунках 3, 4 приведены полученные в [2]. результаты исследований влияния фазового шума на изменение сигнального созвездия и вероятность битовой ошибки.

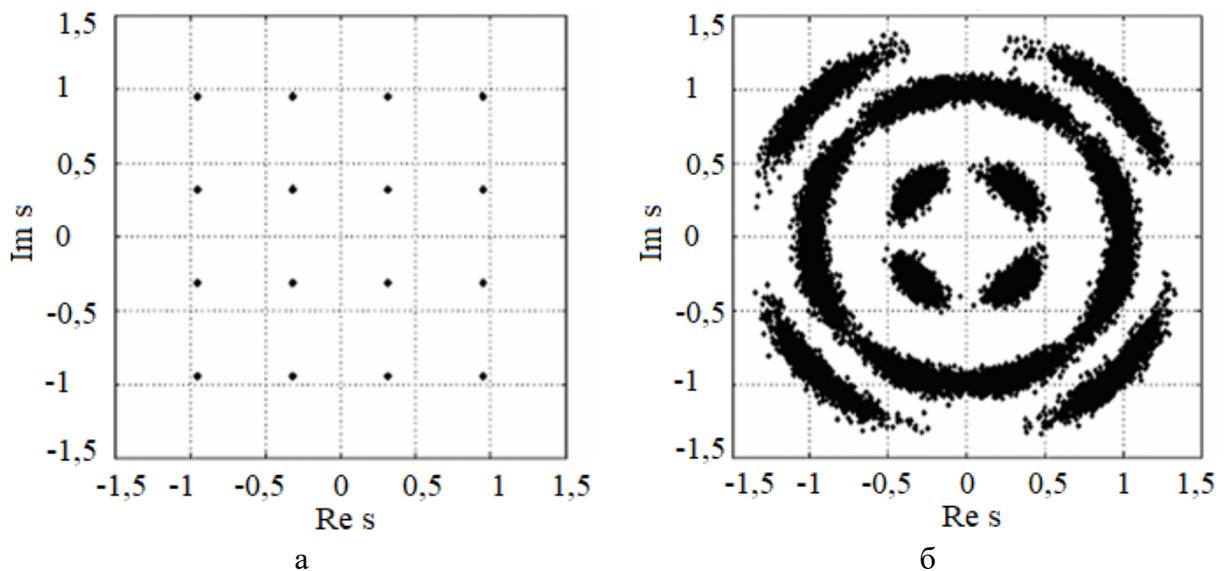


Рисунок 3. Сигнальные созвездия 16-QAM сигнала:  
а – переданного; б – принятого

В частности, на рисунке 3 показаны сигнальные созвездия 16-QAM сигнала. На рисунке 4 для QAM сигнала при различных значениях  $M = 2, 4, 16, 64$  показаны зависимости вероятности битовой ошибки от величины ОСШ при различных значениях мощности фазовых шумов.

Приведенные на рисунке 4 зависимости позволяют при заданном ОСШ в канале связи в зависимости от требований к допустимой вероятности битовой ошибки определить допустимый уровень фазового шума. После этого на основе соотношения (7) может быть определен допустимый уровень флуктуаций частоты сигнала.

Таким образом, в докладе на основе опосредованной взаимосвязи между стабильностью частоты и отношением сигнал/шум в канале связи, с одной стороны, и вероятностью битовой ошибки с другой стороны. Рассмотрены вопросы вклада каждой из составляющих отклонения частоты – постоянного по величине отклонения частоты в

течение импульса от номинального значения и случайного по характеру отклонения частоты.

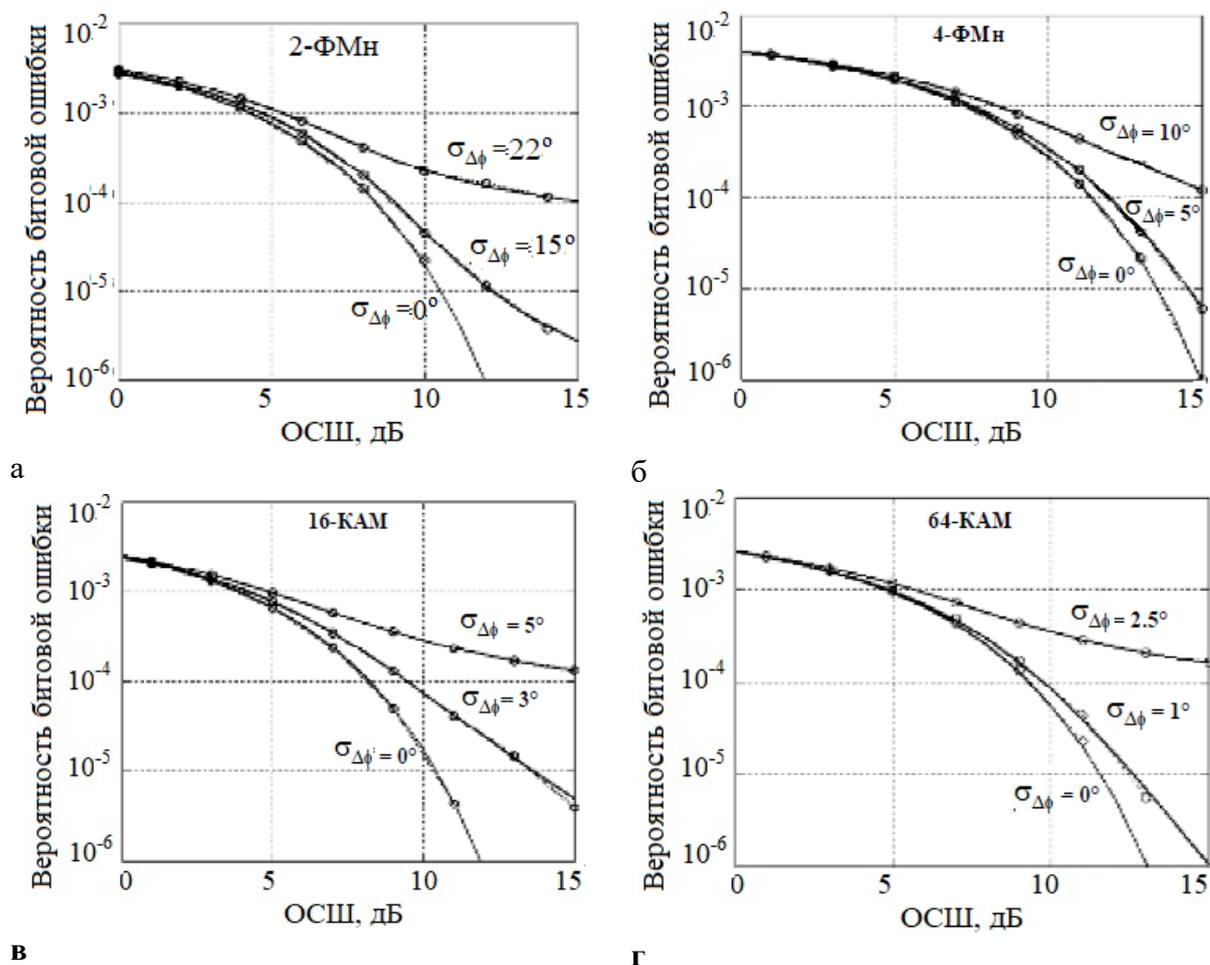


Рисунок 4. Вероятность битовых ошибок при заданных значениях фазового шума:  
а – 2-ФМн модуляции; б – 4-ФМн модуляции;  
в – 16-КАМ модуляции; г – 64-КАМ модуляции.

Проанализированы полученные с использованием математического моделирования зависимости вероятности битовой ошибки указанных составляющих отклонения частоты сигнала.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сафарьян О.А. Метод статистической стабилизации частоты независимо работающих генераторов в инфокоммуникационных системах / автореферат на соискание степени канд. техн. наук / Юж. федер. ун-т. Ростов-на-Дону, 2015
2. Артеменко А.А., Мальцев А.А., Рубцов А.Е. Влияние неточности оценивания фазы несущей на вероятность битовых ошибок в М-КАМ системах передачи данных / А.А. Артеменко, А.А. Мальцев, А.Е. Рубцов // Вест. Нижегород. ун-та им. Н.И. Лобачевского. – 2007. – № 2. – С. 81–87.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ РАДИОСВЯЗИ

<sup>1</sup> Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени ФГБОУ ВО «Московский технический университет связи и информатики», г. Ростов-на-Дону, Россия

<sup>2</sup> Донской Государственный Технический университет, Ростов-на-Дону, Россия

Ключевые слова: телекоммуникационная сеть, экспертная система, система искусственного интеллекта, классификация экспертных систем, генераторы, сигналы.

В статье разработана динамическая экспертная система (ЭС) на основе модели системы контроля технического состояния генераторов сигналов в телекоммуникационных системах. В предлагаемой системе принятие решений основывается на постоянном анализе параметров частотно-временных параметров сигналов, формируемых генераторами в телекоммуникационных системах. Целью работы является разработка экспертной системы на основе модели системы контроля технического состояния генераторов сигналов в телекоммуникационных системах. Для достижения цели необходимо решить следующие задачи: провести исследование и анализ экспертных систем, разработать структурную схему программного средства. В ходе работы была разработана экспертная система, которая позволяет прогнозировать изменение параметров генераторов передающих каналов в телекоммуникационных системах.

О.А. Safaryan<sup>2</sup>, Yu.I. Naydenova<sup>2</sup>, I.A. Alferova<sup>2</sup>, I.V. Reshetnikova<sup>1</sup>

## USING EXPERT SYSTEMS TO IMPROVE THE RELIABILITY OF RADIO COMMUNICATION SYSTEMS

<sup>1</sup> North Caucasus branch of Moscow Technical University  
of Communications and Informatics, Rostov-on-Don, Russia

<sup>2</sup> Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia

Keywords: telecommunication network, expert system, artificial intelligence system, classification of expert systems, generators, signals.

The article develops a dynamic expert system (ES) based on a model of a system for monitoring the technical condition of signal generators in telecommunication systems. In the proposed system, decision-making is based on a constant analysis of the parameters of the time-frequency parameters of signals generated by generators in telecommunication systems. The aim of the work is to develop an expert system based on a model of a system for monitoring the technical condition of signal generators in telecommunication systems. To achieve the goal, it is necessary to solve the following tasks: to conduct research and analysis of expert systems, to develop a block diagram of a software tool. In the course of the work, an expert system was developed that allows predicting changes in the parameters of generators of transmitting channels in telecommunication systems.

Уровень развития телекоммуникационных систем и сетей обеспечивается развитием технологий передачи и обработки информации. От функционирования телекоммуникационных сетей зависят практически все процессы и отношения в обществе. Современные телекоммуникационные сети характеризуются значительным объёмом обрабатываемого трафика и для эффективного их функционирования необходима система, позволяющая гибко реагировать на изменения параметров. Постоянный мониторинг, диагностирование и прогнозирование изменения параметров позволяют не только

определить техническое состояние телекоммуникационной сети, но и сформировать прогноз её изменения [1].

Неточность определения значений одного из параметров может приводить к смещению получаемых оценок всех параметров сигнала. С учетом сложности решаемых в указанной постановке задач одним из возможных подходов для проведения мониторинга, диагностирования и прогнозирования технического состояния сложных систем может являться использование методов искусственного интеллекта (ИИ), в частности экспертных систем (ЭС) [2].

Объектом исследования являются экспертные системы.

Предметом исследования является процесс мониторинга технического состояния генераторов передающих каналов в телекоммуникационных системах.

Целью работы является разработка экспертной системы на основе модели системы контроля технического состояния генераторов передающих каналов в телекоммуникационных системах.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

- разработать структурную схему программного средства;
- провести исследование и анализ применения экспертной системы.

Экспертные системы возникли как значительный практический результат в применении и развитии методов искусственного интеллекта - совокупности научных дисциплин, изучающих методы решения задач интеллектуального (творческого) характера с использованием ЭВМ [3].

Экспертная система — это набор программ, выполняющий функции эксперта при решении задач из некоторой предметной области [4].

На основе данных, поступающих из подсистемы приобретения знаний, в подсистеме принятия решений организуется: мониторинг технического состояния каждого генератора в инфотелекоммуникационных системах, диагностика, в результате которой определяются значения параметров в инфотелекоммуникационной системе и прогнозирование по результатам последовательных измерений на каждом интервале, позволяет дать вероятностное изменение параметров генераторов.

Принятие решений СИИ (Система искусственного интеллекта) основывается на постоянном анализе оценок параметров сигналов генераторов, получаемых с использованием многомерной функции правдоподобия, связывающей между собой значения измеряемых фаз сигналов и текущие характеристики частоты генераторов, такие как средняя частота и относительная нестабильность формируемых сигналов, а также их изменение с течением времени [5].

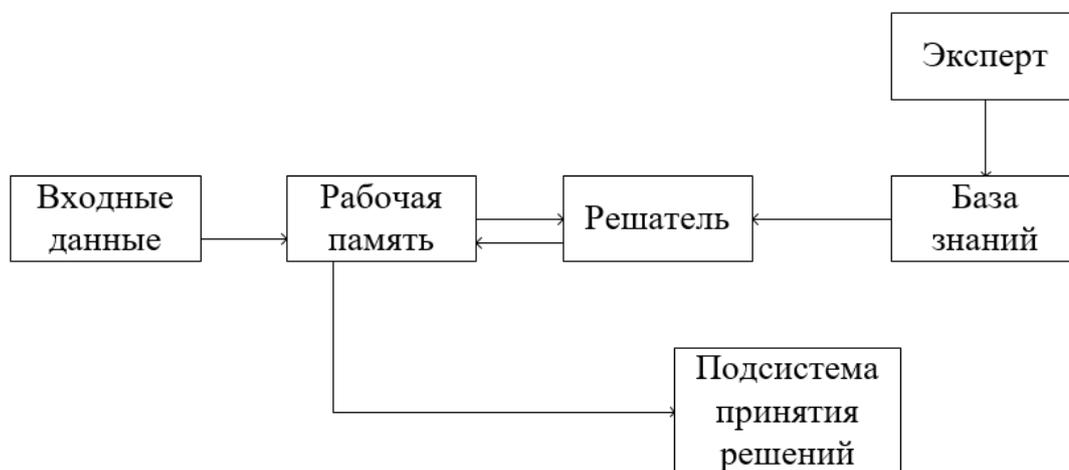


Рисунок 1. Структурная схема экспертной системы

Для реализации данной системы, необходимо определить алгоритм работы программы [6].

Входными значениями для работы программы являются следующие величины [7]:

- число генераторов;
- номинальные значения частоты генераторов;
- номинальная относительная нестабильность частоты генераторов;
- количество измерительных интервалов;
- номинальная длительность интервала.

После ввода входных значений производится обработка параметров в решателе, где для каждого из предполагаемых законов распределения производится моделирование текущего значения частоты сигнала генератора, моделирование длительности текущего интервала измерений, моделирование измеряемой фазы сигнала генератора, необходимых для дальнейшей работы ЭС [8].

После ввода входных значений производится обработка параметров в решателе, где для каждого из предполагаемых законов распределения производится моделирование текущего значения частоты сигнала генератора, моделирование длительности текущего интервала измерений, моделирование измеряемой фазы сигнала генератора, необходимых для дальнейшей работы ЭС [8]. На основе полученных результатов для различных законов распределения вычисляются значения функционалов. Каждый функционал определяется как сумма по числу измерений квадратов разностей между измеренными значениями фаз сигнала и смоделированными на основе соответствующего закона распределения. В качестве оценки длительности временного интервала измерений, текущего значения частоты генераторов выбираются соответствующие параметры того закона распределения, для которого минимум функционала будет меньше. Математическое представление функционала имеет вид

$$L(\delta t) = \frac{\sum_{n=0}^N \frac{(\Phi_n - \Phi_n^{(0)} - \omega_n^{(0)} \cdot \delta t)^2}{2\sigma_0^2 \cdot t_0^2}}{\sum_{n=0}^N \frac{(\omega_n^{(0)})^2}{2\sigma_0^2 \cdot t_0^2}}, \quad (1)$$

где  $\Phi_n$  и  $\Phi_n^{(0)}$  - измеренное и номинальное значение фазы  $n$ -го сигнала соответственно;  $\omega_n^{(0)}$  - номинальная частота  $n$ -го сигнала;  $\delta t$  - предполагаемое отклонение длительности временного интервала измерений от номинального значения  $t_0$ .

В докладе проанализировано функционирование ЭС при оценивании текущего значения частоты генераторов, отклонения которой подчинены нормальному закону. Исследования проводились при следующих исходных данных:

- число генераторов – 1000;
- номинальные значения частоты генераторов  $2 \cdot \pi \cdot 10^9$ ;
- номинальная относительная нестабильность частоты генераторов  $10^{-7}$ ;
- количество измерительных интервалов 1;
- номинальная длительность интервала  $10^{-3}$ .

В качестве предполагаемых (тестовых) законов распределения при экспертизе рассматривались для примера два закона распределения – нормальный и равномерный, параметры которых (математическое ожидание и дисперсия) определялись по результатам измеренных значений частоты генераторов.

Результат обработки на основе двух предположений, приведены на рисунке 2, где сплошной линией показано значение функционала для нормального закона распределения

отклонений текущих значений частоты генераторов от средних значений, штриховой линией – для равномерного закона распределения.

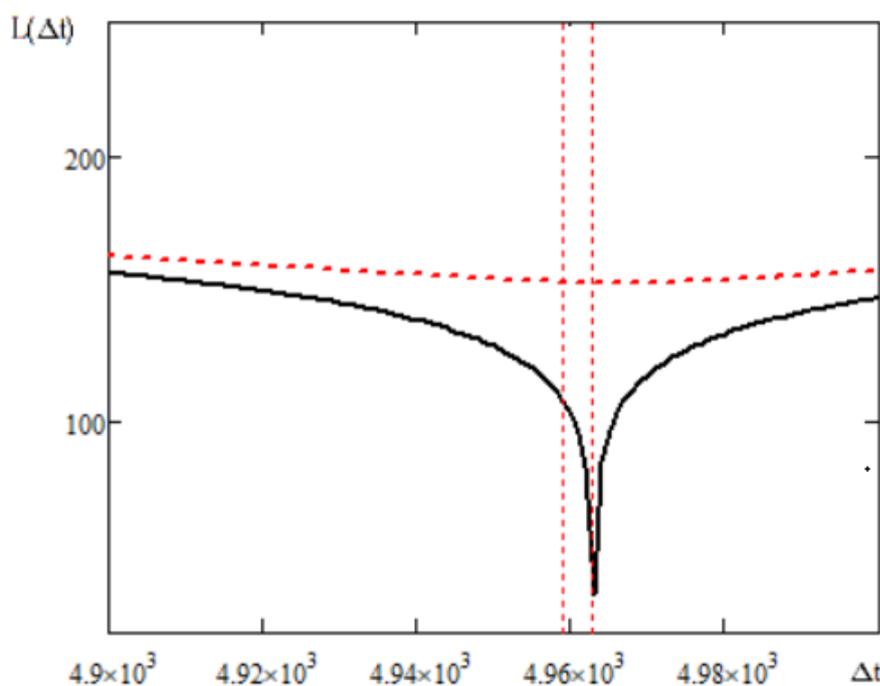


Рисунок 2. Результат обработки на основе двух предположений

Выполненный анализ показал, что при выборе в качестве предполагаемого закона распределения, совпадающего с исследуемым законом распределения, минимум получаемого функционала будет меньше, и получаемое при этом значение отклонения оценки длительности временного интервала измерений от действительного значения также будет меньше, чем для любого другого закона распределения [9].

В частности, при моделировании было получено, что минимальное значение функционала, соответствующего нормальному закону распределения, составляет  $-1.3 \cdot 10^{-10}$ , при равномерном законе распределения –  $-1.4 \cdot 10^{-10}$ . При этом отклонение оценки длительности временного интервала измерений в точке минимума функционала, соответствующего нормальному закону распределения, равно  $-5 \cdot 10^{-10}$ , отклонение оценки длительности временного интервала измерений в точке минимума функционала, соответствующего равномерному закону распределения, равно  $-4.9 \cdot 10^{-10}$ .

Таким образом, по результатам моделирования можно сделать вывод, что при исследовании текущих значений частоты генераторов и длительности временного интервала измерений может использоваться ЭС, в которой реализованы следующие операции:

- измерение текущих значений фаз сигналов генераторов;
- моделирование на основе предполагаемых законов распределения значений фаз сигналов генераторов;
- вычисление функционалов в виде суммы по числу измерений квадратов разностей между измеренными значениями фаз сигнала и смоделированными на основе соответствующего закона распределения;
- выбор в качестве действительного закона распределения текущих значений частоты генераторов закона, которому соответствует наименьшее значение минимума функционала;

- 
- выбор в качестве оценки отклонения длительности временного интервала измерений значения, соответствующего аргументу минимума выбранного функционала.

На основе проведенного исследования можно отметить, что в данной работе был решён ряд задач и реализована поставленная цель по разработке экспертной системы на основе модели системы контроля технического состояния генераторов приемных и передающих каналов в телекоммуникационных системах. Разработанное приложение продемонстрировало пошаговое выполнение каждой операции, которые привели к требуемому результату. На основании этого результата был сделан вывод о работоспособности разработанного предложенного варианта построения ЭС и реализующей ее программного продукта.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сафарьян О.А., Найденова Ю.И., Практическое применение динамической экспертной системы (ЭС) на основе модели системы контроля технического состояния генераторов передающих каналов в телекоммуникационных системах. Инфокоммуникационные технологии: актуальные вопросы цифровой экономики. Сборник научных трудов II Международной научно-практической конференции. Под редакцией В.П. Шувалова. Сост. М.П. Карачарова. Екатеринбург, 2022. С. 69-71.
2. Д. Д. Габриэлян, Б. Х. Кульбикаян, П. И. Костенко, О. А. Сафарьян, Искусственный интеллект в системе мониторинга, диагностики и прогнозирования технического состояния радиотехнических систем / Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2021. – № 4. – С. 91–99.
3. А.Н. Козлов «Интеллектуальные информационные системы»: учебник – Изд-во ФГБОУ ВПО Пермская ГСХА, 2013. – 278 с.
4. Е.В. Боровская, Н.А. Давыдова «Основы искусственного интеллекта»: учебное пособие – М.: Лаборатория знаний, 2020. – 130 с.
5. Экспертные системы. Принципы работы и примеры / ред. Р. Форсайт. - М.: Радио и связь, 2009. - 224 с.
6. Веденов, А.А. Моделирование элементов мышления / А.А. Веденов. - М.: Наука, 2009. - 160 с.
7. Любарский, Ю.Я. Интеллектуальные информационные системы / Ю.Я. Любарский. - М.: Наука, 2015. - 228 с.
8. Сафарьян О.А., Костенко П.И., Пилипенко И.А. Применение нечеткой логики в системе контроля радиомаяков навигационно-посадочного комплекса, в сборнике: Радиолокация, навигация, связь. Сборник трудов XXVII Международной научно-технической конференции, посвященной 60-летию полетов в космос Ю.А. Гагарина и Г.С. Титова. В 4-х томах. Воронеж, 2021. С. 46-52.
9. Балдин, К.В. Теория вероятностей и математическая статистика: Учебник / К.В. Балдин, В.Н. Башлыков, А.В. Рукосуев. - М.: Дашков и К, 2016. - 472 с.
10. Лорьер Ж.-Л. Системы искусственного интеллекта. -- М.: Мир, 2009. – 568 с.

---

В.Г. Кобак<sup>1</sup>, В.Р. Самодурова<sup>1</sup>,  
А.Г. Жуковский<sup>2</sup>, Л.М. Колдынская<sup>2</sup>, С.А. Швидченко<sup>2</sup>

## НАХОЖДЕНИЯ МИНИМАЛЬНЫХ УСТОЙЧИВЫХ МНОЖЕСТВ НЕОРИЕНТИРОВАННОГО СВЯЗНОГО ГРАФА

Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Россия<sup>1</sup>  
Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени ФГБОУ ВО  
«Московский технический университет связи и информатики», г. Ростов-на-Дону, Россия<sup>2</sup>

Ключевые слова: эвристический алгоритм, метод Магу, минимальное устойчивое множество графа, граф, доминирующее множество, внешне устойчивое множество.

В статье рассматривается проблема нахождения минимальных устойчивых множеств графа, к которой сводятся многие задачи. В качестве возможного метода решения данной задачи рассматривается эвристический алгоритм. Описывается сравнение эффективности работы данного алгоритма на основе оценки точности и времени работы метода Магу при разном количестве вершин.

V.G. Kobak<sup>1</sup>, V.R. Samodurova<sup>1</sup>,  
A.G. Zhukovsky<sup>2</sup>, L.M. Koldynskaya<sup>2</sup>, S.A. Shvidchenko<sup>2</sup>

## FINDING MINIMAL STABLE SETS OF AN UNDIRECTED CONNECTED GRAPH

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia<sup>1</sup>  
North Caucasus branch of Moscow Technical University  
of Communications and Informatics, Rostov-on-Don, Russia<sup>2</sup>

Keywords: heuristic algorithm, magu method, minimal stable graph set, graph, dominant set, externally stable set.

The article deals with the problem of finding minimal stable sets of a graph, to which many problems are reduced. A heuristic algorithm is considered as a possible method of solving this problem. A comparison of the efficiency of this algorithm is described based on an assessment of the accuracy and operating time of the Magu method with a different number of vertices.

### Введение.

При решении некоторых задач актуальной становится проблема нахождения минимальных устойчивых множеств графа. Задача нахождения минимальных устойчивых множеств графа относится к NP-полным задачам, трудоемкость решения которой определяется как  $O(n^m)$ , где  $O$  - временная асимптотическая сложность алгоритма, а  $n, m$  - целое число больше единицы. Практическая актуальность решения подобных задач связана с тем, что на данный момент неизвестны точные алгоритмы, решающие её за полиномиальное время.

Задача нахождения минимального устойчивого множества может быть сформулирована следующим образом. Пусть  $G$  – неориентированный связанный граф, тогда  $G = (E, \Gamma)$ , где  $E$  – вершины графа, а  $\Gamma$  – рёбра графа. Необходимо найти такое подмножество  $T \subset E$ , которое соответствует условию  $(\forall X_i \notin T) T \cap \Gamma X_i \neq \emptyset$ . Другими словами, любая вершина  $X_i$  не принадлежащая  $T$ , связана по крайней мере с одной из вершин, входящих в  $T$  дугой.

Решение поставленной задачи можно получить с помощью прямых или приближённых методов. В данном исследовании в качестве точного алгоритма рассмотрим метод Магу, шаги которого можно описать следующей последовательностью шагов:

- Шаг 1. Для графа составим матрицу смежности;  
 Шаг 2. Для каждой строки матрицы смежности выписываем дизъюнкции и соединяем их с помощью знака конъюнкции в булеву формулу;  
 Шаг 3. Приводим выражение к дизъюнктивной нормальной форме;  
 Шаг 4. Все вершины, входящие в элементарную конъюнкцию, образуют множество внешней устойчивости.

### Практический пример.

Рассмотрим пример, который проиллюстрирует решение задачи для нахождения минимального устойчивого множества для графа, изображённого на рисунке 1 с помощью метода Магу.

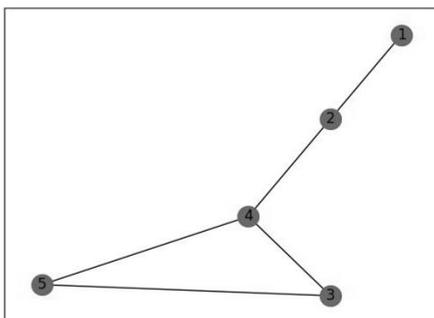


Рисунок 1. Рассматриваемый неориентированный взвешенный граф

Матрицу смежности, построенную для графа, изображённого на рисунке 1, проиллюстрируем на рисунке 2.

$$\begin{array}{c}
 1 \ 2 \ 3 \ 4 \ 5 \\
 \begin{pmatrix}
 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\
 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\
 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\
 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\
 0 & 0 & 1 & 1 & 1
 \end{pmatrix}
 \end{array}$$

Рисунок 2. Матрица смежности для рассматриваемого графа

Согласно методу, выпишем булеву формулу, полученную с помощью созданной матрицы смежности:

$$(X_1 \vee X_2)(X_2 \vee X_4 \vee X_1)(X_3 \vee X_4 \vee X_5)(X_4 \vee X_2 \vee X_3 \vee X_5)(X_5 \vee X_3 \vee X_4)$$

Раскроем скобку 1 и 2 с помощью логического умножения:

$$(X_1 X_2 \vee X_1 X_4 \vee X_1 \vee X_2 \vee X_2 X_4 \vee X_1 X_2)(X_3 \vee X_4 \vee X_5)(X_4 \vee X_2 \vee X_3 \vee X_5)(X_5 \vee X_3 \vee X_4)$$

Применяя закон поглощения к первой скобке, получим:

$$(X_1 \vee X_2)(X_3 \vee X_4 \vee X_5)(X_4 \vee X_2 \vee X_3 \vee X_5)(X_5 \vee X_3 \vee X_4)$$

Аналогичные манипуляции проведём со всеми остальными скобками и получим:

$$X_1 X_3 \vee X_1 X_4 \vee X_1 X_5 \vee X_2 X_3 \vee X_2 X_4 \vee X_2 X_5$$

Таким образом, минимальными внешними устойчивыми множествами будут являться:  $\{X_1, X_3\}$ ,  $\{X_1, X_4\}$ ,  $\{X_1, X_5\}$ ,  $\{X_2, X_3\}$ ,  $\{X_2, X_4\}$ ,  $\{X_2, X_5\}$ .

В качестве приближённого метода в данной работе будем рассматривать эвристическую реализацию, в основе которой лежит преобразованное структурное число (ПСЧ) и расширенная алгебраическая производная преобразованного структурного числа. Преобразованное структурное число - список смежности рассматриваемого графа.

Расширенная алгебраическая производная преобразованного структурного числа  $\frac{\delta_p A}{\delta Q_i} = A'$  - список смежности, исключая строку  $Q_i$ , а также элемент  $i$  и элементы, входящие в строку  $Q_i$ . Основная идея алгоритма заключается в следующем. В ПСЧ определяется строка  $Q_i$ , у которой  $|Q_i|$  (количество вершин) максимальна. Если таких строк несколько, то выбирается любая. Далее определяется расширенная алгебраическая производная  $\frac{\delta_p A}{\delta Q_i} = A'$  и записывается подмножество  $X' = \{x_i, x_k, x_l, \dots, x_q\}$  (вершины  $x_k, x_l, \dots, x_q$  соответствуют элементам  $Q'_i$ ). Затем производится сравнение  $X$  с  $X'$ . Если  $X' = X$ , то вершина  $x_i$  образует внешне устойчивое подмножество  $M1$ . В противном случае в ПСЧ  $A'$  снова определяется строка  $Q_j$ , у которой  $|Q_j|$  максимальна. Если таких строк несколько, то выбирается строка  $Q_s$ , которая имеет максимальное число элементов, не вошедших в подмножество  $X'$  на предыдущем шаге. Находится  $\frac{\delta_p A}{\delta Q_i}$  и записывается подмножество  $X''$ . Если  $X'' = X$ , то вершины  $x_i$  и  $x_j$  образуют внешне устойчивое подмножество  $M1 = \{x_i, x_j\}$ . Если нет, то процесс повторяется аналогично, пока на некотором  $l$  шаге  $X^{(l)} = X$ . Для построения семейства  $M$  необходимо аналогичные операции над ПСЧ выполнять последовательно с каждой строкой с просмотром всех ответвлений.

### Практический пример.

Рассмотрим пример, который проиллюстрирует решение задачи для нахождения минимального устойчивого множества для графа, изображённого на рисунке 1 с помощью эвристического метода.

Проиллюстрируем преобразованное структурное число  $A$  для графа на рисунке 1,  $M = \emptyset, X = \{X_1, X_2, X_3, X_4, X_5\}$ .

1	2
2	1, 4
3	4, 5
4	2, 3, 5
5	3, 4

Рисунок 3. ПСЧ для графа для рассматриваемого графа

Строка  $Q_4$  обладает максимальной  $|Q_i|$ , поэтому найдём расширенную алгебраическую производную для данной строки  $A'$ , которую можно увидеть на рисунке 4. При этом  $M = \{X_4\}, X' = \{X_2, X_3, X_5\}$ .

1	$\emptyset$
2	1, 4
3	4
5	4

Рисунок 4. Расширенная алгебраическая производная  $A'$  для  $Q_4$

Сравниваем  $X'$  и  $X$ , их мощности не равны, следовательно, алгоритм продолжает работу. Для  $A'$  строкой с максимальной  $|Q_i|$  будет являться строка  $Q_2$ . Находим расширенную алгебраическую производную  $A''$  для данной строки, результат проиллюстрируем на рисунке 5. При этом

$$M = \{X_4, X_2\}, X'' = \{X_1, X_2, X_3, X_4, X_5\}.$$

1	Æ
3	Æ
5	Æ

Рисунок 5. Расширенная алгебраическая производная  $A''$  для  $Q_2$

Сравниваем  $X''$  и  $X$ , их мощности равны, следовательно, алгоритм закончил свою работу. Следовательно, мы получаем внешне устойчивое множество  $M = \{X_4, X_2\}$ .

### Тестирование алгоритмов.

В данной работе рассмотрим зависимость того как влияет количество вершин графа на точность решения неоднородной минимаксной задачи, а также на время решения. Рамках исследования алгоритмов были поставлены вычислительные эксперименты, позволяющие собрать статистику решений алгоритмами. Был разработан программный модуль, позволяющий организовывать вычислительные эксперименты. Для проведения вычислительного эксперимента был использован компьютер под управлением Windows 10 Pro x64. В качестве аппаратного обеспечения использовался компьютер со следующей конфигурацией: процессор AMD Ryzen 7 3700U with Radeon Vega Mobile Gfx 2.30 GHz, 8 гигабайт оперативной памяти, жесткий диск SSD. Для проведения вычислительного эксперимента было написано программное средства на современном языке программирования Python в среде разработки Pycharm.

В ходе проведения вычислительного эксперимента была взята задача с параметрами: 50 графов размерностью 20 вершин, 50 графов размерностью 10 вершин, количество рёбер между вершинами случайно. Оценивались такие параметры как среднее и минимальное время, полученные в ходе эксперимента, процент точности полученного результата для приближённого метода.

Таблица 1. Результаты решения задачи

Параметр	Прямой метод (10 вершин)	Приближённый метод (10 вершин)	Прямой метод (20 вершин)	Приближённый метод (20 вершин)
Максимальное время	0.14с	0.016с	523 с	0.001 с
Среднее время	0.028 с	0.0006 с	57 с	0.0004 с
Точность результата		96%		94%

По результатам вычислительного эксперимента при исследовании графов до 20 вершин можно сделать следующие выводы:

1. Вероятность получения точного результата с помощью приближённого метода больше 94%, а временные характеристики приближенного решения по получению минимального устойчивого множества в сотни раз меньше.
2. С помощью эвристического метода получается одно минимально устойчивое множество, в то время как метод Магу дает все минимально внешне устойчивые множества графа.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кофман А. Введение в прикладную комбинаторику. - Москва: Наука, 1975. - 480 с.
2. Осипова В.А. Основы дискретной математики . - Москва: ФОРУМ, 2006. - 160 с.
3. Кобак В.Г., Троцкий В.С. Экспериментальное исследование различных характеристик симметричного графа при использовании ядер, полученных с помощью метода Магу // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. 2022. №3

---

(215). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/eksperimentalnoe-issledovanie-razlichnyh-harakteristik-simmetrichnogo-grafa-pri-ispolzovanii-yader-poluchennyh-s-pomoschyu-metoda> (дата обращения: 22.09.2022).

4. *Ефимова Е.А.* Дискретная математика. Практическая часть // Сервер учебных материалов ОИС РГГУ URL: <http://isdwiki.rsuh.ru/moodle/mod/page/view.php?id=531> (дата обращения: 24.09.2022).
5. Числа внутренней и внешней устойчивости графа // Студопедия URL: [https://studopedia.ru/22\\_19686\\_chisla-vnutrenney-i-vneshney-ustoychivosti-grafa.html](https://studopedia.ru/22_19686_chisla-vnutrenney-i-vneshney-ustoychivosti-grafa.html) (дата обращения: 27.09.2022).

**В.Г. Кобак<sup>1</sup>, П.Н. Иванков<sup>1</sup>,  
А.С. Валадов<sup>1</sup>, А.Г. Жуковский<sup>2</sup>, С.А. Швидченко<sup>2</sup>**

### **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ФАЗ РАБОТЫ АЛГОРИТМА КРОНА В ОДНОРОДНЫХ СИСТЕМАХ ПРИ ИЗБИРАТЕЛЬНОСТИ ПРИБОРОВ**

Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Россия<sup>1</sup>  
Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени ФГБОУ ВО  
«Московский технический университет связи и информатики», г. Ростов-на-Дону, Россия<sup>2</sup>

Ключевые слова: алгоритм Крона, приближенные алгоритмы, минимаксная задача, минимаксные задачи с бесконечностями, алгоритмы распределения.

В данной работе рассматривается решение распределительной задачи для однородных систем, содержащих бесконечности, с помощью итерационного алгоритма Крона. Приводится описание «двухфазного» алгоритма Крона и его модификации «трёхфазного» алгоритма Крона. Для оценки эффективности продемонстрированы результаты экспериментов при различных входных данных и сравнение данных алгоритмов. Описаны взаимодействия с бесконечностями каждого из алгоритмов. Разработаны программные средства для анализа эффективности данных алгоритмов.

**V.G. Kobak<sup>1</sup>, P.N. Ivankov<sup>1</sup>,  
A.S. Valadov<sup>1</sup>, A.G. Zhukovsky<sup>2</sup>, S.A. Shvidchenko<sup>2</sup>**

### **EXPERIMENTAL STUDY OF VARIOUS PHASES OF THE CROHN'S ALGORITHM IN HOMOGENEOUS SYSTEMS WITH SELECTIVITY OF DEVICES**

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia<sup>1</sup>  
North Caucasus branch of Moscow Technical University  
of Communications and Informatics, Rostov-on-Don, Russia<sup>2</sup>

Keywords: Crohn's algorithm, critical path algorithm, approximate algorithms, minimax problem, minimax problems with infinities, distribution algorithms.

In this paper, we consider the solution of the distributive problem for homogeneous systems containing infinities using the Kron iterative algorithm. The description of the "two-step" Crohn's algorithm and its modification of the "three-phase two-step" Crohn's algorithm is given. To evaluate the effectiveness, the results of experiments with different input data and a comparison of these algorithms are demonstrated. Interactions with the infinities of each of the algorithms are described. Software tools have been developed to analyze the effectiveness of these algorithms.

## **Введение.**

В настоящее время широкое распространение и развитие получили вычислительные устройства с многопроцессорной архитектурой. Причём такие устройства могут входить в состав более сложных в организации многомашинных комплексов, позволяющие решать сложные вычислительные задачи путём распределения вычислительного процесса между вычислительными ресурсами. Однако в процессе распараллеливания вычислительного процесса может возникнуть дисбаланс в загрузке доступных вычислительных ресурсов. Поэтому важной задачей является равномерное распределение загрузки всех вычислительных ресурсов. Разрабатываются и модифицируются различные приближенные алгоритмы с целью получить результат близкий к оптимальному. [1] Алгоритм Крона представляет собой итерационный алгоритм для решения подобных однородных задач. Однако существуют модели задач, в которых система требует избирательности приборов (процессоров). Например, строки системы могут содержать как элемент – бесконечность, то есть задачу, которую обработать процессор не может. Требуется обработать данную ситуацию, модифицировав алгоритмы.

## **Постановка задачи.**

В современных системах, параллелизм которых осуществляется за счёт множества одинаковых устройств  $P = \{p_1, \dots, p_n\}$ , на вход, как правило, поступает некоторое множество заданий  $T = \{t_1, \dots, t_m\}$ , каждое из которых может обрабатываться независимо на любом из устройств. При этом любое устройство из  $\{P\}$  в каждый момент времени обрабатывает только одно задание из множества  $\{T\}$  за известное время  $t_j$ , где  $j = 1, 2, \dots, m$ . В процессе обработки задание не может быть передано на другое устройство или возвращено обратно в очередь.

Задача сводится к распределению (разбиению) исходного множества заданий  $T$  по устройствам ( $n$  непересекающихся подмножеств). Именно минимаксный критерий выступает в качестве критерия, обеспечивающего оптимальность разбиения, т.е. выполнение за максимально быстрое время  $Q$  параллельной программы.

$$Q = \max\{Q_i\} \rightarrow \min,$$

где  $Q_i = \sum_{t_j \in T_i} t_j$  - загрузка  $i$ -го процессора (время окончания выполнения множества заданий  $T_i \subseteq T$ , назначенных на процессор  $p_i$ , где  $i = 1, 2, \dots, n$ ) [1-3].

Особенностью минимаксных задач с бесконечностями является то, что в качестве  $t_{j,i}$  может выступать бесконечность. Следовательно, минимаксный критерий должен каким-то образом их обходить, дабы выполнение (время) не ушло в непрерывный цикл. Количество бесконечностей в строке может составлять от 0 до  $N-1$ . Из этого следует, что в каждой строке  $T$  существует хотя бы одно значение, не равное бесконечности. На данном правиле строится дальнейшее конструирование модификаций алгоритмов.

Задачей научного исследования является оценка предложенного в данной работе «трёхфазного» алгоритма Крона, анализ частоты возможности входа в третью стадию и сравнение с «двухфазным» алгоритмом.

## **Двухфазный алгоритм Крона для минимаксных задач с бесконечностями.**

Алгоритм Крона для однородных систем подробно описан в работе [3]. Основной принцип двухфазного метода заключается в случайном распределении множества заданий  $T$  по множеству приборов (процессоров)  $P$ . Взаимодействие с бесконечностями должно осуществляться лишь с целью непопадания их на процессор и организуется следующим образом: при заполнении задания  $T_j$ , где  $j = 1, 2, \dots, M$ , производится обход соответствующей строки длиной в  $N$  и поиск и выбор в ней значения не равного бесконечности, исходя из условия в постановке задачи, что в строке обязательно существует хотя бы одно такое значение.

---

Далее требуется произвести вычисление времени загрузки  $Q_i$ , где  $i = 1, 2, \dots, N$ , для каждого прибора  $P_i$  и «переброс» задания между приборами  $Q_{max}$  и  $Q_{min}$ , при выполнении условия:

$$|Q_k^{max}| < \Delta,$$

где  $\Delta = Q_{max} - Q_{min}$ ,  $k = 1, 2, \dots, M$

После каждой операции «переброса» значения  $Q_i$  пересчитываются, выбираются новые два прибора  $Q_{max}$  и  $Q_{min}$ , и процесс проверки условия выше проверяется. Если условие ни разу не выполнится, то алгоритм переходит на второй шаг.

Второй шаг представляет собой вычисление времени загрузки  $Q_i$ , где  $i = 1, 2, \dots, N$ , для каждого прибора  $P_i$  и обмен заданиями между приборами  $Q_{max}$  и  $Q_{min}$ , при выполнении условий:

$$Q_k^{max} - Q_j^{min} < \Delta \text{ и } Q_k^{max} > Q_j^{min}$$

где  $\Delta = Q_{max} - Q_{min}$ ,  $k, j = 1, 2, \dots, M$

При невыполнении данного условия ни на одной паре значений – алгоритм заканчивается. В результате составляется расписание, общая длина которого  $Q_{max}$ .

### **Трёхфазный алгоритм Крона для минимаксных задач с бесконечностями.**

Данный алгоритм расширяет стандартный двухфазный алгоритм дополнительной, так называемой «третьей фазой», которая, после обработки всех допустимых пар в условии второго шага, заменяет  $Q_j^{min}$  на  $Q_j^{average}$  в операции «обменов». Соответственно: сортируем  $Q_i$ , где  $i = 1, 2, \dots, N$ , по возрастанию веса. Заметим, что  $Q_1$  – это  $Q_{min}$ ,  $Q_N$  – это  $Q_{max}$ . Производим обход от  $i = 1, \dots, N - 1$ , соответственно от минимального до самого дальнего к  $Q_{min}$  (от  $i = 2, \dots, N - 1$  назовём  $Q_{average}$ ):

Проверим выполнение условия при  $Q_{min}$  из стандартного двухфазного алгоритма и производим обмен заданиями до тех пор, пока оно выполняется. Если нет – для обмена используем пару  $Q_{max}$  и  $Q_{average}$ , при выполнении условий:

$$Q_k^{max} - Q_j^{average} < \Delta \text{ и } Q_k^{max} > Q_j^{average}$$

где  $\Delta = Q_{max} - Q_{average}$ ,  $k, j = 1, 2, \dots, M$ .

В случае, если обмен был произведён – требуется прервать цикл, вычислить время загрузки каждого  $Q_i$  и повторить действия (включая сортировку). При невыполнении данного условия ни на одной паре значений – алгоритм заканчивается. В результате составляется расписание, общая длина которого  $Q_{max}$ .

Аналитически проверить предположение об эффективности данной модификации затруднительно, поэтому следует провести вычислительный эксперимент.

### **Вычислительный эксперимент.**

Для проверки эффективности различных модификаций алгоритма Крона: «двухфазный» и «трёхфазный» был проведен вычислительный эксперимент с помощью программного средства написанного на языке программирования C#. В качестве аппаратного обеспечения использован ноутбук с процессором Intel(R) Core(TM) i5-9300H и оперативной памятью объемом 8 гигабайт. Исходными данными в эксперименте

являются: 1000 случайно сгенерированных матриц размерностями  $N = 3, 4, \dots, 10$ ;  $M = 53, 157, 655$  с диапазоном значений 20-25.

Таблица 1. Усредненные значения результатов работы оцениваемых алгоритмов Крона с диапазоном значений 20-25

N*M	Статистика	Итерационные алгоритмы	
		1000 матриц	
		Двухфазный с бесконечностями	Трёхфазный с бесконечностями
3x53	Среднее значение (Tmax)	389,02	389,02(0)
	Среднее время(мс)	0,6815118	0,695909
4x53	Среднее значение (Tmax)	291,877	291,867(3)
	Среднее время(мс)	0,6534794	0,67022139
5x53	Среднее значение (Tmax)	233,761	233,697(119)
	Среднее время(мс)	0,68175729	0,6980375
6x53	Среднее значение (Tmax)	196,263	195,402(741)
	Среднее время(с)	0,63167259	0,65687769
7x53	Среднее значение (Tmax)	169,608	169,122(714)
	Среднее время(мс)	0,7760772	0,8022481
8x53	Среднее значение (Tmax)	149,674	149,068(808)
	Среднее время(мс)	0,6267849	0,6550343
9x53	Среднее значение (Tmax)	133,16	131,25(988)
	Среднее время(мс)	0,6349320	0,6701669
10x53	Среднее значение (Tmax)	124,098	123,13(858)
	Среднее время(мс)	0,65422569	0,6851644
3x157	Среднее значение (Tmax)	1151,78	1151,78(0)
	Среднее время(с)	0,670231	0,760549
4x157	Среднее значение (Tmax)	863,988	863,988(0)
	Среднее время(с)	0,7029142	0,7867854
5x157	Среднее значение (Tmax)	691,13	691,13(0)
	Среднее время(с)	0,69326550	0,7674654
6x157	Среднее значение (Tmax)	576,152	576,152(0)
	Среднее время(с)	0,8034403	0,872695
7x157	Среднее значение (Tmax)	493,736	493,736(0)
	Среднее время(с)	0,6533691	0,7104604

Продолжение Таблицы 1.

8x157	Среднее значение (Tmax)	432,216	432,216(0)
	Среднее время(с)	0,71516569	0,771800399
9x157	Среднее значение (Tmax)	384,273	384,273(0)
	Среднее время(мс)	0,648323499	0,69927299
10x157	Среднее значение (Tmax)	345,798	345,794(3)
	Среднее время(мс)	0,6524505	0,6989905
3x655	Среднее значение (Tmax)	4803,709	4803,709(0)
	Среднее время(мс)	2,531582	3,80763079
4x655	Среднее значение (Tmax)	3602,827	3602,827(0)
	Среднее время(с)	2,1047338	3,1994036999
5x655	Среднее значение (Tmax)	2882,138	2882,138(0)
	Среднее время(мс)	1,99392129	2,9675046
6x655	Среднее значение (Tmax)	2402,225	2402,225(0)
	Среднее время(мс)	1,8299102	2,6672149
7x655	Среднее значение (Tmax)	2059,245	2059,245(0)
	Среднее время(мс)	1,7155502	2,459099
8x655	Среднее значение (Tmax)	1801,963	1801,963(0)
	Среднее время(мс)	1,6154658	2,2764127
9x655	Среднее значение (Tmax)	1601,532	,1601,532(0)
	Среднее время(с)	1,5991001	2,20560779
10x655	Среднее значение (Tmax)	1441,556	1441,556(0)
	Среднее время(с)	1,714970	2,335672

### Заключение.

Представленная в данной работе модификация эффективно оптимизирует результат работы алгоритма Крона. Однако частота входа в третью фазу (то есть выполнения условия обмена с  $Q_{average}$ ) сильно зависит от входной размерности. При значении отношения  $N/M > 10$  —  $\Delta$ , после операции «обменов» с  $Q_{min}$ , с большой вероятностью не будет превышать единицу и соответственно  $Q_{average}$  будет равно  $Q_{min}$ . Третья фаза не запустится. Однако при обратных значениях данной пропорции – третья фаза вносит заметный эффект и лучше распределяет задания, чем стандартный двухфазный алгоритм Крона.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коффман Э.Г. Теория расписаний и вычислительные машины. М.: Наука, 1984. 337 с.
2. Кобак В.Г., Иванов М.С. Сравнительный анализ алгоритмов решения задачи планирования в однородных вычислительных системах// Математические методы в технике и технологиях - ММГТ-20: сб. тр. XX

- 
3. Кобак В.Г., Титов Д.В., Золотых О.А. Исследование алгоритма Крона и его модификации при различных исходных данных // Вестн. ДГТУ. Вып. 8(69). Ростов-на-Дону, 2012.

**В.Г. Кобак<sup>1</sup>, В.М. Поркшеян<sup>1</sup>, А.С. Валадов<sup>1</sup>, С.А. Швидченко<sup>2</sup>**

**РЕАЛИЗАЦИЯ МОДИФИКАЦИЙ АЛГОРИТМА КРОНА И АЛГОРИТМА  
«КРИТИЧЕСКОГО ПУТИ» ДЛЯ РЕШЕНИЯ МИНИМАКСНЫХ ЗАДАЧ С  
БЕСКОНЕЧНОСТЯМИ**

Донской государственной технической университет, Ростов-на-Дону, Россия<sup>1</sup>  
Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени ФГБОУ ВО  
«Московский технический университет связи и информатики», г. Ростов-на-Дону, Россия<sup>2</sup>

Ключевые слова: алгоритм Крона, алгоритм критического пути, приближенные алгоритмы, минимаксная задача, минимаксные задачи с бесконечностями, алгоритмы распределения.

В данной работе рассматривается решение распределительной задачи для однородных систем, содержащих бесконечности, с помощью приближенных алгоритмов. Приводится описание «одношагового» алгоритма Крона и его модификаций, а также алгоритм критического пути с четырьмя сортировками. Для оценки эффективности продемонстрированы результаты экспериментов при различных входных данных и сравнение данных алгоритмов. Описаны взаимодействия с бесконечностями каждого из алгоритмов. Разработаны программные средства для анализа эффективности данных алгоритмов.

**V.G. Kobak<sup>1</sup>, V.M. Porksheyan<sup>1</sup>, A.S. Valadov<sup>1</sup>, S.A. Shvidchenko<sup>2</sup>**

**IMPLEMENTATION OF MODIFICATIONS OF THE CROHN'S ALGORITHM AND  
THE "CRITICAL PATH" ALGORITHM FOR SOLVING MINIMAX PROBLEMS  
WITH INFINITIES**

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia<sup>1</sup>  
North Caucasus branch of Moscow Technical University  
of Communications and Informatics, Rostov-on-Don, Russia<sup>2</sup>

Keywords: Crohn's algorithm, critical path algorithm, approximate algorithms, minimax problem, minimax problems with infinities, distribution algorithms.

In this paper, we consider the solution of the distributive problem for homogeneous systems containing infinities using approximate algorithms. The description of the "one-step" Crohn's algorithm and its modifications, as well as the algorithm of the critical path with four sorts, is given. To evaluate the effectiveness, the results of experiments with different input data and a comparison of these algorithms are demonstrated. Interactions with the infinities of each of the algorithms are described. Software tools have been developed to analyze the effectiveness of these algorithms.

**Введение.**

В настоящее время широкое распространение и развитие получили вычислительные устройства с многопроцессорной архитектурой. Причём такие устройства могут входить в

---

состав более сложных в организации многомашинных комплексов, позволяющие решать сложные вычислительные задачи путём распределения вычислительного процесса между вычислительными ресурсами. Однако в процессе распараллеливания вычислительного процесса может возникнуть дисбаланс в загрузке доступных вычислительных ресурсов. Поэтому важной задачей является равномерное распределение загрузки всех вычислительных ресурсов. Разрабатываются и модифицируются различные приближенные алгоритмы с целью получить результат близкий к оптимальному. [1] Алгоритм Крона и алгоритм «Критического пути» представляют собой списочные алгоритмы для решения подобных задач. Однако однородная система, поступающая на вход, может быть усложнена. Например, строки системы могут содержать как элемент – бесконечность. Обработка данной ситуации требует некоторых модификаций в алгоритмах, а это в свою очередь повлечёт за собой изменение их характеристик.

### **Постановка задачи.**

В современных системах, параллелизм которых осуществляется за счёт множества одинаковых устройств  $P = \{p_1, \dots, p_n\}$ , на вход, как правило, поступает некоторое множество заданий  $T = \{t_1, \dots, t_m\}$ , каждое из которых может обрабатываться независимо на любом из устройств. При этом любое устройство из  $\{P\}$  в каждый момент времени обрабатывает только одно задание из множества  $\{T\}$  за известное время  $t_j$ , где  $j = 1, 2, \dots, m$ . В процессе обработки задание не может быть передано на другое устройство или возвращено обратно в очередь.

Задача сводится к распределению (разбиению) исходного множества заданий  $T$  по устройствам ( $n$  непересекающихся подмножеств). Именно минимаксный критерий выступает в качестве критерия, обеспечивающего оптимальность разбиения, т.е. выполнение за максимально быстрое время  $Q$  параллельной программы.

$$Q = \max\{Q_i\} \rightarrow \min,$$

где  $Q_i = \sum_{t_j \in T_i} t_j$  - загрузка  $i$ -го процессора (время окончания выполнения множества заданий  $T_i \subseteq T$ , назначенных на процессор  $p_i$ , где  $i = 1, 2, \dots, n$ ) [1-3].

Особенностью минимаксных задач с бесконечностями является то, что в качестве  $t_{j,i}$  может выступать бесконечность. Следовательно, минимаксный критерий должен каким-то образом их обходить, дабы выполнение (время) не ушло в непрерывный цикл. Количество бесконечностей в строке может составлять от 0 до  $N-1$ . Из этого следует, что в каждой строке  $T$  существует хотя бы одно значение, не равное бесконечности. На данном правиле строится дальнейшее конструирование модификаций алгоритмов.

Задачей научного исследования является оценка «одношагового» алгоритма Крона и его модификаций для решения минимаксных задач с бесконечностями, сравнение их с вариациями алгоритма «критического пути» с четырьмя различными сортировками.

### **Алгоритм «Критического пути» для минимаксных задач с бесконечностями.**

Для решения данного типа задач используется алгоритм МКП [2]. Принцип классического метода заключается в том, что очередное задание из списка заданий, упорядоченных по убыванию веса  $t_1 \geq t_2 \geq \dots \geq t_m$ , где  $t_j \in T$ , назначается на процессор с самой минимальной суммарной загрузкой. Сортировку по весу можно модифицировать, добавив взаимодействие с бесконечностями.

Первая модификация сортировки — это упорядочивание исключительно по убыванию количества бесконечностей в одной строке. Организуется это с помощью обхода  $N$ -ой строки, содержащей  $N$  элементов и подсчёт в ней числа значений равных бесконечности.

Вторая модификация сортировки предполагает одну из вариаций комбинации сортировки из классического метода «критического пути» и первой модификации. Она

---

будет представлять собой упорядочивание по количеству бесконечностей с учётом веса. То есть, строка *inf 16 inf* будет стоять выше, чем строка *18 inf 18*.

Третья модификация сортировки будет представлять также комбинацию упорядочивания по убыванию веса и по количеству бесконечностей, однако приоритет уже будет именно на вес задания. Пример: строка *inf 16 inf* будет стоять в таком случае ниже, чем строка *18 inf 18*.

Описание алгоритма «Критического пути»:

1. Используется одна из предложенных авторами сортировок: исключительно по весу задания, исключительно по количеству бесконечностей в строке, по кол-ву бесконечностей с учётом веса задания, по весу задания с учётом числа бесконечностей.
2. Начальная загрузка всех устройств равна нулю  $Q_i=0$ , где  $i = 1, 2, \dots, N$ . Выбирается первое устройство (процессор) и первое задание из множества заданий  $T$ .
3. Выбирается устройство, на котором будет обрабатываться текущее задание, (процессор)  $P_i$  с наименьшим  $Q_i$  среди всех процессоров (т.е. процессоров с минимальным временем загрузки на текущий момент).
4. Если значение нагрузки не бесконечно, то назначить  $T_{j,k}$  следующим заданием на процессор  $P_i$ , иначе увеличить  $k$ , где  $k = 1, 2, \dots, N$ . Пересчитать  $Q_i$ .
5. Если  $j$  не равен  $M$ , то увеличить  $j$  на один и перейти к шагу 3. Иначе алгоритм заканчивается. Результатом является составленное расписание, общая длина которого равняется  $\max(Q_i)$ ;

#### **Алгоритм Крона для минимаксных задач с бесконечностями.**

Данный алгоритм для однородных систем без бесконечностей подробно описан в работе [3] Основной принцип одношагового метода заключается в случайном распределении множества заданий  $T$  по множеству приборов (процессоров)  $P$ , вычисление времени загрузки  $Q_i$ , где  $i = 1, 2, \dots, N$ , для каждого прибора  $P_i$  и «переброс» задания между приборами  $Q_{\max}$  и  $Q_{\min}$ , при выполнении условия

$$|Q_k^{\max}| < \Delta,$$

где  $\Delta = Q_{\max} - Q_{\min}$ ,  $k = 1, 2, \dots, M$

После каждой операции «переброса» значения  $Q_i$  пересчитываются, выбираются новые два прибора  $Q_{\max}$  и  $Q_{\min}$ , и процесс проверки условия выше проверяется. Если условие ни разу не выполнится, то алгоритм завершается. В результате составляется расписание, общая длина которого  $Q_{\max}$ .

Данный подход позволяет нам работать с  $Q_i$  равным нулю, т.е. с прибором на котором нет заданий. Следовательно, если элемент случайности на шаге заполнения создаст ситуацию, при которой все задания были назначены на один процессор – алгоритм позволит распределить их между незаполненными приборами. Он не нуждается в сортировке, а значит, что взаимодействие с бесконечностями должно осуществляться лишь с целью непопадания их на процессор и организуется следующим образом:

При заполнении задания  $T_j$ , где  $j = 1, 2, \dots, M$ , производится обход соответствующей строки длиной в  $N$  и поиск и выбор в ней значения не равному бесконечности, исходя из условия в постановке задачи, что в строке обязательно существует хотя бы одно такое значение.

Первой предложенной модификацией будет добавление второго шага, после операции «переброса». Операция представляет собой вычисление времени загрузки  $Q_i$ , где  $i = 1, 2, \dots, N$ , для каждого прибора  $P_i$  и обмен заданиями между приборами  $Q_{\max}$  и  $Q_{\min}$ , при выполнении условий

$$Q_k^{max} - Q_j^{min} < \Delta \text{ и } Q_k^{max} > Q_j^{min}$$

где  $\Delta = Q_{max} - Q_{min}$ ,  $k, j = 1, 2, \dots, M$

Данный метод называется «двухшаговым» алгоритмом Крона.

Второй модификацией данного алгоритма является, во-первых, замена случайного заполнения приборов из «одношагового Крона» на сортировку с распределением. Изначально список заданий упорядочивается по убыванию веса. Далее приборы заполняются следующим образом:

Пусть даны условия  $N = 3, M = 5$ .  $T$  представляет собой упорядоченный по убыванию веса список.  $Q_1 = t_1, Q_2 = t_M, Q_3 = t_2, Q_4 = t_{M-1}$ , и так далее. То есть принцип, по которому индекс от концов промежутка  $[1, M]$  последовательно стремится к его центру.

Во-вторых, само распределение сразу происходит через операции «обмена». Это означает, что алгоритм не применяет операции «переброса», а сразу переходит на второй этап «двухшагового» алгоритма Крона. Данная модификация представляет собой алгоритм Крона с применением сортировки.

Третья модификация характеризуется сменой случайного распределения, как и во второй, однако заполнение выполняется без сортировок, а последовательно. То есть:

Пусть даны условия  $N = 3, M = 5$ .  $T$  представляет собой список заданий.  $Q_1 = t_1, Q_2 = t_2, Q_3 = t_3, Q_4 = t_4$ , и так далее.

За последовательным заполнением сразу следуют операции «обмена». В этом алгоритм схож со второй модификацией. Модификация представляет собой алгоритм Крона с последовательным заполнением.

### Вычислительный эксперимент 1.

Для проверки эффективности различных модификаций алгоритма Крона: «одношаговый», «двухшаговый», с применением сортировки и с последовательным заполнением был проведен вычислительный эксперимент с помощью программного средства написанного на языке программирования C#. В качестве аппаратного обеспечения использован ноутбук с процессором Intel(R) Core(TM) i5-9300H и оперативной памятью объемом 8 гигабайт. Исходными данными в эксперименте являются: 1000 случайно сгенерированных матриц размерностями

3x25, 3x75, 3x275, 4x25, 4x75, 4x275, 5x25, 5x75, 5x275, 9x25, 9x75, 9x275 с диапазоном значений 5-35.

Таблица 1. Усредненные значения результатов работы оцениваемых алгоритмов Крона

N*M	Статистика	Итерационные алгоритмы		
		1000 матриц		
		«Одношаговый» алгоритм Крона	«Двухшаговый» алгоритм Крона	Алгоритм Крона с последовательным заполнением
3x25	Среднее значение (Tmax)	164,791	162,325	162,328
	Среднее время (мс)	2,087	2,141	2,155
3x75	Среднее значение (Tmax)	489,276	487,55	487,55
	Среднее время (мс)	5,4928	5,754	5,2769
3x275	Среднее значение (Tmax)	1787,782	1786,253	1786,253
	Среднее время (мс)	10,823	11,0642	11,0188
4x25	Среднее значение (Tmax)	125,832	122,715	122,701
	Среднее время (мс)	4,4895	5,3638	4,5242

Продолжение Таблицы 1.

4x75	Среднее значение (Tmax)	367,466	365,398	365,398
	Среднее время (мс)	4,8776	4,6453	4,7321
4x275	Среднее значение (Tmax)	1341,886	1340,149	1340,149
	Среднее время (мс)	13,6427	13,36477	13,94422
5x25 5x25	Среднее значение (Tmax)	101,839	98,495	98,394
	Среднее время (мс)	5,2906	4,8744	5,0950
5x75	Среднее значение (Tmax)	294,84	292,52	292,52
	Среднее время (с)	7,2711	7,48	7,6211
5x275	Среднее значение (Tmax)	1074,203	1072,365	1072,365
	Среднее время (с)	15,3738	15,4445	16,56356
9x25	Среднее значение (Tmax)	60,839	57,743	57,446
	Среднее время(с)	4,4436	4,4153	3,88971
9x75	Среднее значение (Tmax)	166,627	162,996	162,989
	Среднее время (с)	6,2198	6,2198	6,4523
9x275	Среднее значение (Tmax)	599,331	597,146	597,146
	Среднее время (с)	15,238	14,7959	15,0720

Оценивая полученные результаты средних вычислений, выделены несколько выводов. «Одношаговый» алгоритм Крона вычисляет с более низкой точностью, чем остальные сравниваемые в рамках данного эксперимента методы. «Двухшаговый» и алгоритм Крона с последовательным заполнением показали в среднем равный стабильно близкий к оптимальному результат. Можно утверждать, что эти подходы взаимозаменяемы и равносильны. А также данные алгоритмы являются наиболее эффективными в данном типе задач.

Алгоритм Крона с применением сортировки показал себя лучшим при условии нечётного числа процессоров и низкого числа заданий. Объясняется это тем, что изначально идея сортировки и равномерного распределения эффективна в случае, лишь когда алгоритм при обменах оперирует небольшим числом заданий. Условие операции обмена, когда число в минимально заполненном процессоре должно быть меньше, чем его пара для обмена из максимального – может завершить алгоритм, не доведя до нужной точности, в случае, если при случайном распределении (например, как в «одношаговом») наибольшие числа попадут на процессор, который является минимальным и их, соответственно, нельзя будет оттуда перенести. Равномерное распределение, представленное в алгоритме Крона с применением сортировки, позволяет избежать этой проблемы, поэтому эффективность повышается. Чётное число процессоров, потребует другого метода распределения, так как при представленном возникает проблема – одни и те же процессоры получают задания из одних и тех же сторон промежутка (для чётных – левая, для нечётных – правая), соответственно происходит не равномерное распределение и вышеописанные проблемы. Стоит заметить, что при большом числе заданий, даже случайное распределение по закону больших чисел даёт относительно равномерный результат, поэтому и средние значения расчётов очень похожи.

### Вычислительный эксперимент 2.

Для проверки эффективности различных модификаций алгоритма «критического пути: исключительно по весу задания, исключительно по количеству бесконечностей в строке, по кол-ву бесконечностей с учётом веса задания, по весу задания с учётом числа бесконечностей был проведен вычислительный эксперимент с помощью программного средства написанного на языке программирования C#. В качестве аппаратного обеспечения использован ноутбук с процессором Intel(R) Core(TM) i5-9300H и оперативной памятью

объемом 8 гигабайт. Исходными данными в эксперименте являются: 1000 случайно сгенерированных матриц размерностями

3x25, 3x75, 3x275, 5x25, 5x75, 5x275, 9x25, 9x75, 9x275 с диапазоном значений 5-35.

Таблица 2. Усредненные значения результатов работы оцениваемых алгоритмов «Критического пути»

N*M	Статистика	Списочные алгоритмы			
		1000 матриц			
		По весу задания	По бесконечностям	По бесконечностям с учётом веса задания	По весу задания с учётом бесконечности
3x25	Среднее значение (Tmax)	165,156	170,625	168,591	165,156
	Среднее время(мс)	1,56096	1,178994	1,26747	1,323901
3x75	Среднее значение (Tmax)	488,135	496,217	490,821	488,135
	Среднее время(мс)	1,24459	1,09625	1,117116	1,1002
3x275	Среднее значение (Tmax)	1789,196	1796,114	1789,364	1789,196
	Среднее время(мс)	1,9057241	1,472671	2,639119	2,74854
3x733	Среднее значение (Tmax)	4767,574	4773,123	4766,275	4767,574
	Среднее время(с)	8,47749	5,337829	13,1644	12,77253
5x25	Среднее значение (Tmax)	99,064	108,471	107,355	99,064
	Среднее время(мс)	1,130371	0,868937	0,940847	0,871733
5x75	Среднее значение (Tmax)	292,977	303,485	303,229	292,977
	Среднее время(с)	1,24889	1,19874	1,136255	1,273530
5x275	Среднее значение (Tmax)	1074,043	1084,878	1079,161	1074,043
	Среднее время(с)	2,427551	2,2992347	3,936232	4,086595
5x733	Среднее значение (Tmax)	2861,319	2870,755	2862,209	2861,319
	Среднее время(с)	11,85034	11,178928	21,68158	21,69127
9x25	Среднее значение (Tmax)	57,739	67,746	66,838	57,739
	Среднее время(с)	1,103901	1,01134	1,0631122	1,059982
9x75	Среднее значение (Tmax)	165,573	176,415	175,857	165,573
	Среднее время(с)	1,1471	1,0474	1,3330	1,27845
9x275	Среднее значение (Tmax)	598,885	610,601	610,952	598,885
	Среднее время(с)	4,1678	4,7695538	7,65149	7,538860
9x733	Среднее значение (Tmax)	1590,741	1601,907	1600,15	1590,741
	Среднее время(с)	19,352643	23,861657	40,894558	41,2326398

Оценивая полученные результаты средних вычислений, можно утверждать, что наиболее эффективной всех модификаций является алгоритм «критического пути» с сортировкой по весу задания с учётом числа бесконечностей. Диапазон значений 20-25.

Таблица 3. Усредненные значения результатов работы оцениваемых алгоритмов «Критического пути» с сортировкой по весу задания с учётом числа бесконечностей

N*M	Статистика	Алгоритмы		
		200 матриц		
		«Двухшаговый» алгоритм Крона	По бесконечностям	По весу задания с учётом бесконечности
3x733	Среднее значение (Tmax)	5375,738	5383,009	5388,415
	Среднее время (мс)	55,832	6,50141	13,4812
4x733	Среднее значение (Tmax)	4031,649	4039,817	4045,894
	Среднее время (мс)	64,5122	11,4365	21,53170
5x733	Среднее значение (Tmax)	3225,468	3233,854	3233,049
	Среднее время (мс)	42,41463	11,78060	21,13491
7x733	Среднее значение (Tmax)	2304,391	2313,655	2309,808
	Среднее время (мс)	41,540230	16,6036	27,74387
9x733	Среднее значение (Tmax)	1792,177	1801,767	1802,727
	Среднее время (мс)	38,05694	22,33276	36,11836
11x733	Среднее значение (Tmax)	1466,458	1476,3	1473,363
	Среднее время (мс)	37,27524	27,114576	43,41862
3x1177	Среднее значение (Tmax)	8631,671	8638,692	8644,33
	Среднее время (мс)	73,46065	13,51304	30,62551
4x1177	Среднее значение (Tmax)	6473,718	6481,528	6487,976
	Среднее время (с)	60,089	19,54516	38,1956
5x1177	Среднее значение (Tmax)	5179,259	5187,868	5190,664
	Среднее время (с)	58,58008	26,9752	49,18862
7x1177	Среднее значение (Tmax)	3699,18	3708,501	3715,474
	Среднее время (с)	67,3517	41,542654	70,4717
9x1177	Среднее значение (Tmax)	2877,502	2887,104	2881,717
	Среднее время (с)	57,49029	55,06832	89,121278
11x1177	Среднее значение (Tmax)	2354,66	2364,524	2354,66
	Среднее время (с)	59,425934	68,062426	108,608960
13x1177	Среднее значение (Tmax)	1992,297	2002,364	2001,063
	Среднее время (с)	65,55301	85,3729	131,92145
32x1177	Среднее значение (Tmax)	809,624	820,233	813,78
	Среднее время (с)	93,16564	216,6192	314,695

### Закключение.

Представленные в данной работе модификации алгоритма Крона являются более эффективными, чем вариации алгоритма «критического пути». Оптимальные результаты показали «двухшаговый» алгоритм Крона и алгоритм Крона с последовательным заполнением. А среди среди модификаций СРМ лучшей оказалась с сортировкой по весу с учётом бесконечностей.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кофман Э.Г. Теория расписаний и вычислительные машины. М.: Наука, 1984. 337 с.
2. Кобак В.Г., Иванов М.С. Сравнительный анализ алгоритмов решения задачи планирования в однородных вычислительных системах// Математические методы в технике и технологиях - ММГТ-20: сб. тр. XX
3. Кобак В.Г., Титов Д.В., Золотых О.А. Исследование алгоритма Крона и его модификации при различных исходных данных // Вестн. ДГТУ. Вып. 8(69). Ростов-на-Дону, 2012.

---

**В.Г. Кобак<sup>1</sup>, В.В. Шевченко<sup>1</sup>, А.С. Валадов<sup>1</sup>, Д.А. Жуковский<sup>2</sup>**

## **РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА ПАШКЕЕВА ДЛЯ РЕШЕНИЯ МИНИМАКСНЫХ ЗАДАЧ С БЕСКОНЕЧНОСТЯМИ**

Донской государственной технической университет, Ростов-на-Дону, Россия<sup>1</sup>  
Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени ФГБОУ ВО  
«Московский технический университет связи и информатики», г. Ростов-на-Дону, Россия<sup>2</sup>

Ключевые слова: Алгоритм Пашкеева, приближенные алгоритмы, минимаксная задача, минимаксные задачи с бесконечностями.

В данной работе рассматривается решение распределительной задачи для однородных систем, содержащих бесконечности, с помощью приближённого алгоритма Пашкеева. Описаны его вариации с различными сортировками. Для оценки эффективности продемонстрированы результаты экспериментов при различных входных данных с целью выявления необходимости в упорядочивании задач. Описаны взаимодействия с бесконечностями. Разработано программное средство для анализа эффективности данного алгоритма.

**V.G. Kobak<sup>1</sup>, V.V. Shevchenko<sup>1</sup>, A.S. Valadov<sup>2</sup>, D.A. Zhukovsky<sup>2</sup>**

## **IMPLEMENTATION OF THE PASHKEEV ALGORITHM FOR SOLVING MINIMAX PROBLEMS WITH INFINITIES**

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia<sup>1</sup>  
North Caucasus branch of Moscow Technical University  
of Communications and Informatics, Rostov-on-Don, Russia<sup>2</sup>

Keywords: Pashkeev algorithm, approximate algorithms, minimax problem, minimax problems with infinities.

In this paper, we consider the solution of the distributive problem for homogeneous systems containing infinities using the approximate Pashkeev algorithm. Its variations with different sorts are described. To evaluate the effectiveness, the results of experiments with different input data are demonstrated in order to identify the need for task ordering. Interactions with infinities are described. A software tool has been developed to analyze the effectiveness of this algorithm.

### **Введение.**

В настоящее время широкое распространение и развитие получили вычислительные устройства с многопроцессорной архитектурой. Причём такие устройства могут входить в состав более сложных в организации многомашинных комплексов, позволяющие решать сложные вычислительные задачи путём распределения вычислительного процесса между вычислительными ресурсами. Однако в процессе распараллеливания вычислительного процесса может возникнуть дисбаланс в загрузке доступных вычислительных ресурсов. Поэтому важной задачей является равномерное распределение загрузки всех вычислительных ресурсов. Разрабатываются различные приближённые алгоритмы с целью достичь результат близкий к идеальному. Одним из них является списочный алгоритм Пашкеева. Однако однородная система, поступающая на вход, может быть усложнена. Например, строки системы могут содержать как элемент – бесконечность. Обработка данной ситуации требует некоторых модификаций в алгоритмах, а это в свою очередь повлечёт за собой изменение их характеристик.

### Постановка задачи.

В современных системах, параллелизм которых осуществляется за счёт множества одинаковых устройств  $P = \{p_1, \dots, p_n\}$ , на вход, как правило, поступает некоторое множество заданий  $T = \{t_1, \dots, t_m\}$ , каждое из которых может обрабатываться независимо на любом из устройств. При этом любое устройство из  $\{P\}$  в каждый момент времени обрабатывает только одно задание из множества  $\{T\}$  за известное время  $t_j$ , где  $j = 1, 2, \dots, m$ . В процессе обработки задание не может быть передано на другое устройство или возвращено обратно в очередь.

Задача сводится к распределению (разбиению) исходного множества заданий  $T$  по устройствам ( $n$  непересекающихся подмножеств). Именно минимаксный критерий выступает в качестве критерия, обеспечивающего оптимальность разбиения, т.е. выполнение за максимально быстрое время  $Q$  параллельной программы.

$$Q = \max\{Q_i\} \rightarrow \min,$$

где  $Q_i = \sum_{t_j \in T_i} t_j$  - загрузка  $i$ -го процессора (время окончания выполнения множества заданий  $T_i \subseteq T$ , назначенных на процессор  $p_i$ , где  $i = 1, 2, \dots, n$ ) [1-2].

Особенностью минимаксных задач с бесконечностями является то, что в качестве  $t_i$  может выступать бесконечность. Следовательно минимаксный критерий должен каким-то образом их обходить, дабы выполнение (время) не ушло в непрерывный цикл. Количество бесконечностей в строке может составлять от 0 до  $N-1$ . Из этого следует, что в каждой строке  $T$  существует хотя бы одно значение, не равное бесконечности. На данном правиле строится дальнейшее конструирование модификации алгоритма.

Задачей научного исследования является оценка алгоритма Пашкеева для решения минимаксных задач с бесконечностями и сравнение видов его сортировки [3, 4, 5].

### Алгоритм Пашкеева для минимаксных задач с бесконечностями.

Основной принцип данного алгоритма для однородных систем заключается в последовательном проходе по списку устройств слева-направо или справа-налево и назначении текущего задания (поряд, начиная с самого первого) на соответствующее устройство по порядку. В случае с бесконечностями требуется обеспечить непопадание последних на устройства, так как это вызовет сбой работы.

Существует модификация алгоритма Пашкеева, принцип которого аналогичен исходному, однако в ней предварительно выполняется упорядочивание списка заданий. Следовательно, при решении рассматриваемого типа задач имеет смысл воспользоваться данным подходом для взаимодействия с бесконечностями на этапе сортировки:

Создаётся счётчик и обнуляется. Выбирается  $j$ -ая строка, где  $j = 1, 2, \dots, m$ . Производится обход данной строки длиной в  $N$ . Проверяется условие, если элемент бесконечность – увеличить счётчик.

Пример: строка  $inf\ 5\ inf$  в результате разработанной сортировки будет стоять выше, чем строка  $5\ 5\ inf$ , так как при равном значении, т.е. 5, число бесконечностей в первой больше. Значение находится в приоритете, так как основная идея алгоритма Пашкеева строится именно в последовательном распределении значений.

Требуется рассмотреть два варианта данного алгоритма: с сортировкой исключительно по весу множества, а также с сортировкой по весу множества с учётом количества бесконечностей в строке, с целью оценки эффективности и необходимости дополнения в виде сортировки. Алгоритм с сортировкой по весу с учётом бесконечностей представляет собой следующее:

1. упорядочиваем в порядке убывания веса множества заданий  $t_1 \geq t_2 \geq \dots \geq t_m$ , где  $t_j \in T$  и убывания количества бесконечностей в строке;

2. начальная загрузка всех устройств равна нулю  $Q_i = 0$ . Выбирается первое устройство (процессор) и первое задание из множества заданий  $T$  распределяется на процессор, производя обход слева направо;
3. производится поиск значения веса задания, не равному бесконечности. Для это организуется обход значений  $j$ -ой строки в  $T$  и выполняется проверка условия: если вес – бесконечность, то смотрим следующий элемент в строке, если нет – вернуть данный элемент;
4. полученное задание назначается на соответствующий по порядку процессор, доходя до последнего включительно;
5. меняется на обратный,  $j$  остаётся тем же, после  $j = M$ . Организуется проход справа налево;
6. при изменении движения по  $i$  происходит проверка:  $Q_1 > Q_N$  в случае, если проход слева направо. Проверка:  $Q_1 < Q_N$  используется, если проход справа налево. Если соответственное условие не выполняется, то  $i$  не меняется;
7. если все задания назначены на выполнение, то есть  $j = M$  – алгоритм заканчивается. Результатом является составленное расписание, общая длина которого равняется  $\max(Q_i)$ ;

Для сортировки исключительно по весу требуется изменить первый шаг данного алгоритма - упорядочиваем в порядке убывания веса множества заданий  $t_1 \geq t_2 \geq \dots \geq t_m$ , где  $t_j \in T$ .

#### Вычислительный эксперимент.

Для проверки эффективности алгоритма Пашкеева с различными сортировками был проведен вычислительный эксперимент с помощью программного средства написанного на языке программирования C#. В качестве аппаратного обеспечения использован ноутбук с процессором Intel Core i5-7300HQ и оперативной памятью объемом 16 гигабайт. Исходными данными в эксперименте являются: 100 случайно сгенерированных матриц размерностями  $3 \times 25, 3 \times 75, 3 \times 275, 5 \times 25, 5 \times 75, 5 \times 275, 9 \times 25, 9 \times 75, 9 \times 275$  с диапазоном значений 15-25.

Таблица 1. Усредненные значения результатов работы оцениваемых алгоритмов

NxM	Статистика	Алгоритм Пашкеева с сортировкой только по значению	Алгоритм Пашкеева с сортировкой по значению с учётом кол-ва бесконечностей
3x25	Среднее значение (Tmax)	240	240
	Среднее время (мс)	2,23	2,51
3x75	Среднее значение (Tmax)	486	486
	Среднее время (мс)	1,39	1,87
3x275	Среднее значение (Tmax)	1807	1807
	Среднее время (мс)	1,89	2,94
5x25	Среднее значение (Tmax)	94	94
	Среднее время (мс)	1,93	1,95
5x75	Среднее значение (Tmax)	298	298
	Среднее время (с)	1,82	1,84

Продолжение Таблицы 1.

5x275	Среднее значение (Tmax)	1071	1071
	Среднее время (с)	2,18	4,43
9x25	Среднее значение (Tmax)	61	61
	Среднее время (с)	2,88	3,34
9x75	Среднее значение (Tmax)	166	166
	Среднее время (с)	1,93	2,01
9x275	Среднее значение (Tmax)	599	599
	Среднее время (с)	4,13	7,93

### Заключение.

Оценивая полученные результаты средних вычислений, было выведено, что использование сортировки с учётом количества бесконечностей для алгоритма Пашкеева в дополнение сортировки по значению – не даёт выигрыша в эффективности, так как средний результат повторяется, а времени затрачивается больше. Идея алгоритма заключается во взаимодействии с упорядоченными значениями веса задач, поэтому дополнительные расчёты, такие как сортировка с учётом бесконечностей, не могут повлиять на итоговое значение.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Коффман Э.Г.* Теория расписаний и вычислительные машины. М.: Наука, 1984. - 337 с.
2. *Кобак В.Г., Жуковский А.Г., Золотых О.А., Ростов А.Н.* "Различные подходы к решению однородной минимаксной задачи теории расписаний эвристическими алгоритмами" Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки, по. 1 (186), 2016, pp. 41-46.
3. *Кобак В.Г., Шевченко В.В., Жуковский А.Г., Швидченко С.А.* Использование различных подходов к формированию начального поколения в генетическом алгоритме при решении однородной минимаксной задачи. - Труды Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики. 2020. № 1. С. 229-230.
4. *Кобак В. Г., Поркшеян В. М., Шкабрый Р. С., Швидченко С. А.* Исследование алгоритма Плотникова-Зверева и его модификаций при решении неоднородной минимаксной задачи //Труды Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики. – 2020. – №. 1. – С. 215-218.
5. *Кобак В.Г., Кавтарадзе И.Ш., Бормотов В.В., Швидченко С.А.* Решение задачи коммивояжера модифицированной моделью голденберга с помощью различного вида мутаций. - Труды Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики. 2014. № 1. С. 257-260.

## РЕШЕНИЕ ОДНОРОДНОЙ МИНИМАКСНОЙ ЗАДАЧИ С БЕСКОНЕЧНОСТЯМИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ АЛГОРИТМОМ БЕЗ ВОЗВРАТОВ

Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Россия<sup>1</sup>  
Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени ФГБОУ ВО  
«Московский технический университет связи и информатики», г. Ростов-на-Дону, Россия<sup>2</sup>

Ключевые слова: распределительная задача, однородная система с бесконечностями, эвристический алгоритм без возвратов, вычислительные эксперименты, множество заданий, списочные алгоритмы, начальная популяция.

В данной работе рассматривается решение распределительной задачи для однородных систем с бесконечностями. Для нахождения решения используется алгоритм критического пути и его модификация, алгоритм Пашкеева и экспериментальный эвристический алгоритм без возвратов. Данная задача является NP-полной и решается точными алгоритмами до определенных размеров. Поэтому получили большое распространение списочные и другие эвристические алгоритмы. Предлагается для решения однородной минимаксной задачи алгоритм без возвратов, основанный на идее алгоритма Романовского, но в отличие от него не является точным. Аналитически доказать, насколько экспериментальный алгоритм лучше или хуже списочных алгоритмов не получается в силу сложности задачи. Для определения лучших алгоритмов используется статистический метод.

V.G. Kobak<sup>1</sup>, S.A. Shvidchenko<sup>2</sup>, A.G. Zhukovsky<sup>2</sup>, D.A. Zhukovsky<sup>2</sup>

## SOLVING A HOMOGENEOUS MINIMAX PROBLEM WITH INFINITIES BY AN EXPERIMENTAL ALGORITHM WITHOUT RETURNS

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia<sup>1</sup>  
North Caucasus branch of Moscow Technical University  
of Communications and Informatics, Rostov-on-Don, Russia<sup>2</sup>

Keywords: distribution problem, homogeneous system with infinities, heuristic algorithm without backtracking, computational experiments, task set, list algorithms, initial population.

This paper, we consider the solution of the distribution problem for homogeneous systems with infinities. To find the solution, the critical path algorithm and its modification, the Pashkeev algorithm and the experimental heuristic algorithm without backtracking are used. This task is NP-complete and is solved by exact algorithms up to certain sizes. Therefore, list and other heuristic algorithms have become widespread. For solving a homogeneous minimax problem, an algorithm without backtracking is proposed, based on the idea of Romanovsky's algorithm, but unlike it, it is not exact. Prove analytically how much the experimental algorithm is better or worse than the list algorithms is not obtained due to the complexity of the problem. A statistical method is used to determine the best algorithms.

### Введение.

В настоящее время широкое распространение и развитие получили вычислительные устройства с многопроцессорной архитектурой. Причём такие устройства могут входить в состав более сложных в организации многомашинных комплексов, позволяющие решать сложные вычислительные задачи путём распределения вычислительного процесса между вычислительными ресурсами. Однако в процессе распараллеливания вычислительного процесса может возникнуть дисбаланс в загрузке доступных вычислительных ресурсов.

---

Поэтому важной задачей является равномерное распределение загрузки всех вычислительных ресурсов. Решение этой задачи даёт использование эвристических алгоритмов составления расписаний. Построение оптимального расписания распределения заданий по процессорам относится к задачам  $NP$ -полным, т.е. трудоемкость решения распределительной задачи определяется пропорционально формуле как  $O(n^m)$ , где  $O$  – временная асимптотическая сложность алгоритма, а  $n$  и  $m$  – целые числа больше единицы, обозначающие количество устройств и заданий соответственно, которые задают размерность распределительной задачи  $nm$ . В рамках теории расписаний исследуются методы, позволяющие упорядочить последовательность выполнения совокупности работ таким образом, чтобы время выполнения задачи в целом было минимальным.

### **Постановка задачи.**

Задача теории расписаний для однородных систем обработки информации может быть сформулирована следующим образом. Имеется система обслуживания, состоящая из  $N$  независимых устройств  $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ . На обслуживание поступает набор из  $M$  параллельных и независимых заданий  $T = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}$ .  $\tau(t_i, p_j)$  – длительность обслуживания задания  $t_i$  устройством  $p_j$ , определяется матрицей  $T_\tau$ . Следует учесть, что некоторое  $\tau(t_i, p_j) = \infty$ . При этом каждое задание должно выполняться хотя бы на одном из процессоров. В каждый момент времени отдельный процессор обслуживает не более одного задания и выполнение задания не прерывается для передачи на другой процессор. Необходимо определить такое распределение заданий по устройствам без прерываний, чтобы время выполнения всей совокупности заданий было минимальным. Задача составления расписания сводится к разбиению исходного множества заданий на  $n$  непересекающихся подмножеств, т.е.  $T_i: \forall i, j \in [1, n] \rightarrow T_i \cap T_j = 0$  и  $\bigcup_{i=1}^n T_i = T$ . Критерий минимизации времени завершения обслуживания заданий, является минимаксным критерием и определяется в следующем виде:  $f = \max_{1 \leq j \leq n} f_j \rightarrow \min$ , где  $f_j = \sum_{\tau(t_i, p_j) \in T} \tau(t_i, p_j)$  – время завершения работы процессора  $p_j$  [1, 2, 3].

### **Методы решения распределительной задачи.**

Существует два класса методов решения распределительных задач: точный и приближенный. К точным методам можно отнести алгоритмы Романовского и Алексева, а также алгоритм полного перебора. Второй класс содержит в себе различные списочные, эвристические, и др. К списочным методам можно отнести алгоритм критического пути, алгоритм Пашкеева, и др. Эвристические методы – генетические алгоритмы, метод отжига, метод роящихся частиц и др. Для получения оптимального решения однородной распределительной задачи используются точные методы решения. С увеличением размерности, в силу ее  $NP$ -полноты, а также при сужении диапазона ресурсных оценок распределяемых заданий оптимальное решение за доступное время может стать недостижимым. В этой ситуации приходится ориентироваться на быстрые, но приближенные методы, позволяющие получить решение близкое к оптимальному, такие, как генетические алгоритмы [4, 5].

### **Списочные методы.**

В качестве метода нахождения приближенного решения можно использовать списочные методы, некоторые из них описаны ниже.

Первым списочным алгоритмом является алгоритм критического пути, который можно сформулировать следующим образом:

1. Задания матрицы загрузки упорядочиваются в порядке убывания значений элементов. В данном случае задания изначально сортируются в порядке убывания количества бесконечностей, после чего упорядочиваются по значениям элементов.

2. Текущее задание распределяется на прибор с наименьшей загрузкой. Если задание не может быть выполнено на процессоре за конкретное время, то распределение происходит на следующий процессор в порядке убывания нагрузки. Если таких приборов несколько, то задание распределяется на прибор, стоящий слева.
3. Алгоритм заканчивает работу, когда все задания распределены по обработчикам.

Вторым списочным алгоритмом является алгоритм Пашкеева. Принцип его действия описывается так:

1. Задания матрицы загрузки упорядочиваются в порядке убывания значений элементов.
2. Оценивается
3. загрузка на крайних обработчиках (первом и последнем).
4. Задания распределяются последовательно по  $N$  приборам начиная с крайнего с наименьшим значением нагрузки. Если задание не может быть выполнено на процессоре за конкретное время, то распределение происходит на следующий процессор в порядке распределения.
5. Алгоритм заканчивает работу, когда все задания распределены по обработчикам.

Экспериментальный списочный алгоритм основан на идее алгоритма Романовского, формулируется следующим образом:

1. Задания матрицы загрузки упорядочиваются в порядке убывания значений элементов.
2. Производим вычисление нижней границы поиска оптимального решения  $Ua = \frac{\sum_{i=0}^m m_i}{n}$ .
3. Верхняя же граница поиска  $Ub$  изначально равняется нижней.
4. Находим размер “Свободного места” по формуле  $FR = (Ub * n) / \sum_{i=0}^m m_i$ .
5. Последовательно назначаем задания обработчикам проверяя следующие условия: Нагрузка на устройство с назначенным заданием не должна быть больше верхней границы нагрузки. Или должно выполняться хотя бы одно из этих двух условий:
  - 5.1 Значение обработчика с назначенными текущим и минимальным по значению заданием не должно превышать верхнюю границу нагрузки.
  - 5.2 Разница между верней границей нагрузки и значением нагрузки процессора с помещенным заданием не должно превышать текущее значение “Свободного места”.
  - 5.3 Значение должно выполняться на процессоре за конкретное время.
6. Если условие выполняется, то помещаем задание на обработчика, удаляя его из множества заданий.
7. После прохода всего множества заданий проверяем суммарную нагрузку на процессор. Если нагрузка на процессор превышает верхнюю границу, то уменьшаем “Свободное место” на разницу между верней границей и нагрузкой процессора.
8. После прохода всех обработчиков проверяем, если осталось свободное место, то увеличиваем верхнюю границу на 1 и повторяем алгоритм, иначе выходим из алгоритма [6, 7].

### **Вычислительный эксперимент.**

Для проверки эффективности экспериментального списочного алгоритма в сравнении с алгоритмами критического пути и Пашкеева был проведен вычислительный эксперимент с помощью программного средства написанного на языке программирования

С#. В качестве аппаратного обеспечения использован компьютер с процессором Intel Core i7-12700F и оперативной памятью объемом 32 гигабайта. Исходными данными в эксперименте являются: 100 случайно сгенерированных матриц размерностями 3...5 × 31,131,731, с диапазоном значений 15-25. Результаты вычисления средних значений при заданных выше условиях приведены в таблице 1, где 1 – 1 - Алгоритм критического пути(по убыванию), 2 - Алгоритм критического пути(по возрастанию), 3 - Алгоритм Пашкеева, 4 - Экспериментальный алгоритм.

Таблица 1. Усредненные значения результатов работы списочных алгоритмов

N*M	Статистика	Модификации алгоритма			
		Количество матриц 1000			
		1	2	3	4
3*31	Среднее значение	13,556	222,463	222,425	208,585
	Среднее время (МС)	0,00061	0,0001	0,00009	0,00012
3*131	Среднее значение	878,556	898,656	906,549	875,228
	Среднее время (МС)	0,00086	0,00048	0,00013	0,00018
3*731	Среднее значение	4879,274	4927,296	4956,923	4876,004
	Среднее время (МС)	0,01397	0,01447	0,00299	0,00137
4*31	Среднее значение	159,947	167,411	171,329	157,462
	Среднее время (МС)	0,0005	0,00026	0,0002	0,00014
4*131	Среднее значение	659,872	670,852	689,346	656,699
	Среднее время (МС)	0,00141	0,00082	0,00106	0,00039
4*731	Среднее значение	3660,205	3681,664	3740,008	3656,837
	Среднее время (МС)	0,01519	0,01615	0,00225	0,00264
5*31	Среднее значение	132,338	137,096	141,819	126,032
	Среднее время (МС)	0,00038	0,0001	0,00007	0,00009
5*131	Среднее значение	531,35	538,007	559,007	526,345
	Среднее время (МС)	0,00114	0,00073	0,00023	0,00027
5*731	Среднее значение	2931,014	2942,751	3009,862	2926,597
	Среднее время (МС)	0,02326	0,02052	0,00175	0,00191

### Заключение.

Оценивая полученные результаты, можно сделать вывод об эффективности использования экспериментального алгоритма при решении однородной минимаксной задачи с бесконечностями. Основанный на точном алгоритме Романовского он стабильно дает результат, превышающий по точности остальные рассматриваемые эвристические методы. На различных количествах заданий и обработчиков, результат стабильно хороший.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кофман, Э. Г. Теория расписаний и вычислительные машины/Э. Г. Кофман. -Москва: Наука, 1987. -334 с.
2. Кобак, В. Г. Сравнительный анализ алгоритмов решения задачи планирования в однородных вычислительных системах/В. Г. Кобак, М. С. Иванов//Математические методы в технике и технологиях -ММТТ-20: сб. тр. XX Междунар. науч. конф. - Ярославль, 2007. -Т. 2, секц. 2. -С. 56-57.

- 
3. *Кобак, В. Г.* Повышение эффективности алгоритма Крона за счёт модификации начального распределения заданий/*В. Г. Кобак, О. А. Золотых, Д. В. Титов*//Современные проблемы информатизации в моделировании и социальных технологиях: сб. тр. XVI Междунар. открытой науч. конф. -Воронеж: Научная книга, 2011. -С. 246-251.
  4. *Шевченко, В. В.* Решение однородной минимаксной задачи экспериментальным алгоритмом без возвратов/*В. В. Шевченко, В. Г. Кобак*// Известия высших учебных заведений. Северо-кавказский регион. Технические науки 2022. -С. 5-10/
  5. *Кобак В.Г., Шевченко В.В., Жуковский А.Г., Швидченко С.А.* Использование различных подходов к формированию начального поколения в генетическом алгоритме при решении однородной минимаксной задачи. - Труды Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики. 2020. № 1. С. 229-230.
  6. *Кобак В. Г., Поркшеян В. М., Шкабрий Р. С., Швидченко С. А.* Исследование алгоритма Плотникова-Зверева и его модификаций при решении неоднородной минимаксной задачи //Труды Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики. – 2020. – №. 1. – С. 215-218.
  7. *Кобак В.Г., Кавтарадзе И.Ш., Бормотов В.В., Швидченко С.А.* Решение задачи коммивояжера модифицированной моделью голденберга с помощью различного вида мутаций. - Труды Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики. 2014. № 1. С. 257-260.

---

**ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СФЕРЕ ОБРАЗОВАНИЯ,  
ЭКОНОМИКИ И МЕНЕДЖМЕНТА**

**INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGY IN EDUCATION,  
ECONOMICS AND MANAGEMENT**

**С.А. Докучаев, Г.С. Костецкая, Б.Б. Конкин, Н.О. Светличная**

**ЦИФРОВОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ СТРИМИНГОВЫЙ ПОРТАЛ КАК  
ЭФФЕКТИВНОЕ СРЕДСТВО ФОРМИРОВАНИЯ ЦИФРОВОЙ КОМПЕТЕНЦИИ  
У ОБУЧАЮЩИХСЯ**

Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени ФГБОУ ВО  
«Московский технический университет связи и информатики», г. Ростов-на-Дону, Россия

Ключевые слова: цифровые технологии, цифровая компетенция, цифровая экономика, стрим-обучение, стриминговый портал.

Подчеркнута важная роль цифровых компетенций в формировании квалифицированных кадров для цифровой экономики. Особое внимание уделено технологиям стрим-обучения для эффективной организации учебного процесса в современном техническом вузе. Выдвинута концепция создания цифрового образовательного стримингового портала как современной адаптации цифровой образовательной среды к технологиям стрим-обучения.

**S.A. Dokuchaev, G.S. Kostetskaya, B.B. Konkin, N.O. Svetlichnaya**

**DIGITAL EDUCATIONAL STREAMING PORTAL AS AN EFFECTIVE WAY TO  
FORM DIGITAL COMPETENCIES IN STUDENTS**

North Caucasus branch of Moscow Technical University  
of Communications and Informatics, Rostov-on-Don, Russia

Keywords: digital technologies, digital competence, digital economy, stream-learning, streaming portal.

The important role of digital competencies in the formation of qualified personnel for the digital economy is emphasized. Special attention is paid to the technologies of stream-learning for the effective organization of the educational process in a modern technical university. The concept of creating a digital educational streaming portal as a modern adaptation of the digital educational environment to the technologies of stream-learning is put forward.

В 2019 г. для ускоренного внедрения цифровых технологий в экономике и социальной сфере Правительством Российской Федерации была сформирована национальная программа «Цифровая экономика Российской Федерации». Целью программы является ускоренное внедрение цифровых технологий в экономику и социальную сферу, создание условий для высокотехнологичного бизнеса, повышение конкурентоспособности страны на глобальном рынке, укрепление национальной безопасности и повышение качества жизни людей [1].

В состав данной программы входит проект «Развитие кадрового потенциала ИТ-отрасли». В рамках реализации данного проекта становится очевидной роль ВУЗа в

---

формировании квалифицированных кадров для цифровой экономики, обладающих не только профессиональными, но и цифровыми компетенциями (ЦК).

В общем понимании цифровые компетенции — это способность успешно решать разнообразные задачи в области использования информационно-коммуникационных технологий. Применительно к академической и профессиональной активности ЦК – это комплекс компетенций по работе в цифровой среде и с цифровыми продуктами, включая активность по созданию и сбору данных, их обработке и анализу, а также по автоматизации процессов с помощью компьютерных технологий.

Выделяют три главные сквозные цифровые компетенции, которые на разных уровнях осваиваются всеми студентами-бакалаврами независимо от направления подготовки: цифровая грамотность, алгоритмическое мышление и программирование, анализ данных и методы искусственного интеллекта. Каждая ЦК предполагает пять уровней освоения: начальный, базовый, продвинутый, профессиональный и экспертный, которые распределяются по дисциплинам всех курсов образовательной программы. Минимально необходимый уровень ЦК достигается за счёт обязательных дисциплин.

Особую актуальность завоевывает технология стрим-обучения, которая внедряется в образовательный процесс и доказывает свою эффективность не только при дистанционном обучении, но и на традиционных аудиторных занятиях. Стриминг делает образование более доступным и интерактивным, а также позволяют обучающимся почувствовать себя вовлеченными в процесс. Учащиеся могут взаимодействовать друг с другом, вместе решать задачи и мгновенно получать ответы на интересующие их вопросы. Также новые образовательные платформы дают возможность получать знания из любой точки земного шара.

В этой связи нам представляется крайне важной задача интеграции технологии стрим-обучения в цифровую образовательную среду технического вуза. По аналогии с существующими стриминговыми сервисами развлекательного контента (Kion, Premier, Start, Яндекс.Музыка и др.) мы предлагаем назвать данный сервис цифровым образовательным стриминговым порталом.

Перед разработчиком такого портала возникают четыре основные проблемы:

- обеспечить непрерывное, в том числе и удаленное, взаимодействие между всеми участниками образовательного процесса;
- создать условия для плодотворной самостоятельной работы обучающихся, стимулировать их к саморазвитию и самообучению;
- разработать цифровые образовательные курсы по различным дисциплинам;
- разработать средства цифрового контроля знаний обучающихся.

Все вышеназванные проблемы могут быть эффективно решены на базе систем управления обучением (Learning Management System, LMS), наиболее распространенными из которых являются LMS Moodle и LMS MasterStudy. Данные LMS не только обеспечивают педагогические условия для эффективного дистанционного обучения студентов и их оперативного взаимодействия с преподавателем посредством чата, анкетирования, тестирования, форумов, опросов, рабочих тетрадей, семинаров [2], но также являются мощным инструментом для построения цифровых образовательных курсов по различным дисциплинам и тестового контроля знаний обучающихся.

Таким образом, создание цифрового образовательного стримингового сервиса является перспективным в эпоху доминирования визуальной информации. Современные студенты не могут себе представить жизнь без интерактивных видеоигр, потоковых видео на компьютерах, планшетах, мобильных телефонах. Система образования должна соответствовать современному состоянию развития технологий и ожиданиям молодого поколения. Мы не сомневаемся, что стрим-технологии и образовательные стриминговые сервисы получат широко распространение в ближайшем будущем и значительно повлияют на сферу образования.

---

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. «Цифровая экономика РФ» Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации <https://digital.gov.ru/ru/activity/directions/858/>
2. Докучаев С.А., Костецкая Г.С., Ефимов С.В. О цифровых образовательных технологиях в образовательной экосистеме технического вуза. Труды СКФ МТУСИ. Международная научно-практическая конференция СКФ МТУСИ, Ростов-на-Дону. 2021, с.363-365.
3. Арбузов С. С. Использование стрим-технологий при дистанционном обучении IT-дисциплинам // Педагогическое образование в России. — 2017. — № 6. — С. 6—12.
4. Арбузов С. С. Концептуальные подходы к применению технологии стрим-обучения в вузе // Информатизация образования: теория и практика : сб. материалов Междунар. науч.-практ. конф. — Омск, 2017. — С. 85—88.

**Я.Б. Константинова, О.А. Бадёрная, Ю.Д. Кокоулина**

### **ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКОВ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОТЖИГА**

Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени ФГБОУ ВО «Московский технический университет связи и информатики», г. Ростов-на-Дону, Россия

Ключевые слова: сегнетоэлектрики, область морфотропного перехода, дифрактограммы, структурные параметры.

В статье обсуждаются результаты исследования влияния отжига при высоких температурах на свойства сегнетоэлектрических твёрдых растворов. Используемые методики могут служить основой оценки потерь оксида свинца в процессе производства сегнетокерамики.

**Ya.B. Konstantinova, O.A. Badernaya, YU.D. Kokoulina**

### **CHANGING THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF FERROELECTRICS AS A RESULT OF ANNEALING**

North Caucasus branch of Moscow Technical University  
of Communications and Informatics, Rostov-on-Don, Russia

Keywords: ferroelectrics, morphotropic transition region, diffractograms, structural parameters.

The article discusses the results of the study of the effect of annealing at high temperatures on the properties of ferroelectric solid solutions. The methods used can serve as a basis for estimating lead oxide losses in the piezoceramic production process.

В настоящее время сегнетоэлектрические материалы находят широкое применение в различных областях техники. Из них изготавливаются малогабаритные низкочастотные конденсаторы с большой удельной емкостью, материалы с большой нелинейностью поляризации для диэлектрических усилителей, модуляторы и другие управляемые устройства, в вычислительной технике - ячейки памяти, они являются основой пьезо - и пирозлектрических преобразователей. Твердые растворы на основе системы цирконата-

титаната свинца (ЦТС) занимают особое место среди сегнетоэлектрических материалов. Достаточно большой температурный интервал проявления сегнетоэлектрических свойств (до температур 350-400°C), с одной стороны, и повышенные значения электрофизических параметров, имеющие место в области морфотропного перехода (ОМП) - с другой, создают предпосылки для широкого промышленного использования этих материалов. Возможность управления свойствами твердых растворов данного типа при помощи введения дополнительных компонентов также обуславливает повышенный интерес к ним. На фазовой диаграмме системы ЦТС ( $\text{PbZr}_{(1-x)}\text{Ti}_x\text{O}_3$ ) выделяются области существования в составах антисегнетоэлектрического состояния ( $x < 0.07$ ), а также области сегнетоэлектрических фаз структуры перовскита различной симметрии. Фазовые диаграммы сегнетокерамики и монокристаллов несколько отличаются. Особенностью фазовой диаграммы сегнетокерамики является концентрационный интервал сосуществования двух сегнетоэлектрических фаз с различной симметрией. Концентрационный переход от ромбоэдрической (R) к тетрагональной (T) фазе при увеличении  $x$  носит нечеткий характер, в районе  $x = 0.47$  имеется область сосуществования R и T-фаз (ОМП).

Экстремальный характер электрофизических параметров в ОМП послужил причиной интенсивных исследований систем твердых растворов на основе ЦТС с начала шестидесятых годов, которые не прекращаются и в наши дни. На раннем этапе исследований основное внимание уделялось изучению технически полезных электрофизических параметров и возможности их улучшения; в дальнейшем наибольший интерес привлекали причины повышения электрофизических параметров внутри ОМП и разработка новых высокоэффективных сегнетопьезоматериалов. Сосуществование R-T-фаз в ОМП, обуславливающее высокие значения пьезоэлектрических параметров, диэлектрической проницаемости, реориентационной поляризации, пьезоэлектрических коэффициентов и т.д. представляется разными авторами противоречиво. Причина нелинейной зависимости основных электрофизических параметров от концентрации компонентов в ОМП системы ЦТС заключена в первую очередь в особенностях изменения кристаллической структуры.

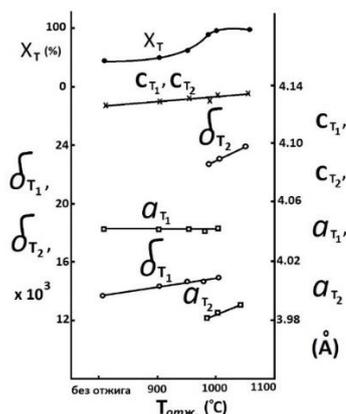


Рисунок 1. Изменение структурных параметров в результате отжига

По этой причине при нарушении заданного состава в материалах на основе ЦТС из ОМП следует ожидать значительных изменений кристаллической структуры сегнетоэлектрических фаз, сосуществующих в области концентрационного фазового перехода. Здесь приведены результаты наших исследований изменения кристаллической структуры и физических свойств сегнетокерамик на основе ЦТС с различной степенью размытия фазовых переходов (ФП) в результате температурных отжига, которые могут приводить к нарушению состава твердого раствора. После каждого отжига определялся вес образцов, изучалась зависимость диэлектрической проницаемости от температуры. Для

изучения глубины проникновения эффектов отжига от поверхности образца проводилось исследование структурных характеристик поверхностных слоев керамики и слоев, находящихся на некотором расстоянии от поверхности. От образцов, отожженных при температурах 900-1100°C, снимались дифрактограммы. Далее образцы шлифовались для удаления поверхностного слоя толщиной 50 мкм. В результате проведенных исследований можно заключить, что отжиг при низких температурах (до 750°C) почти не влиял на структуру и свойства материала. Более высокие температуры отжига приводили к уменьшению массы образцов и максимальной величины диэлектрической проницаемости при ФП. Увеличивалось размытие ФП и температура максимума диэлектрической проницаемости.

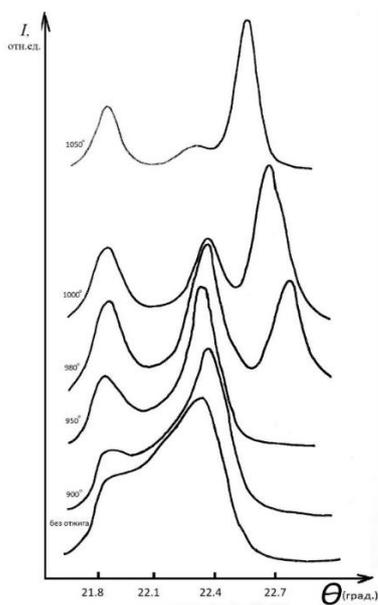


Рисунок 2. Дифракционные отражения 200 материала из ОМП после отжигов при разных температурах

По дифрактограммам, начиная с определенных температур отжига ( $T_{отж}$ ), на поверхности образцов регистрировался  $ZrO_2$ . Отмечались и изменения перовскитовых фаз. Соотношение сегнетоэлектрических T- и R- фаз при комнатной температуре менялось (рис. 1). С увеличением  $T_{отж}$  на поверхности всех образцов наблюдалось увеличение содержания T-фазы. Также с увеличением  $T_{отж}$  изменялись параметры ячейки R- и T- фаз, что сопровождалось увеличением спонтанной деформации.

На рис. 2 показаны изменения профилей дифракционных отражений 200 сегнетокерамики ЦТС-83Г после различных  $T_{отж}$ . По ним видно, что сначала, при низких температурах отжига постепенно исчезает R- фаза, а при более высоких температурах появляется дополнительная  $T_2$ -фаза.  $T_1$  фаза исчезает примерно при 1050°C. Изменения структурных параметров распространяются от поверхности образца при достижении температуры 1000°C. С увеличением расстояния от поверхности содержание дополнительной  $T_2$ -фазы уменьшается, а основной  $T_1$  растет.  $ZrO_2$  обнаружен лишь на поверхности образцов. Уменьшение массы и изменение структурных параметров образцов говорит об испарении PbO в процессе отжигов.

Регистрация на дифрактограммах  $ZrO_2$  и отсутствие дифракционных максимумов  $TiO_2$  позволяет сделать вывод, что  $PbZrO_3$  менее устойчив к разложению, чем  $PbTiO_3$ . Распад  $PbZrO_3$  повышает концентрацию  $PbTiO_3$  в образце. Состав твёрдого раствора на поверхности сдвигается к T-границе ОМП. Подобное изменение состава должно сопровождаться уменьшением объемов элементарных ячеек, повышением точки Кюри и спонтанной деформации, что и наблюдалось в эксперименте.

---

При регистрируемых в ЦТС-83Г потерях массы образцов на 4% за счет испарения оксида свинца, средняя концентрация твердого раствора по Ti изменится от 0.47 до 0.5. Такие данные хорошо согласуются с данными, полученными по значениям параметров решетки из литературы /1/.

Таким образом можно заключить, что в процессе высокотемпературных отжигов в твердых растворах имеет место изменение концентраций основных компонентов. Зависимости концентраций сегнетоэлектрических фаз от количества потерь PbO могут являться основой для экспресс-оценки возможных потерь PbO в процессе синтеза и спекания свинецсодержащих сегнетокерамик.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Фесенко Е.Г., Данцигер А.Я., Разумовская О.Н.* Новые пьезокерамические материалы. – Ростов н/Д: Изд-во РГУ, 1983. – 160 с.

**И.А. Сосновский, А.М. Коршун, Е.А. Гендриксон**

### **ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ДЕКАНАТ. МОДУЛЬ – КОНТИНГЕНТ**

Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени ФГБОУ ВО «Московский технический университет связи и информатики», г. Ростов-на-Дону, Россия

Ключевые слова: деканат, программный продукт «Факультет ИК – Модуль “Контингент”», оптимизация, автоматизация, база данных, направление подготовки, форма обучения, контингент, статистика.

В работе рассмотрена информационная система «Факультет ИК – Модуль “Контингент”» для оптимизации работы сотрудников филиала. Проанализированы различные инструменты и функции программы. Выделены её основные достоинства, которые включают получение актуальной информации в любой момент времени, формирование программой готовых отчетов, а также возможность работы с количественными и качественными данными. Обоснована необходимость внедрения информационной системы в качестве программы для работы сотрудников деканата.

**I.A. Sosnovskiy, A.M. Korshun, E.A. Gendrikson**

### **DEAN'S OFFICE INFORMATION SYSTEM. MODULE – CONTINGENT**

North Caucasus branch of Moscow Technical University  
of Communications and Informatics, Rostov-on-Don, Russia

Keywords: dean's office, program product «Faculty of IC - Module “Contingent”», optimization, automation, database, training direction, form of education, contingent, statistics.

This article presents «Faculty of IC - Module “Contingent”» information system for optimizing the work of employees of the university branch. The main tools and functions of the program are analyzed. Its main advantages which include obtaining up-to-date information at any time, generating ready-made reports by the program, as well as the ability to work with quantitative

and qualitative data. The need to introduce an information system as a program for the work of dean's office employees is justified.

В двадцать первом веке остро стоит проблема использования информационных технологий и баз данных в системе образования. Данная тема затрагивает деятельность всех подразделений учебного заведения. Сегодня человечество стремится к оптимизации и автоматизации практически всех процессов. В России, как и во всем мире, начиная с 2020 года в образовательный процесс активно внедряются компьютерные технологии и методы дистанционного обучения. Однако данные изменения затрагивают исключительно учебные занятия. В реальности же другие подразделения образовательного учреждения нуждаются во внедрении информационных технологий и создании единой базы данных.

Рассмотрим проблему на примере работы одного из отделов Северо-Кавказского филиала «Московский технический университет связи и информатики» (далее – СКФ МТУСИ).

Деканат — возглавляемый деканом организационный центр по управлению работой факультета. Данное подразделение выполняет функции координации и административного обеспечения учебного процесса, ведения делопроизводства.

Ежедневно работники университета сталкиваются с отчетами различной сложности. В процессе выполнения той или иной задачи сотрудник деканата встречается с рядом проблем. Человеческий фактор является причиной ошибок и отсутствия эффективности труда работников. Помимо этого, текущая работа сотрудника деканата на период выполнения отчета приостанавливается, что негативно сказывается на распределении ежедневной нагрузки.

Информационная система, реализуемая для решения различных проблем организации, должна быть полностью адаптирована под принципы и методы её работы.

Ежегодно СКФ МТУСИ предоставляет информацию по форме федерального статического наблюдения № ВПО-1 «Сведения об организации, осуществляющей образовательную деятельность по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры», утвержденной приказом Росстата. Отчет включает в себя данные по контингенту студентов различных категорий. Форма состоит из нескольких таблиц, каждую из которых необходимо обработать, просчитать и сверить.

Программный продукт «Факультет ИК – Модуль “Контингент”» создан специально для Северо-Кавказского филиала «Московского технического университета связи и информатики». Данная система позволяет в значительной мере облегчить работу сотрудников деканата. Рассмотрим принцип функционирования программы подробнее.

Вход в систему осуществляется с помощью пароля (рисунок 1).

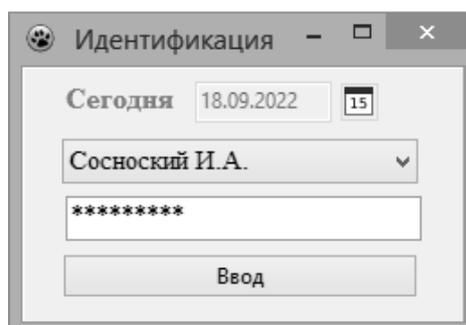


Рисунок 1. Авторизация пользователя в системе

Контингент													
Контингент на 18.09.2022 г.													
Определить контингент		Сохранить											
С полным возмещением затрат						За счёт средств федерального бюджета							
Группа	Обучается	АО	Мужчины	Женщины	Комер-х	Обучается	АО	Мужчины	Женщины	Бюджет-х	Всего		
ИТСС ЗФ	332	48	286	94	380	187	11	149	49	198	578		
И-11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
И-12	0	5	3	2	5	0	0	0	0	0	5		
и.т.д.	0	1	1	0	1	0	1	1	0	1	2		
Группа	Обучается	АО	Мужчины	Женщины	Комер-х	Обучается	АО	Мужчины	Женщины	Бюджет-х	Всего		
ИВТ ЗФ	78	13	78	13	91	20	1	13	8	21	112		
В-11	0	1	1	0	1	0	1	1	0	1	2		
В-12	0	5	5	0	5	0	0	0	0	0	5		
и.т.д.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Группа	Обучается	АО	Мужчины	Женщины	Комер-х	Обучается	АО	Мужчины	Женщины	Бюджет-х	Всего		
ИТСС ОФ	9	2	6	5	11	67	14	55	26	81	92		
ДИ-11	0	0	0	0	0	0	3	2	1	3	3		
ДИ-12	0	0	0	0	0	0	2	2	0	2	2		
и.т.д.	0	1	0	0	1	11	0	12	1	12	14		
Группа	Обучается	АО	Мужчины	Женщины	Комер-х	Обучается	АО	Мужчины	Женщины	Бюджет-х	Всего		
ИВТ ОФ	5	0	5	0	5	60	8	50	18	68	73		
ДВ-11	0	0	0	0	0	0	2	2	0	2	2		
ДВ-21	4	0	4	0	4	17	5	15	7	22	26		
и.т.д.	1	0	1	0	1	21	0	15	6	21	22		
Общее количество студентов - 855						Приведённый контингент - 234							
Общее количество студентов ЗФ - 690						Общее количество студентов ОФ - 165							
С полным возмещением затрат на ЗФ - 471						С полным возмещением затрат на ОФ - 16							
За счёт средств федерального бюджета на ЗФ - 219						За счёт средств федерального бюджета на ОФ - 149							
	Курс 1 (Б)	Курс 1 (К)	Курс 2 (Б)	Курс 2 (К)	Курс 3 (Б)	Курс 3 (К)	Курс 4 (Б)	Курс 4 (К)	Курс 5 (Б)	Курс 5 (К)	Итого	Бюджет-х	Комер-х
ИТСС ОФ	5	0	33	8	21	1	22	2	0	0	92	81	11
ИВТ ОФ	2	0	22	4	22	1	22	0	0	0	73	68	5
Кол-во	7	0	55	12	43	2	44	2	0	0	165	149	16
ИТСС ЗФ	1	14	29	115	38	128	68	89	62	34	578	198	380
ИВТ ЗФ	1	6	16	17	4	20	0	20	0	28	112	21	91
Кол-во	2	20	45	132	42	148	68	109	62	62	690	219	471
ИТСС	6	14	62	123	59	129	90	91	62	34	670	279	391
ИВТ	3	6	38	21	26	21	22	20	0	28	185	89	96
Кол-во	9	20	100	144	85	150	112	111	62	62	855	368	487

Рисунок 2. Блок «Контингент»

После авторизации сотрудник деканата переходит в общую программную среду, где после нажатия на кнопку «Контингент», попадает в соответствующий информационный блок (рисунок 2). Данная форма не заполняется сотрудниками университета, она автоматически создается системой. Информацию для заполнения каждой из строк программа получает из общей базы данных, которая включает в себя всевозможные сведения о студентах. Для заполнения формы «Контингент» необходимы данные о профиле и форме обучения, номер группы учащегося, его пол, возраст, основа обучения и текущий статус.

Система рассчитана таким образом, что при внесении каких-либо изменений в базу данных пересчет контингента осуществляется нажатием кнопки «Определить контингент». В случае обновления информации вышеописанным способом программа меняет и заголовок таблицы, проставляя соответствующую дату. В верхней части формы «Контингент» располагается четыре таблицы, каждая из которых разделена в соответствии с направлением подготовки и формой обучения. Рассмотрим одну из них в качестве примера.

В СКФ МТУСИ ведется подготовка по двум направлениям: 09.03.01 «Информатика и вычислительная техника» и 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи». Аббревиатура каждого из них представлена как ИВТ и ИТСС соответственно.

---

Помимо этого, в вышеуказанном филиале реализуются две формы обучения: очная (ОФ) и заочная (ЗФ). Именно по этим параметрам осуществляется разделение студентов в форме «Контингент» с учетом их основы обучения (за счет средств федерального бюджета или по договору об оказании платных образовательных услуг).

Таблица «ИТСС ЗФ» содержит данные о студентах направления подготовки 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи», обучающихся на заочной форме обучения. Аналогичным образом представлены сведения и о других студентах.

Таблица состоит из 12 столбцов: первый и последний отвечают за номер группы и суммарные данные соответственно, второй - шестой – за сведения о студентах, обучающихся по договору об оказании платных образовательных услуг, а седьмой – одиннадцатый – за информацию об обучающихся за счет средств федерального бюджета.

Первая строка «ИТСС ЗФ» определяет суммарные данные по каждой из колонок.

В первом столбце также содержится информация обо всех группах, относящихся к данному направлению подготовки и форме обучения. В нашей таблице это И-11, И-12, И-13, С-21, ЗС-21 и так далее.

Как упоминалось ранее, столбцы со второго по шестой содержат информацию о количестве студентов, обучающихся по договору об оказании платных образовательных услуг.

Вторая колонка определяет количество учащихся, имеющих статус «обучается» на данный момент.

Третий столбец содержит информацию о студентах, находящихся в академическом отпуске.

Четвертая и пятая колонка определяют количество мужчин и женщин соответственно. Здесь важно отметить, что данные столбцы работают со всей базой данных и учитывают, как обучающихся студентов, так и находящихся в академическом отпуске.

Шестая колонка содержит суммарную информацию по всем группам. Она включает в себя сведения обо всех студентах соответствующего направления подготовки и формы обучения.

Заполнение столбцов с седьмого по одиннадцатый осуществляется аналогичным вышеописанным способом. В данных колонках содержится информация о студентах, обучающихся за счет федерального бюджета.

Двенадцатый столбец определяет суммарную информацию по каждой группе и направлению в целом. Здесь учитываются все студенты, входящие в категорию ИТСС ЗФ.

Пользователь имеет возможность просмотреть всю вышеуказанную информацию по каждой группе отдельно, либо по всему направлению в целом.

В нижней части формы «Контингент» располагается еще одна таблица. Информацию для данного блока программа получает из общей базы данных, однако обрабатывает ее иначе.

Таблица содержит сведения о количестве студентов, обучающихся на коммерческой и бюджетной основах. Данная информация предоставляется пользователю в виде отчета по каждому курсу соответствующего направления подготовки и формы обучения.

Столбцы со второго по одиннадцатый заполняются одинаковым способом.

Колонки «Курс 1 (Б)» и «Курс 1 (К)» содержат информацию о количестве студентов, обучающихся на первом курсе за счет средств федерального бюджета или по договору об оказании платных образовательных услуг соответственно. Следующие девять столбцов располагают подобной информацией, но о курсах со второго по пятый.

Первая, вторая, четвертая и пятая строки данной таблицы определяют направление подготовки и форму обучения, по которым представлены сведения. Третий ряд «Кол-во» содержит суммарную информацию по студентам, обучающихся на очной форме обучения, а шестой – на заочной. Седьмая строка «ИТСС» определяет общее количество учащихся по направлению подготовки 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи», а восьмая «ИВТ» - по направлению подготовки 09.03.01 «Информатика и вычислительная

техника». Девятый ряд «Кол-во» содержит информацию о полном контингенте студентов СКФ МТУСИ.

Так, например, на втором курсе направления подготовки 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» заочной формы обучения (ИТСС ЗФО) по договору об оказании платных образовательных услуг обучается 115 человек.

Двенадцатая колонка «Итого» содержит суммарные данные по каждой из строк, то есть общее количество студентов, обучающихся по соответствующим программам подготовки очно или заочно. Столбы «Бюджет-х» и «Комер-х» представляют аналогичную информацию, но разделяют учащихся по основе обучения.

Так, например, на очной форме обучения направления подготовки 09.03.01 «Информатика и вычислительная техника» имеется 73 студента, из них 68 человек обучаются за счет средств федерального бюджета, а 5 – договору об оказании платных образовательных услуг.

В средней части формы «Контингент» располагаются общие данные по двум формам обучения: очной и заочной. Информацию для данного блока программа получает из общей базы данных.

Первая строка содержит сведения об общем количестве студентов, обучающихся в СКФ МТУСИ. Поле получило название «Общее количество студентов».

Следующая строка определяет число студентов, обучающихся на заочной форме обучения. Информационная ячейка учитывает сведения по студентам всех направлений подготовки. Строка получила название «Общее количество студентов ЗФО».

Поле «С полным возмещением затрат» содержит количественные данные о студентах, обучающихся на коммерческой основе на заочной форме обучения в СКФ МТУСИ.

Строка «За счет средств федерального бюджета на ЗФО» определяет число учащихся, получающих образование за счет средств федерального бюджета на заочной форме обучения в университете.

Поля со второго по четвертое следующего столбца содержат аналогичные данные, но по студентам очной формы обучения.

Строка «Приведённый контингент» необходима для работы различных подразделений Северо-Кавказского филиала «Московского технического университета связи и информатики». Принято считать, что на одного студента очной формы обучения приходится десять учащихся заочной. Таким образом, приведённый контингент высчитывается по данным о количестве студентов каждой формы обучения.

В соответствии методикой расчета показателей мониторинга деятельности образовательных организаций высшего образования 2022 года (на основе данных формы №1-Мониторинг за 2021 год) формула выглядит следующим образом:

$$\text{Приведённый конт.} = \text{Кол. студ. ОФО} + \frac{\text{Кол. студ. ЗФО}}{10} \quad (1)$$

Данная цифра необходима для работы учебно-методического отдела СКФ МТУСИ, бухгалтерии и отдела кадров. Приведенный контингент учитывается при распределении нагрузки, формировании количества групп, составлении расписания, подсчете необходимого количества преподавателей на каждой кафедре и других отчетов.

Ежемесячно сотрудники деканата представляют отчет по контингенту студентов. Данный документ имеет определенный вид. Программный продукт позволяет автоматически подготовить необходимую форму и вносит в нее все данные. После нажатия пользователем кнопки «Сохранить», в папке «Kontingent» появляется документ для печати, который соответствует всем нормам представляемого отчета (рисунок 3).

Утверждаю  
Директор СКФ МТУСИ

**Сведения о контингенте СКФ МТУСИ на 18.09.2022 г.**

Образовательная программа	1курс		2курс		3курс		4курс		5курс		итого	из них	
	бюд	ком	бюд	ком	бюд	ком	бюд	ком	бюд	ком		бюд	ком
09.03.01	5	0	33	8	21	1	22	2	0	0	92	81	11
11.03.02	2	0	22	4	22	1	22	0	0	0	73	68	5
<b>Итого</b>	<b>7</b>	<b>0</b>	<b>55</b>	<b>12</b>	<b>43</b>	<b>2</b>	<b>44</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>165</b>	<b>149</b>	<b>16</b>

Образовательная программа	1курс		2курс		3курс		4курс		5курс		итого	из них	
	бюд	ком	бюд	ком	бюд	ком	бюд	ком	бюд	ком		бюд	ком
09.03.01	1	14	29	115	38	128	68	89	62	34	578	198	380
11.03.02	1	6	16	17	4	20	0	20	0	28	112	21	91
<b>Итого</b>	<b>2</b>	<b>20</b>	<b>45</b>	<b>132</b>	<b>42</b>	<b>148</b>	<b>68</b>	<b>109</b>	<b>62</b>	<b>62</b>	<b>690</b>	<b>219</b>	<b>471</b>

Образовательная программа	1курс		2курс		3курс		4курс		5курс		итого	из них	
	бюд	ком	бюд	ком	бюд	ком	бюд	ком	бюд	ком		бюд	ком
09.03.01	6	14	62	123	59	129	90	91	62	34	670	279	391
11.03.02	3	6	38	21	26	21	22	20	0	28	185	89	96
<b>Итого</b>	<b>9</b>	<b>20</b>	<b>100</b>	<b>144</b>	<b>85</b>	<b>150</b>	<b>112</b>	<b>111</b>	<b>62</b>	<b>62</b>	<b>855</b>	<b>368</b>	<b>487</b>

Декан факультета инфокоммуникаций

Рисунок 3. Пример готового для печати отчета  
«Сведения о контингенте СКФ МТУСИ на 18.09.2022 г.»

Программный продукт «Факультет ИК – Модуль “Контингент”» также включает в себя блок «Статистика» (рисунок 4). В нем содержатся данные о количестве студентов того или иного возраста.

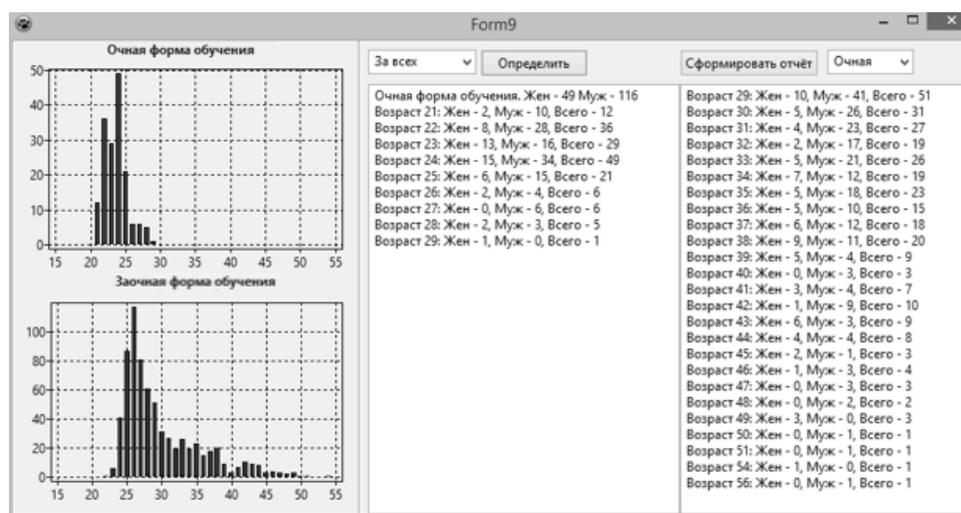


Рисунок 4. Блок «Статистика»

Блок «Статистика» решает проблему заполнения одной из самых сложных таблиц, которая входит в форму федерального статического наблюдения № ВПО-1. Информацию для решения задачи система получает из общей базы данных. Для расчета сведений, представленных на рисунке 4, необходимы данные о поле студента, его возраст и форма обучения.

После нажатия пользователем кнопки «Определить» осуществляется расчет необходимой информации. Сотрудник деканата с помощью выпадающего списка может получить отчет по данным студентов всех форм обучения сразу либо по одной из двух возможных.

Форма «Статистика» условно делится на три части: диаграммы, данные по студентам очной и заочной формы обучения.

Гистограмма помогает пользователю наглядно оценить статистические данные. По вертикальной оси диаграммы содержится информация о количестве студентов, по горизонтальной – о возрасте. Оба графика программа подписывает.

Следующие 2 столбца содержат данные о количестве студентов того или иного возраста. Отчет по форме № ВПО-1 предусматривает разделение студентов не только по возрастному, но и по половому признаку.

Так, например, на заочной форме обучения всего 51 человек в возрасте 29 лет, среди них 41 мужчина и 10 женщин, в то время как на очной форме обучения всего 1 человек, и это женщина.

Пользователь имеет возможность создания отчета для печати. Сотрудник с помощью выпадающего списка выбирает необходимую форму обучения. После нажатия на кнопку «Сформировать отчет» в папке «Statistik» будет сформирован документ, который отвечает требованиям для таблицы по форме № ВПО-1 (рисунок 5).

Наименование показателей	№	Программы бакалавриата	
		Численность	из них женщин
1	2	5	6
Всего	1	598	150
В возрасте (число полных лет на 1 января следующего календарного года) моложе 15 лет	2		
15 лет	3	0	0
16 лет	4	0	0
17 лет	5	0	0
18 лет	6	0	0
19 лет	7	0	0
20 лет	8	4	3
21 год	9	29	13
22 года	10	75	16
23 года	11	100	20
24 года	12	55	6
25 лет	13	52	13
26 лет	14	41	9
27 лет	15	28	5
28 лет	16	22	3
29 лет	17	18	2
30–34 лет	18	97	28
35–39 лет	19	45	16
40 лет и старше	20	32	16

Рисунок 5. Пример отчета по студентам заочной формы обучения

Программный продукт «Факультет ИК – Модуль “Контингент”» решает широкий спектр проблем. Система позволяет пользователю работать с количественными и качественными данными, а также производит расчеты для сверки с информационной базой деканата. Программа автоматически формирует отчеты для печати. Также система позволяет получать актуальные данные в любой момент времени.

Таким образом, каждая организация нуждается в информационной среде, которая была бы полностью адаптирована под её запросы и внутреннее устройство. Программный продукт «Факультет ИК – Модуль “Контингент”» имеет простой и интуитивно понятный интерфейс. Система собирает и обрабатывает данные по всем студентам Северо-Кавказского филиала «Московский технический университет связи и информатики». Помимо этого, программа автоматически формирует готовые отчеты для печати. Внедрение данной информационной системы позволит оптимизировать и автоматизировать работу сотрудников, а также исключить ошибки в документах.

---

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Приказ Росстата "Об утверждении формы федерального статистического наблюдения с указаниями по ее заполнению для организации Министерством науки и высшего образования Российской Федерации федерального статистического наблюдения в сфере высшего образования" № 582 от 19.08.2022 // [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_425010/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_425010/) (дата обращения: 01.10.2022).
2. Методика расчета показателей формы № 1-Мониторинг 2022 (за 2021 год) // [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://miccedu.ru/static/monitoring-vo.html> (дата обращения: 01.10.2022).
3. Северо-Кавказский филиал МТУСИ. Официальный сайт // [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.skf-mtusi.ru/> (дата обращения: 01.10.2022).

**И.А. Сосновский, А.М. Коршун, Е.А. Гендриксон**

### **ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ДЕКАНАТ. МОДУЛЬ – ПРИКАЗЫ**

Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени ФГБОУ ВО «Московский технический университет связи и информатики», г. Ростов-на-Дону, Россия

Ключевые слова: приказ, деканат, программный продукт «Факультет ИК – Модуль “Приказы”», база данных, направление подготовки, форма обучения, профиль обучения, шифр студенческого билета, академический отпуск, оптимизация, автоматизация.

В работе рассмотрена информационная система «Факультет ИК – Модуль “Приказы”» для оптимизации работы сотрудников филиала. Проанализированы различные инструменты и функции программы. Выделены её основные достоинства, которые включают создание единой базы данных студентов, формирование программой готовых отчетов, автоматизацию регистрации документов, а также получение актуальной информации в любой момент времени. Обоснована необходимость внедрения информационной системы в качестве программы для работы сотрудников деканата.

**I.A. Sosnovskiy, A.M. Korshun, E.A. Gendrikson**

### **DEAN'S OFFICE INFORMATION SYSTEM. MODULE – ORDERS**

North Caucasus branch of Moscow Technical University  
of Communications and Informatics, Rostov-on-Don, Russia

Keywords: order, dean's office, program product «Faculty of IC – Module “Orders”», database, training direction, form of education, educational profile, student's card cipher, academic leave, contingent, statistics.

This article presents «Faculty of IC - Module “Orders”» information system for optimizing the work of employees of the university branch. The main tools and functions of the program are analyzed. Its main advantages which include the creation of a single database of students, the formation of ready-made reports by the program, automation of document registration, as well as

obtaining up-to-date information at any time. The need to introduce an information system as a program for the work of dean's office employees is justified.

Тема информационных технологий и использования баз данных в рабочем процессе особенно актуальна в двадцать первом веке. Неотъемлемой составляющей деятельности любой организации, в том числе и образовательного учреждения, является формирование системы документирования и работы с документами. Человеческий фактор нередко приводит к ошибкам сотрудников. В настоящее время перед каждой организацией стоит задача оптимизации и автоматизации рабочих процессов.

С целью повышения эффективности труда сотрудников и усовершенствования информационно-документационных процессов специально для Северо-Кавказского филиала «Московский технический университет связи и информатики» (далее – СКФ МТУСИ) был создан программный продукт «Факультет ИК – Модуль “Приказы”».

Приказ — правовой акт, принимаемый руководителем, действующим единолично, в целях регулирования деятельности организации. Данный документ является неотъемлемой частью функционирования каждого подразделения образовательного учреждения, однако мы рассмотрим его в контексте работы деканата СКФ МТУСИ.

Деканат — возглавляемый деканом организационный центр по управлению работой факультета. Данное подразделение выполняет функции координации и административного обеспечения учебного процесса, ведения делопроизводства.

Каждая организация нуждается в собственной программной среде, полностью адаптированной к особенностям и специфике учреждения. Информационная система «Факультет ИК – Модуль “Приказы”» разработана для деканата СКФ МТУСИ.

Каждый пользователь в соответствии с должностью имеет особые права и ограничения на какие-либо действия в программной среде. Авторизация сотрудника в системе осуществляется с помощью пароля. Окно идентификации представлено на рисунке 1:

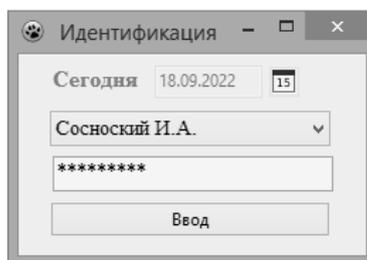


Рисунок 1. Окно идентификации пользователя

Администратор информационной среды имеет доступ к системным файлам, которые позволяют просматривать действия всех пользователей. Информация автоматически помещается в папку Evs:

```
Добрый день создатель. Данный файл сформирован 18.09.2022 14:12:49 Приятного просмотра!  
18.09.2022 14:13:22 Пользователь Сосносский И.А. Произведён вход в систему.  
18.09.2022 14:18:29 Пользователь Сосносский И.А. Приказ о выходе в АО. № 1/05/05-3 от 18.09.2022  
18.09.2022 14:31:32 Пользователь Сосносский И.А. Приказ допуске к занятиям после АО. № 2/05/05-3 от 18.09.2022  
18.09.2022 14:37:22 Пользователь Сосносский И.А. Произведён вход в систему.  
18.09.2022 14:38:53 Пользователь Сосносский И.А. Приказ о переводе из другого ВУЗа. № 3/05/05-3 от 18.09.2022  
18.09.2022 14:42:20 Пользователь Сосносский И.А. Приказ Приказ о переводе на очную форму обучения. № 4/05/05-3 от 18.09.2022  
18.09.2022 14:53:01 Пользователь Сосносский И.А. Произведён вход в систему.  
18.09.2022 15:02:43 Пользователь Сосносский И.А. Произведён вход в систему.
```

Рисунок 2. Системная информация о действиях пользователей в программной среде

После авторизации сотрудник попадает в основную программную среду. Среди базовых видов приказов выделяют следующие: о предоставлении академического отпуска, о возвращении из академического отпуска, о восстановлении, о переводе из другого

учреждения высшего образования, о переводе внутри ВУЗа, об отчислении. Информационная система предусматривает создание каждого из них (рисунок 3).

Для любого типа приказов в системе существует шаблон. На рисунке 4 представлена форма документа о предоставлении академического отпуска студенту. Аналогичный вид имеют шаблоны других типов приказов.

Рассмотрим работу каждого программного блока.

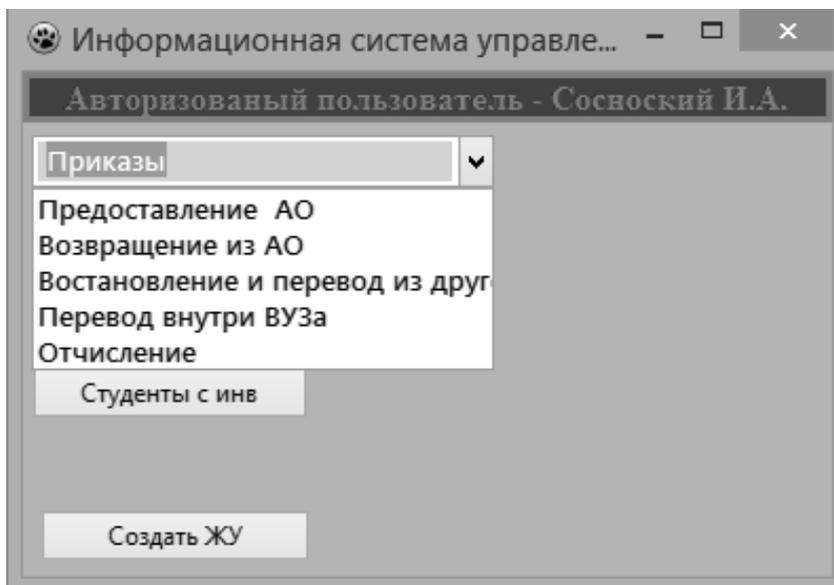


Рисунок 3. Выбор типа приказа из выпадающего списка в информационной среде

Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени ФГБОУ ВО "Московский технический университет связи"			код
			по ОКВЭД 301001
			по ОКПО 50570660
<b>П Р И К А З</b>			номер документа
(расшифровка)			дата
г. Ростов-на-Дону			
<b>по студенческому составу факультета инфокоммуникаций заочной формы обучения о предоставлении академического отпуска</b>			
Для реализации прав обучающихся на академический отпуск, установленных федеральным законом "Об образовании в Российской Федерации" от 29.12.2012 N 273-ФЗ			
Форма обучения			
Направление			
Группа			
Фамилия Имя Отчество			
Номер студенческих документов			
Основа обучения			
Причина предоставления			
Дата выхода			
Основание:			
Приказ подготовил:			
Декан факультета ИВ		И.А. Сосносский	
Согласовано:			
зам. директора по У		А.Г. Жуковский	
адъюнкт		С.В. Галоя	

Рисунок 4. Шаблон приказа о предоставлении академического отпуска

На рисунке 5 представлен блок «Приказы о предоставлении академического отпуска»

Предоставление АО

Основные сведения для приказа

Форма обучения: Заочная

Направление: 11.03.02

Группа: С-41

ФИО: Афанасьева Мария Ивановна

Шифр ст. билета: ЗБИК-17117

Причина: По семейным обстоятельствам

Основа обучения: К

Приказ №: 5 /05/05-3 от: 23.09.2022

Текущий статус студента - Обучается

Профиль обучения - СССК

Продолжительность академ. отпуска

По: 23.09.2023

Основание: Заявление студента, служебная записка декана.

Должность руководителя: Директор

ФИО руководителя: Манин А.А.

Ввести в систему

Рисунок 5. Блок «Приказы о предоставлении академического отпуска»

Заполнение данной формы осуществляется сотрудником деканата СКФ МТУСИ. Основные сведения для приказа система получает из базы данных, в которую предварительно вносится информация по всем студентам филиала.

Данные в поле «Форма обучения» выбираются из выпадающего списка: очная либо заочная.

Поле «Направление» заполняется аналогичным образом. В данной ячейке есть возможность выбора между направлениями подготовки 09.03.01 «Информатика и вычислительная техника» и 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи». Программа автоматически вносит развернутое название одного из выбранных вариантов в шаблон приказа.

Список возможных групп определяется выбранным выше направлением.

Фамилия, имя, отчество (далее ФИО) студента выбирается из выпадающего списка. Стоит отметить, что учащиеся строго разделены на группы. В выпадающем списке содержатся данные студентов, выбранной ранее группы.

Шифр студенческого билета вносится программой автоматически после указания ФИО учащегося, на которого составляется приказ.

Поле «Причина» заполняется посредством выбора необходимой строки в выпадающем списке. В соответствии с приказом Министерства образования и науки РФ от 13 июня 2013 года № 455 "Об утверждении Порядка и оснований предоставления академического отпуска обучающимся" причиной для предоставления студенту академического отпуска могут быть семейные обстоятельства, служба по призыву, необходимость в уходе за ребенком, болезнь. Все эти варианты предложены в рассматриваемом поле.

Основа обучения аналогично шифру студенческого билета автоматически вносится в графу из общей базы данных. Пользователь не работает с данной ячейкой.

Поле «Основание» по умолчанию имеет вид «Заявление студента, служебная записка декана», однако его можно дополнить. В соответствии с приказом Министерства образования и науки РФ от 13 июня 2013 года № 455 студенты при возможности

предоставляют дополнительные документы, которые сотрудник включает в данный перечень.

Номер и дату приказа программа автоматически вносит в поле в соответствии с уже созданными документами, то есть нумерация осуществляется последовательно. При необходимости пользователь может изменить эти данные вручную.

«Текущий статус студента» отображается после выбора соответствующего учащегося в поле «ФИО». Информацию для данной ячейки программа получает из общей базы данных.

Поле «Профиль обучения» аналогичным образом заполняется без вмешательства пользователя. Данная информация вносится в ячейку после выбора группы студента. Программа учитывает все доступные для обучения в СКФ МТУСИ профили: СССК (Сети связи и системы коммутации), ЗССС (Защищенные системы и сети связи), МТС (Многоканальные телекоммуникационные системы), СРиРД (Системы радиосвязи и радиодоступа), ПО (Программное обеспечение и интеллектуальные системы) и ВМ (Вычислительные машины, комплексы, системы и сети).

«Продолжительность академ. отпуска» определяется сотрудником, заполняющим данную форму в соответствии с заявлением студента.

В поле «Должность руководителя» применяется технология выпадающего списка. Пользователю доступны следующие варианты: Директор, ИО директора, ВРИО директора.

Поле «ФИО руководителя» заполняется с помощью выпадающего списка.

Регистрация приказа в системе осуществляется нажатие на кнопку «Ввести в систему». Стоит отметить, что программный продукт осуществляет проверку на заполнение сотрудником всех полей. В случае, если одно из полей не заполнено, программа не вносит документ в систему и оповещает пользователя об этом (рисунок 5).

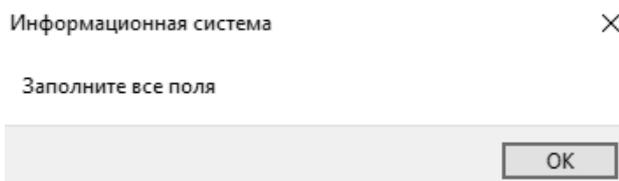


Рисунок 5. Предупреждение программы

В случае, если все поля формы заполнены программа запрашивает у сотрудника подтверждение (рисунок 6).

Вы уверены в правильности приказа

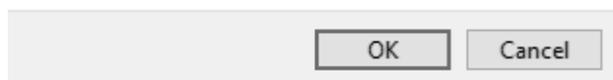


Рисунок 6. Подтверждение внесения приказа в систему

После регистрации приказа система вносит изменения в общую базу данных. Меняется статус студента и добавляется номер приказа и другие данные, необходимые для работы сотрудников деканата (рисунок 7).

Алексин Марк Денисович	Алексину Марку Денисовичу	11.03.2002	Заочная	С-41	ЗБИК-17106	М	К		
Афанасьева Мария Ивановна	Афанасьевой Марии Ивановне	11.03.2002	Заочная	С-41	ЗБИК-17117	Ж	К	АО	Предоставление АО По семейным обстоятельствам. Приказ № 5/05/05-3 от 23.09.2022. До 23.09.2023.
Васильев Денис Александрович	Васильеву Денису Александровичу	11.03.2002	Заочная	С-41	ЗБИК-17116	М	Б		
Дорошенко Алексей Алексеевич	Дорошенко Алексею Алексеевичу	11.03.2002	Заочная	С-41	ЗБИК-17156	М	К		
Иванова Надежда Ивановна	Ивановой Надежде Ивановне	11.03.2002	Заочная	С-41	ЗБИК-17122	Ж	К		
Лисичев Андрей Андреевич	Лисичеву Андрею Андреевичу	11.03.2002	Заочная	С-41	ЗБИК-17178	М	Б		

Рисунок 7. Обновленная база данных

Помимо этого, в папке «Приказ» появляется документ для печати приказа (рисунок 8). При распечатке документа ячейки не отображаются.

Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени ФГБОУ ВО "Московский технический университет связи		код	
		по ОКур	201001
		по ОКПО	3057660
П Р И К А З (распоряжение)		номер документа	дата
		5/05/05-3	23.09.2022
г. Ростов-на-Дону			
по студенческому составу факультета инфокоммуникаций заочной формы обучения о предоставлении академического отпуска			
Для реализации прав обучающихся на академический отпуск, установленных федеральным законом "Об образовании в Российской Федерации" от 29.12.2012 N 273-ФЗ			
Форма обучения	Заочная		
Направление	11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи		
Группа	С-41		
Фамилия Имя Отчество	Афанасьева Мария Павловна		
Номер студенческих документов	ЗБНК-17117		
Основа обучения	С полным возмещением затрат		
Причина предоставления	По семейным обстоятельствам		
Дата выхода	23.09.2022		
Основание:	Заключение студента, служебная записка декана.		
Директор		Матви А.А.	
Приказ подготовил:	Декан факультета ИВ		
	И.А. Сосновский		
Согласовано:	зам. директора по У		
	А.Г. Жуковский		
юрист/инспектор	С.В. Гантов		

Рисунок 8. Готовый приказ

Приказы сохраняются в папке в соответствии с номером и датой их создания (рисунок 9).

Приказ №1 18.09.2022	18.09.2022 14:21
Приказ №2 18.09.2022	18.09.2022 14:31
Приказ №3 от 18.09.2022	18.09.2022 14:38
Приказ №4 от 18.09.2022	18.09.2022 14:42
Приказ №5 23.09.2022	23.09.2022 17:58

Рисунок 9. Папка со всеми приказами

Заполнение блока «Доступ к занятиям после АО» осуществляется аналогичным вышеописанным способом (рисунок 10).

Рисунок 10. Блок «Приказы о допуске к занятию после академического отпуска»

В поле «Причина выхода» имеется несколько вариантов: окончание АО, окончание срока действительной военной службы в рядах РА, завершение срока отпуска, выздоровление после болезни.

После внесения приказа в систему пользователь наблюдает изменения и в главной базе данных (рисунок 11). Также программой создается готовый для печати приказ в соответствующей общей папке.

Алексин Марк Денисович	Алексину Марку Денисовичу	11.03.2002	Заочная	С-41	ЗБИК-17106	М	К	
Афанасьева Мария Ивановна	Афанасьевой Марии Ивановне	11.03.2002	Заочная	С-41	ЗБИК-17117	Ж	К	Допущен к занятиям после АО с 23.09.2022. Приказ № 6/05/05-3 от 23.09.2022
Васильев Денис Александрович	Васильеву Денису Александровичу	11.03.2002	Заочная	С-41	ЗБИК-17116	М	Б	
Дорошенко Алексей Алексеевич	Дорошенко Алексею Алексеевичу	11.03.2002	Заочная	С-41	ЗБИК-17156	М	К	
Иванова Надежда Ивановна	Ивановой Надежде Ивановне	11.03.2002	Заочная	С-41	ЗБИК-17122	Ж	К	
Лисинев Андрей Андреевич	Лисиневу Андрею Андреевичу	11.03.2002	Заочная	С-41	ЗБИК-17178	М	Б	

Рисунок 11. Обновленная база данных

Рассмотрим принцип заполнения блока «Восстановление и перевод из другого ВУЗа». На рисунке 12 представлена заполненная форма.

Поле «Порядок поступления» заполняется с помощью выпадающего списка. Сотрудник выбирает необходимый вариант из двух возможных: восстановление или перевод из другого ВУЗа. В обоих случаях форма приказа остается одинаковой.

Затем пользователь выбирает соответствующую форму обучения, направление подготовки и группу. Номер курса и профиль заполняются системой автоматически после выбора сотрудником группы студента.

Поле «Приказ №» заполняется программой автоматически.

ФИО студента, шифр студенческого билета вводятся сотрудником вручную.

Основание обучения выбирается из выпадающего списка: коммерческая либо бюджетная. Пол студента определяется аналогичным способом.

Стоимость обучения за год, данные протокола аттестационной комиссии (АК) по перезачетам, сроки ликвидации программной разницы вводятся пользователем вручную.

Основание для приказа введено системой по умолчанию, однако, как упоминалось ранее, сотрудник может дополнить данное поле.

Ввод в систему осуществляется аналогичным, вышеописанным образом.

Восстановление и перевод из другого ВУЗа

Основные сведения для приказа

Порядок поступления: Перевод из другого ВУЗа

Приказ № 8 /05/05-3 от 23.09.2022 15

Форма обучения: Заочная

Направление: 11.03.02

Курс: 5

Добавить в группу: ЗС-52

Профиль: ЗССС

ФИО: Владимиров Владимир Владимирович

Шифр ст. билета: ЗБИК-22233

Основа обучения: Коммерческая

Пол: М

Стоимость обучения за год: 28000 рублей 00 копеек

Протокол АК по перезачётам № 14 от 20.09.2022 15

Ликвидировать программную разницу до 20.11.2022 15

Основание

Заявление студента;  
Служебная записка декана.

Директор: Манин А.А. Должность руководителя: ФИО руководителя

Ввести в систему

Рисунок 12. Блок «Восстановление и перевод из другого ВУЗа»

После регистрации программой приказа в системе сотрудник имеет готовый для печати приказ, а также база данных информационной системы пополняется информацией о новом студенте (рисунок 13).

Алекин Марк Денисович	Алекину Марку Денисовичу	11.03.2002	Заочная	С-41	ЗБИК-17106	М	К		
Афанасьева Мария Ивановна	Афанасевой Марии Ивановне	11.03.2002	Заочная	С-41	ЗБИК-17117	Ж	К		Допущен к занятиям после АО с 23.09.2022. Приказ № 6/05/05-
Васильев Денис Александрович	Васильеву Денису Александровичу	11.03.2002	Заочная	С-41	ЗБИК-17116	М	Б		
Дорошенко Алексей Алексеевич	Дорошенко Алексею Алексеевичу	11.03.2002	Заочная	С-41	ЗБИК-17156	М	К		
Иванова Надежда Ивановна	Ивановой Надежде Ивановне	11.03.2002	Заочная	С-41	ЗБИК-17122	Ж	К		
Лисцев Андрей Андреевич	Лисцеву Андрею Андреевичу	11.03.2002	Заочная	С-41	ЗБИК-17178	М	Б		
Владимиров Владимир Владимирович		11.03.02	Заочная	ЗС-52	ЗБИК-22233	М	К		Перевод из другого ВУЗа. Приказ № 8/05/05-3 от 23.09.2022.

Рисунок 13. Обновленная база данных

Изучим принцип заполнения блока «Приказы о переводе внутри ВУЗа» (рисунок 14).

Данная форма позволяет обработать сразу несколько типов документов. Среди них приказы о переводе на очную или заочную форму обучения, на другой профиль, на другое направление подготовки, на бюджетную основу. Помимо этого, данный блок позволяет регистрировать приказы об изменении фамилии студента.

Заполнение формы осуществляется вышеописанным способом. Блок информации слева заполняется сотрудником по первоначальным данным студента, а справа вводится новая информация в соответствии с переводом.

Стоит отметить, что поля «Шифр ст. билета», «Стоимость обучения за год», «Протокол комиссии» и сроки ликвидации программной разницы – это единственные сведения, которые вносятся сотрудником вручную. Все остальные ячейки заполняются либо посредством выпадающего списка, либо автоматически вносятся программой после соответствующего выбора.

Перевод на очную форму обучения

Начните с выбора типа перевода: Перевод на очную форму обучения

Приказ № 9 /05/05-3 от 27.09.2022 15

<p><b>Форма обучения</b> Заочная</p> <p><b>Направление</b> 11.03.02</p> <p><b>Курс</b> 4</p> <p><b>Добавить в группу</b> С-41</p> <p><b>Профиль</b> СССК</p> <p><b>ФИО</b> Васильев Денис Александрович</p> <p><b>Шифр ст. билета</b> ЗБИК-17116</p> <p><b>Основа обучения</b> Бюджетная</p>	<p><b>Форма обучения</b> Очная</p> <p><b>Направление</b> 11.03.02</p> <p><b>Курс</b> 4</p> <p><b>Добавить в группу</b> ДС-41</p> <p><b>Профиль</b> СССК</p> <p><b>ФИО</b> Васильев Денис Александрович</p> <p><b>Шифр ст. билета</b> 1БИН-22034</p> <p><b>Основа обучения</b> Коммерческая</p>
--	--

Стоимость обучения за год 28000 рублей 00 копеек

Протокол комиссии № 15 от 23.09.2022 15

Ликвидировать программную разницу до 27.11.2022 15

Основание  
Заявление студента;  
Служебная записка декана.

Директор Манин А.А. Должность руководителя ФИО руководителя

Ввести в систему

Рисунок 14. Блок «Приказы о переводе внутри ВУЗа»

В результате регистрации приказа системой вводятся изменения в общую базу данных, а также создается документ для печати.

Подробно рассмотрим блок «Приказы об отчислении» (рисунок 15).

Основные данные студента заполняются сотрудником с помощью выпадающего списка. Ячейки «Курс», «Профиль», «Шифр ст. билета», «Основа обучения» и «Дата отчисления» автоматически вносятся программой в форму после выбора ФИО студента.

В данном блоке система предусматривает создание нескольких типов документов: приказы об отчислении по собственному желанию, за невыполнение обязанностей по добросовестному освоению образовательной программы и выполнению учебного плана, за грубое нарушение учебной дисциплины, за невыполнение договорных обязательств при обучении на коммерческой основе, в связи с переводом в другой вуз и отчисление по окончании обучения и т.д. (Положение О переводе, восстановлении и отчислении обучающихся СМК-П-12-93-22).

Отчисления студента не завершившего обучение

Причина отчисления:     Приказ №  /05/05-3 от

Форма обучения:

Направление:

Группа:

ФИО:

Курс:

Профиль:

Шифр ст. билета:

Основа обучения:

Дата отчисления:

Основание:  
Заявление студента;  
Служебная записка декана.

Директор:     Должность руководителя:     Ввести в систему

ФИО руководителя:

Рисунок 15. Блок «Приказы об отчислениях»

После регистрации приказа автоматически создается документ для печати, а также программой вносятся соответствующие изменения в базу данных.

По итогам подробного изучения принципов работы программы «Факультет ИК – Модуль “Приказы”» можно отметить, что продукт позволяет создать полноценную базу данных со всеми приказами и актуальной информацией о студентах, что позволит автоматизировать информационно-документационные процессы.

Таким образом, в каждой организации, в том числе и в образовательном учреждении, существует широкий документооборот. Программные средства помогают устранить ошибки и повысить эффективность труда сотрудников. Рассмотренный в работе программный продукт «Факультет ИК – Модуль “Приказы”» позволяет автоматизировать работу сотрудников деканата Северо-Кавказского филиала «Московский технический университет связи и информатики». Программа имеет простой и интуитивно понятный интерфейс, позволяет вносить необходимые изменения в базу данных для дальнейшей работы сотрудников деканата.

Информационная система «Факультет ИК – Модуль “Приказы”» позволяет максимально автоматизировать регистрацию документов и исключить возможные ошибки пользователей.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Приказ Министерства образования и науки РФ "Об утверждении Порядка и оснований предоставления академического отпуска обучающимся" № 455 от 13 июня 2013 года // [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_148516/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_148516/) (дата обращения: 03.10.2022).

- 
2. Северо-Кавказский филиал МТУСИ. Официальный сайт // [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.skf-mtusi.ru/> (дата обращения: 01.10.2022).

**Э.А. Бинеев**

## **ВЛИЯНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВРЕДНЫХ ГАЗОВ НА ИХ КОНЦЕНТРАЦИЮ В ВОЗДУХЕ**

Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени ФГБОУ ВО «Московский технический университет связи и информатики», г. Ростов-на-Дону, Россия

Ключевые слова: летучесть, испарение, адсорбция.

Приведены исследования влияния физических свойств вредных паров и газов, таких как летучесть, испарение, адсорбция, на их концентрацию в воздухе производственных помещений.

**E.A. Bineev**

## **INFLUENCE OF THE PHYSICAL PROPERTIES OF HARMFUL GASES ON THEIR CONCENTRATION IN THE AIR**

North Caucasus branch of Moscow Technical University  
of Communications and Informatics, Rostov-on-Don, Russia

Keywords: volatility, evaporation, adsorption.

The study of the influence of the physical properties of harmful vapors and gases, such as volatility, evaporation, adsorption, on their concentration in the air of industrial premises is given.

Промышленные яды характеризуются различными физическими свойствами (температура кипения, упругость пара, летучесть и т.д.), которые определяют их поведение во внешней среде и обуславливают специфические особенности условий труда.

Концентрация паров жидких вредных веществ зависит от их летучести, которая характеризуется максимальным содержанием пара в единице объема (мг/л, мг/м<sup>3</sup>). Чем ниже температура кипения вещества, тем выше его летучесть. Соединения, обладающие хорошей летучестью, способны образовывать в воздухе производственных помещений высокие концентрации [1]. Вещества, летучесть которых превышает 200 мг/л, увеличивают плотность воздуха более чем на 25% (дихлорэтан, сероуглерод,

бензол), причем скорость опускания газовой смеси может составлять величину более 0,2 м/с. Поэтому летучие промышленные яды обладают свойством накапливаться преимущественно в нижних зонах помещения [3]. Вещества, характеризующиеся низкой летучестью (ртуть, нитробензол, анилин), существенно не утяжеляют газовоздушную смесь. Поэтому их распределение происходит более равномерно по всему объему производственного помещения. Химические вещества в парообразном и газообразном состоянии относительно быстро распространяются в воздушной среде благодаря диффузии и воздушным потокам.

Концентрация паров зависит и от скорости испарения. Испарение происходит при любой температуре и увеличивается при ее повышении. Испарение тем больше, чем больше свободная поверхность жидкости и скорость движения воздуха [2,3]. Физические свойства имеют прямое отношение к процессам сорбции химических веществ строительными

материалами (кирпич, штукатурка, дерево и др.). Сорбирующая способность строительных материалов зависит от их пористости и удельной поверхности. Величина адсорбции газов, в основном, зависит от их критической температуры. Газ адсорбируется тем быстрее, чем легче он сжижается, чем выше его критическая температура. Так как температура кипения составляет обычно 2/3 от критической, то естественно, что адсорбция, возрастающая с ростом критической температуры, должна увеличиваться с возрастанием температуры кипения. В таблице приведены данные, характеризующие связь между адсорбцией некоторых газов на древесном угле и их физическими свойствами [3].

Таблица 1.

Газ	Молярная масса, г	Температура кипения, К	Критическая температура, К	Объем газа (см <sup>3</sup> ), адсорб. 1 кг угля при 15 °С
SO <sub>2</sub>	64	263	430	379,7
NH <sub>3</sub>	17	240	405	180,9
N <sub>2</sub> O	44	183	309	54,2
CO <sub>2</sub>	44	195	242	47,6
CO	28	81	134	9,3

Процессы адсорбции (десорбции) зависят от температуры окружающей среды. При пониженной температуре более интенсивно протекают процессы адсорбции (следовательно, концентрация газов и паров в воздухе будет уменьшаться), при повышенной – наблюдается обратный процесс десорбции (резко возрастает концентрация паров и газов в воздухе производственных помещений).

Таким образом, изменения уровня концентрации вредных веществ в воздухе производственных помещений могут наблюдаться в течение рабочего дня, а также в различные периоды месяца и года, когда определенное значение приобретают изменения температурного режима и эффективности воздухообмена в производственных помещениях.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бинеев Э.А. Воздушная среда в рабочей зоне производственных помещений. Ростов-на-Дону: Изд-во РГУ, 2002, 64 с.
2. Бинеев Э.А. Зависимость загазованности производственных помещений от сорбционных процессов. – Мат-лы Всероссийской научно-практ. конференции «Без-ть и экология технических процессов и производств». п. Персиановский: ДонГАУ, 2007, с. 20-21.
3. Бинеев Э.А. Безопасность и охрана труда в пищевой промышленности.-Ростов н/Д: Изд-во Рост. ун-та, 2004, 352 с.

## ВЛИЯНИЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ ИГР НА ПСИХОЛОГИЮ УЧАЩИХСЯ

Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени ФГБОУ ВО  
«Московский технический университет связи и информатики», г. Ростов-на-Дону, Россия

Ключевые слова: компьютер, обучающие видеоигры.

В статье будет рассматриваться как компьютер и компьютерные видеоигры смогли внести свой вклад в жизни учеников и студентов. Развитие видеоигр.

L.A. Slesarev, D.A. Shelkovsky, D.L. Ustimenko

## THE INFLUENCE OF COMPUTER GAMES ON THE PSYCHOLOGY OF STUDENTS

North Caucasus branch of Moscow Technical University  
of Communications and Informatics, Rostov-on-Don, Russia

Keywords: computer, educational videogames

This article will look at how computers and computer video games have been able to contribute to the lives of students and pupils. The development of video games.

С приходом компьютеров в повседневную жизнь, скорость выполнения многих задач стала в разы быстрее. В наше время компьютер может использоваться в различных направлениях, перечисление которых займет много времени. Огромное поколение детей выросло, играя в видеоигры, и продолжает делать это и в более зрелом возрасте. Разберём причины, по которым у игроков появлялось желание играть в видеоигры больше и больше.

В наши дни практически нет людей, которые бы не знали о видеоиграх. Для взрослого человека компьютерные игры – скорее всего являются быстрой забавой, разрядкой после рабочего дня, затем он возвращается к своим прежним занятиям и хобби. Студенты и ученики успевают играть в них на своих устройствах, чтобы скоротать время в общественном транспорте.

Родителям не стоит запрещать детям проводить время за компьютером, наоборот, сегодня такое время, когда они должны быть с компьютером и прочей техникой на «ты». Главная цель – внушить хороший вкус и научить умеренно пользоваться компьютером и его технологиями.

«Долгое время игру рассматривали как инертный по отношению к обучению процесс. Игра всегда являлась инструментом в обучении, способствующим повышению мотивации детей, их заинтересованности. Для нас интересны игры, которые носят дидактический характер, т.е. обучающий. Но так как все склонно изменяться, дидактические игры, в условиях информатизации образования начинают приобретать новый вид, а именно вид компьютерных обучающих игр» [2, с. 18].

Большинство видеоигр, не обязательно обучающие, способны научить: логике, математике, привести к развитию памяти и скорости печатания на клавиатуре. Благодаря современным обучающим видеоиграм, педагоги могут воспользоваться их преимуществами для обучения школьников и дошкольников, поскольку за игрой в какую угодно игру у любого человека проявится гораздо больший интерес к выполнению поставленной задачи.

Благодаря видеоиграм можно изучить английский язык до базового уровня, что непосредственно тоже является их огромным плюсом. Раньше многие игры не имели

---

русской локализации, поэтому игрокам приходилось довольствоваться либо неофициальным переводом на русский язык, который имел много несостыковок с грамматикой и правилами речи, либо изучать игровые миры на оригинальном английском языке. Игрок запоминает некоторые слова, которые встречаются в ходе игры, через время он уже знает большинство реплик персонажей игры, а потом вовсе в школе получает наилучшие оценки по английскому языку. Большинство людей не будет спорить, что у многих школьников был именно такой интересный способ изучения иностранного языка.

«В ходе применения реальных компьютерных игр в учебном процессе одним из первых возникает вопрос о том, каким образом их можно использовать в образовательной деятельности. Большинство компьютерных игр представляют собой виртуальный мир, с огромным количеством персонажей и событий, где основным средством коммуникации является речь персонажей, дублируемая субтитрами. Тем самым, основываясь на специфике преподавания иностранного языка, можно считать применение компьютерных игр средством обучения аудированию или чтению на основе аутентичного материала» [4, с. 3-4].

Многие образовательные учреждения уже не первые годы меняют оборудование на самое современное: на замену больших компьютеров пришли компактные, зато мощные ноутбуки и моноблоки; во многих кабинетах уже стоит интерактивная доска. В школах уроки проходят с помощью интерактивных игр.

«Поэтому преподавателям придется идти в ногу с представителями цифрового поколения, цифровая революция образования неизбежна. Замечательно, что во многих школах учителя используют в работе компьютеры, интерактивную доску и интернет, что требует умения обращаться к цифровым материалам, веб-сайтам и другим ресурсам. Компьютерные игры также могут стать важной частью образовательного процесса» [3, с. 103].

Первые обучающие видеоигры рассматривали процесс преодоления препятствий в игре, как процесс изучения предмета. В процессе игры, игроку требуется преодолеть препятствие для достижения какой-то условной цели. Для этого ему требуется изучить игровую территорию, чтобы найти подсказку. Ученики на занятиях стараются усвоить информацию, которая потребуется на экзамене или иной зачётной работе. Победа в игре воспринимается как успех – успех на экзамене, а умение преодолевать препятствия аналогично усвоению материала, требуемого учебной программой.

Многие считают, что современные компьютерные игры не представляют собой абсолютно никакой пользы, оказывая негативное влияние как на сознание, так и на физическое состояние. Однако следует отметить, что компьютерные видеоигры обладают рядом преимуществ и положительных свойств, о которых мы сейчас расскажем.

Пятидесятые годы оказались фальстартом для видеоигр. Почти сразу же идея изучения компьютерных видеоигр отбрасывалась, поскольку люди были уверены, что это пустая трата времени. В это время была создана компьютерная версия игры в шахматы. Она доказала свою плодотворность для исследований искусственного интеллекта. Но пока эта идея осталась только в области интереса учёных, а не развлечений.

К началу шестидесятых годов представление, что компьютеры должны использоваться лишь для серьёзных задач, было оспорено группой студентов, которые отбросили истории своих профессоров и пытались доказать обратное – они рассматривали программирование как что-то веселое и творческое, но не строгое и серьёзное.

В 1972 году компанией Atari была разработана видеоигра Pong. Суть игры состояла в том, чтобы игроки передвигали ракетки для защиты своей стороны от попадания по ней мячиком. Со временем скорость движения мячика увеличивалась, тем самым усложняя попытки выиграть. Игра вызывала интерес соревноваться, чтобы стать одним из лучших игроков. Первоначально видеоигра была разработана для двух игроков. Позже стал доступен режим против компьютерного бота, работающего довольно примитивно. Pong –

---

хороший пример видеоигры, которая требовала от игрока совершения продуманных действий для эффективного отбива мячика, чтобы вследствие попасть в чужие «ворота».

Pong требовал от игрока навыков, чтобы побеждать соперника. К счастью, на этой игре развитие индустрии видеоигр не остановилось. 6 июня 1984 была выпущена популярная, даже в наши дни, видеоигра Tetris. Мало кто не мог слышать об этой игре. Она развивает у детей логическое мышление, учит просчитывать игру на несколько ходов вперёд, а также улучшает скорость реакции. В Tetris играли и продолжают играть разные поколения. Эта видеоигра не потеряла свою популярность даже спустя более 30 лет.

Почему же видеоигра Tetris оказалась столь привлекательной? Успешно складывает кирпичики разных форм, игрок получает три вида обратной связи: визуальную (игрок с удовлетворением наблюдает за исчезновением заполненных рядов), количественную (отображаемый на видном месте счет непрерывно увеличивается) и качественную (ощущает неуклонное повышение сложности игры). По индикаторам на экране игрок ощущает своё влияние на игру. Кроме того, он видит, что игровая система чрезвычайно внимательна к его игровой активности. Игра усложняется только тогда, когда он хорошо играет. В процессе игры, люди замечали, что они смогли избавиться от плохих мыслей и неприятных воспоминаний. Настолько отвлекались на игровой процесс, что все волнения забывались в один миг.

«Учитывая, что подростковый возраст наиболее сенситивный для формирования нравственных установок, касающихся «Я – концепции», мы допускаем, что правильный выбор компьютерных игр позволит сформировать особое отношение ребёнка к образам: «Я – реальное», «Я – идеальное». Так как компьютерные игры позволяют реализовать творческие фантазии подростка и выступают своеобразным механизмом отражения уровня нравственной воспитанности. Избирательность влияния компьютерных игр на нравственные установки ребёнка зависит от жанра игры. К примеру, играющий в «стратегию», реконструирующую исторические эпохи и позволяющую получить игроку знания по истории, литературному чтению, математике, становится участником тех событий, усваивает нормы поведения и специфику взаимоотношений между людьми, соответствующих культуре того времени» [1, с. 239].

Речь шла только про Tetris, но у видеоигр есть разные жанры, способные обучить многому. Есть целый жанр «симулятор», который может предложить побывать кем-либо и где-либо. В наше время существует множество видеоигр, способные показать практически любую рабочую деятельность. Простой школьник вряд ли прямо сейчас сможет стать водителем тяжелого грузовика, пилотом самолета или строителем огромного мегаполиса. Игры жанра «симулятор» предлагают это прямо здесь и сейчас. Игры этого жанра порой ставят совсем непростые задачи для игрока, но от этого интерес к ним становится не меньше. Опять же рассказываем только об одном жанре, а теперь вспомним, что количество жанров игр насчитывает десятки различных типов. При этом абсолютно у каждого жанра есть миллионы фанатов по всему миру.

В 2009 году учёные провели исследование влияния компьютерных игр, которое проходило в видеоигре «Super Mario Bros.», выпущенной в 1983 году. По условиям игры, чтобы пройти уровень, необходимо перепрыгивать различные препятствия. Через несколько дней учёные решили посмотреть результат, который оказался очень интересным. У всех игроков развилась способность ориентации в пространстве, логика, стратегическое планирование. Также улучшилась память, поскольку для прохождения некоторых уровней, действительно приходилось многое запоминать. Ещё было обнаружено умение быстро принимать решения и очень быстрая реакция. Большинство современных видеоигр развивают именно эти навыки.

«Наиболее востребованными жанрами компьютерных игр среди студентов являются шутеры и стратегии. Респонденты, принявшие участие в опросах, предпочитают игры разного уровня сложности, но наименее востребован такой вид игр, как казуальные – наиболее простые, не требующие сильной мозговой активности и глубоко продуманных

---

стратегических решений. Любимыми играми среди студентов являются игры многопользовательского режима, а именно, такие как Dota 2 и Counter-Strike: Global Offensive. Для большинства респондентов самым важным в играх является совокупность все основных составляющих компьютерных игр, то есть совокупность сюжета, геймплея и визуализации. Если рассматривать эти составляющие отдельно, то только для одного человека из всех опрошенных визуализация является приоритетной составляющей» [5, с. 335].

Подведём итоги. Компьютеры помогают нам во всём, облегчая нашу жизнь. Без них современному человеку никуда. Так же и с видеоиграми, поскольку большинство из них призваны обучить нас чему-то, ведь если обучение происходит в форме игры – это очень хорошо для получения новых знаний. Игры дают толчок нашему воображению, заставляя наш головной мозг широко думать. Что мы имеем: 1. В видеоиграх есть и преодоление препятствий, и взаимодействие с игровыми персонажами. Мир сложный, но его интересно изучать. 2. Видеоигры тренируют концентрацию внимания, многие функции мышления. 3. Компьютерные игры помогают справиться со стрессом. Забыть о каком-либо волнении. Получить хорошее настроение в случае победы.

Если и что-то обсуждать о вреде компьютерных игр, то он всегда связан с неумеренным использованием. Мы слышали много техник безопасности при работе за компьютером: делать перерывы раз в полчаса и вообще проводить время за играми не более двух часов в день. В Китае по этому поводу есть закон, который запрещает несовершеннолетним играть в компьютерные игры не более трёх часов в неделю. Родителям нужно правильно подобрать игру для ребёнка и сделать упор в сторону развивающих игр. И не стоит забывать о других увлечениях. Есть много видов деятельности для школьников и студентов: чтение книг, занятия спортом и так далее. Компьютерные игры – здорово, если они не мешают здоровому сну.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Давлетшин Д.М. Компьютерные игры как фактор нравственного развития школьников // аспирант Ульяновского государственного педагогического университета им. И.Н. Ульянова, с. 237-242
2. Ерогова И.С. Компьютерные игры в обучении. // ВЕСТНИК НАУКИ И ТВОРЧЕСТВА / Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, с. 17-22
3. Сульгина Е.Г., Вьюхина А.К. Компьютерные игры как инструмент обучения, их роль в саморазвитии учащегося // ВЕСТНИК НАУКИ И ОБРАЗОВАНИЯ № 6(18) 2016 / Муниципальное автономное общеобразовательное учреждение Средняя общеобразовательная школа № 112 с углубленным изучением информатики, г. Новокузнецк, с. 102-105
4. Савкин А.Е., Архипова М.В. Применение компьютерных игр в обучении английскому языку // Мир науки. Педагогика и психология 2020, №6, Том 8 / ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный педагогический университет имени Козьмы Минина» Нижний Новгород, Россия, с. 1-7
5. Кряжева Е.В., Виноградская М.Ю., Беляев К.В // ИЗУЧЕНИЕ ПРЕДПОЧТЕНИЙ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ КОМПЬЮТЕРНЫХ ИГР / Калужский государственный университет имени К.Э. Циолковского, с 334-337

## VR-ТЕХНОЛОГИИ: ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ И ВНЕДРЕНИЯ

Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени ФГБОУ ВО «Московский технический университет связи и информатики», г. Ростов-на-Дону, Россия

Ключевые слова: инновации, VR, виртуальная реальность

В статье исследуются перспективы развития vr-технологий, их техническая специфика и прикладные возможности

D.O. Krutskih, I.S. Dobrovolskii, D.L. Ustimenko

## VR TECHNOLOGIES: PROSPECTS FOR DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION

North Caucasus branch of Moscow Technical University  
of Communications and Informatics, Rostov-on-Don, Russia

Keywords: innovation, VR, virtual reality

The article explores the prospects for the development of VR technologies, their technical specificity and application capabilities

VR одна из инновационных технологий, которая была создана в 40-х годах XX века. Но не так давно она начала активно развиваться в нашем мире. Начнём с важного вопроса. Что же такое VR? Как отмечает в своей статье В.А. Кузнецов: «VR (виртуальная реальность, virtual reality) – совокупность технологий, с помощью которых можно создать искусственный мир, физически не существующий, но ощущаемый органами чувств в реальном времени в соответствии с законами физики. Виртуальные объекты и субъекты, созданные техническими средствами, влияют на человека через его ощущения: обоняние, чувство равновесия и положения в пространстве, осязание, зрение, вкус, слух» [2, с. 75]. Она имитирует как воздействие, так и реакции на воздействие. Для создания убедительного комплекса ощущений реальности компьютерный синтез свойств и реакций виртуальной реальности производится в реальном времени. Благодаря чему, человек может погрузиться в «несуществующий мир» или же «виртуальный мир». Под этим понятием подразумевают замену визуального и звукового окружения реального мира, на другие, виртуальные. Основная задача – создание компьютерных звуков и изображений и при помощи VR-шлема, наушников, трекингов, других гаджетов, способных заменить реальность симуляцией. Если говорить про техническую составляющую VR, то в нем расположены две линзы, которые получают картинку (360 градусов) с устройства и разделяют её для левого и правого глаза. Сами очки разделяют изображение двух глаз специальной перегородкой, чтобы пользователь не видел края экрана своим боковым зрением. Благодаря этому, мозг обрабатывает увиденную информацию и воспринимает эти картинки как единое целое, приобретая объём.

Почему в наше время VR технологии еще недостаточно вводятся в разные сферы общества (за исключением развлекательной)? Ответ прост. Технологии на данном этапе развития еще не приспособлены для большинства сфер повседневной жизни и требуют больших усилий в развитии. В текущее время VR технологии имеют большой интерес в обществе, каждому интересно попробовать самому их возможности, поскольку это абсолютно иное для человеческого взгляда, когда человек погружается в другую реальность. И в данный момент VR технологии находятся, если не на первых ступенях, то явно и не на середине этапа развития. Но из-за больших рисков потерять капиталовложения

---

никто не спешит инвестировать в эту технологию, что в свою очередь сильно замедляет её развитие. Ведь доподлинно не известно, когда эта технология сможет приносить деньги. В большинстве своём эта технология развивается за счёт использования в игровой индустрии и энтузиастов.

Отмечая плюсы VR, сложно не подметить возможность «погружения», что в свою очередь играет хорошо роль в таких отраслях, как медицина, обучение (как образовательное, так и тренировочное), коммуникационность, туризм и остальные. В медицине: пациенты, погруженные в виртуальную реальность и проходящие болезненные процедуры, воспринимают только 50% неприятных ощущений. Это может позволить в будущем снизить количество используемых обезболивающих, а, следовательно, и появления зависимости от наркотических препаратов. Говоря про медицинский персонал, они смогут тренироваться в проведении операций на виртуальном человеке, позволяя практиковаться и получать гораздо больший результат, чем тот, который можно получить при тренировке на манекене. Например, М. М. Волюнов отмечает, в своей статье что «Многочисленные стартапы также используют виртуальную реальность для лечения психических расстройств – от фобий до ПТСР» [1]. Что означает возможность использования VR технологий также и для лечения психически больных. Также VR можно использовать в туристических или трансляционных целях, что и отмечает в своей статье А.Ю. Тычков: «Спортивный канал Fox Sports Eredivisie, посвященный голландской футбольной лиге, провел первую в истории трансляцию матча Фейеноорд – Эйнховен с использованием систем VR компании BeyondSports. За событиями на поле пользователь может наблюдать глазами вратаря, нападающего или полузащитника» [3, с. 9]. В учебной сфере VR помогает куда лучше преподнести материал и показывать наглядно те или иные события. Говоря про тренировочную отрасль, благодаря VR военная армия способна проходить тренировки, которые в реальной жизни трудно реализовать, и тренировка в подобных ситуациях может помочь в развитии быстрого мышления у людей разных направлений. А также им смогут помогать инструктора и сам VR, показывая, к примеру, как поступил другой специалист результат которого лучше. Можно приводить много деятельных сфер в которых VR ускорит, улучшит и упростит работу.

Но есть и минусы. Первый – это стоимость проекта. Как отмечалось, достаточно легко «прогореть», трудно найти бизнесмена, который пойдет на подобные риски какую бы сказочную прибыль это не сулило, так как VR относительно новый продукт на рынке от него может не быть нужного эффекта на первых парах, ведь техника для VR стоит дорого (средняя стоимость оборудования ~ 50.000₽). Поэтому основным мотивом развития данной технологии сегодня являются компании, которые занимаются играми и одним товаром из их ассортимента являются VR игры. Также серьёзны минус, вред здоровью. Неизвестно, произведёт ли фурор VR в будущем, но на данный момент эти технологии приносят значительный вред зрению и организму. Нахождения дисплея и контакт её матрицы на оболочку глаз человека очень пагубно влияет на глаза. Так же, в частности, прослеживается у людей тошнотворность во время VR опыта, из-за чего, даже, при большом желании не захочется рисковать здоровьем. Такое явление получило название «болезнь виртуальной реальности», её симптомы напоминают укачивание. Но помимо всего вышеперечисленного одна из главных проблем для потребителя это надобность в некоторых случаях свободного пространства и огромное кол-во проводов, что затрудняет свободу действий. Если же эта технология достигнет нужного технического развития, откроется огромный простор для её использования во многих сферах жизни

VR технологии в целом и VR-игры в частности все больше становятся неотъемлемой частью досуга людей. Сейчас его популярность растёт в геометрической прогрессии, но что будет через 5-10-15 лет? Говоря про то, что стоит нам ожидать, так минимум улучшение качества картинки и звука. VR будет выдавать гораздо большее разрешение и герцовку, что поможет расширить сферу применения технологии виртуальной реальности. Небезосновательно делается предположение, что наиболее востребованной она станет в

---

игровой индустрии, потому как обеспечит максимальный уровень реалистичности происходящего. Но сейчас, такой рендеринг картинки находится за пределами возможностей самых мощных бытовых компьютеров. Говоря про звук, то функция персонализированной передачи звука в зависимости от положения головы (head-related transfer functions - HRTF) улучшит его реалистичность. Текущее решение для трёхмерного звука Rift генерирует HRTF в реальном времени на основе трекинга головы, но оно создано усреднённым для всех пользователей сразу. Функция HRTF должна варьироваться в зависимости от размеров туловища и головы, формы ушей — это выведет качество звука и погружения на новый уровень. Подобная технология уже используется в гарнитурах для компьютеров, пришла пора внедрить ее и в VR. Говоря про новые возможности, можно почти с полной уверенностью сказать, что в будущем будут доступны трекинги рук без перчаток и контроллеров, а также беспроводные шлемы, что гораздо упростит использование и добавит новую ступень в этапе развития. Конечно, это выглядит сейчас чем-то фантастическим. Но на деле это лишь дело времени. Это не только усилит погружение, но и облегчит его за счёт уменьшения веса оборудования. Ещё не менее важная вещь, это цена. Может она и не сильно уменьшится за счёт больших возможностей и характеристик, но явно не подорожает на большой процент.

По нашему мнению, VR технологии в будущем станут более доступными. Возможно, через пару десятков лет VR-технологии выйдут на пик развития и станут обыденностью для каждого из нас.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волынов М.М., Китов А.А., Горячкин Б.С. ВИРТУАЛЬНАЯ РЕАЛЬНОСТЬ: ВИДЫ, СТРУКТУРА, ОСОБЕННОСТИ, ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ // E-Scio. 2020. №5 (44). с. 795-812.
2. Кузнецов В.А., Руссу Ю.Г., Куприяновский В. П. Об использовании виртуальной и дополненной реальности // International Journal of Open Information Technologies. 2019. №4. с. 75-84
3. Тычков Александр Юрьевич, Волкова Кристина Юрьевна, Киселева Дарья Вячеславовна, Родионова Екатерина Алексеевна ОБЗОР СИСТЕМ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ // Известия вузов. Поволжский регион. Технические науки. 2020. №2 (54). с. 3-13

**А.В. Бородин, С.А. Докучаев, Б.Б. Конкин, Н.О. Светличная**

#### **ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ**

Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени ФГБОУ ВО «Московский технический университет связи и информатики», г. Ростов-на-Дону, Россия

Ключевые слова: Цифровые технологии, интерактивные программы, контрольно-обучающая программа, многоуровневое обучение, численный эксперимент, лабораторный практикум.

В статье описывается возможность использования цифровых технологий в лабораторном практикуме. Демонстрируются пути освоения конкретной темы студентами в зависимости от их индивидуальной подготовки.

## DIGITAL TECHNOLOGIES AND A LABORATORY WORKSHOP

North Caucasus branch of Moscow Technical University  
of Communications and Informatics, Rostov-on-Don, Russia

Keywords: Digital technologies, interactive programs, control and training program, multilevel training, numerical experiment, laboratory workshop.

The article describes the possibility of using digital technologies in a laboratory workshop. The ways of mastering a specific topic by students, depending on their individual training, are demonstrated.

Цифровые технологии, бесспорно, стимулируют развитие интеллектуального потенциала в любой области современного общества. Не остается в стороне и сфера образования, в которой цифровизация на современном этапе предполагает использование цифровых технологий во всех процессах. Это оказывает существенную помощь как преподавателям, избавляя их от рутинной работы, так и студентам, позволяя многократно повторять проделанное и все более глубоко осваивать изучаемый материал.

Лабораторный практикум, являясь одной из составляющих и в то же время неотъемлемой частью процесса изучения соответствующей дисциплины и подготовки высококвалифицированных специалистов, требует к себе особого внимания, поскольку демонстрирует объективную истину справедливости законов природы.

Лабораторный практикум представляет собой связующее звено между теорией и ее применением в профессиональной деятельности. Лабораторный практикум является самой эффективной формой практического обучения, поскольку наиболее полно способствует освоению студентами образовательной программы и, вместе с этим, способствует формированию у них многообразия различных компетенций за счет выполнения реальных практических задач.

При разработке компьютерных технологий применительно к лабораторному практикуму необходимо использовать многофункциональность компьютеров, полагая, что это не только измерительный прибор, но и генератор, и регистратор, и т.д. Во-вторых, компьютер может быть использован как математическое приложение, позволяющее упростить обработку результатов. И, в-третьих, компьютер – это справочник, содержащий не только описание лабораторных работ и систему тестов, но и теоретический материал по изучаемой тематике.

Компьютер так же должен выступать как помощник преподавателя по контролю базовых знаний студента. Такой контроль может осуществляться с помощью несложных тестовых заданий. Например, это может быть предварительный допуск к выполнению студентами лабораторных работ. Такой допуск должен предшествовать непосредственному общению студента с преподавателем, что позволит сосредоточить внимание сторон на наиболее важных деталях выполняемой работы.

Особо следует отметить использование контрольно-обучающих программ, позволяющих решить одну из основных проблем в процессе образования – проблему мотивации студентов к изучению соответствующей дисциплины на разных уровнях обучения. Важнейшим здесь представляется реализация многоуровневых траекторий обучения [1] с возможностью перехода между ними.

Ниже представлена одна из возможностей формирования программы по лабораторному практикуму, главным элементом которой является компьютерная модель, позволяющая наглядно представить и достоверно отражать рассматриваемые процессы. Диапазон регулируемых параметров позволяет получать достаточно большое и разнообразное количество экспериментальных данных. Такие модели помогают

---

пользователю глубже понять и усвоить суть реальных явлений и процессов. Кроме этого, программа содержит исследовательский, контрольно-обучающий и теоретический модули.

Вначале студент должен выполнить исследовательские задания, успешное преодоление которых является, по сути, допуском к самой лабораторной работе. Для этого программа включает в себя соответствующую компьютерную модель и тренажер. Исследовательские задания могут использовать несколько уровней сложности, начиная с программ в игровой форме и заканчивая серьезными качественными вопросами, направленными на углубление понимания теории и особенностей рассматриваемого процесса или явления и знакомство с интерфейсом.

Моделирование процессов – это основной интерактивный контрольно-обучающий модуль программы, содержащий порядка десяти контрольных заданий. Тренажер этого модуля содержит систему инструментов, задающих исходные параметры; динамические строящиеся графики и таблицы, информирующие о ходе процесса; диалоговое окно, служащее для получения оценки, комментариев и конкретных заданий. Студент также может воспользоваться вспомогательными функциями, такими как калькулятор, для выполнения экспресс вычислений, основными формулами к конкретной лабораторной работе, или теоретическим блоком программы, где подробно излагается теория рассматриваемого явления. Наряду с этим, пользователю предоставляется возможность самостоятельно собирать виртуальную установку или схему.

Контрольные задания, количество и сложность которых выбирается студентом самостоятельно, требуют от него получения конкретного численного ответа на поставленные вопросы и, вместе с этим, определяют степень усвоения материала обучающимся. Исходные параметры контрольных вопросов задаются генератором случайных чисел. Программа предусматривает возможность получения правильного ответа несколькими способами: аналитическим, графическим и интуитивным. Для использования последнего способа студент должен четко понимать сущность рассматриваемого процесса, уметь “читать” графики и анализировать информацию на панели текущих параметров. Оценка выполнения лабораторной работы производится по рейтинговой системе, учитывающей уровень сложности выбираемых студентом заданий и количество попыток для получения верного ответа.

Каждая программа позволяет студенту индивидуально подобрать траекторию обучения в зависимости от его подготовленности и желания. Вместе с этим, студент, варьируя сложность заданий, может перейти на более высокий уровень траектории обучения.

Возможность диагонального и вертикального перемещения по всей программе представляет пользователю самостоятельно как усложнить, так и упростить выполняемое задание, пытаясь понять суть рассматриваемого явления, и тем самым улучшить свою оценку.

Сегодня цифровую образовательную среду можно создать и на базе систем управления обучением (Learning Management System, LMS), наиболее распространенными из которых являются LMS Moodle и LMS MasterStudy.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сафронов В.П., Конкин Б.Б. Интерактивная среда – инструмент современного обучения // Открытое образование: науч.-практ. журнал / Москва. – 2011. – № 4(87), с. 11 – 18.

## РАБОЧЕЕ МЕСТО ТЬЮТОРА ДЕТСКОГО РАЗВИВАЮЩЕГО ЦЕНТРА

Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени ФГБОУ ВО «Московский технический университет связи и информатики», г. Ростов-на-Дону, Россия

Ключевые слова: десковое приложение, Visual Studio, язык C#, базы данных.

В статье описано приложение для учета проведенных занятий и обучающихся детей в детском развивающем центре. Приложение создано в среде программирования Visual Studio. Отличительными особенностями программного продукта, в первую очередь, является наличие базы данных и оптимальный поиск.

A.S. Nemekhov, P.V. Lobzenko

## WORKPLACE OF THE TUTOR OF THE CHILDREN'S DEVELOPMENT CENTER

North Caucasus branch of Moscow Technical University  
of Communications and Informatics, Rostov-on-Don, Russia

Keywords: desktop application, Visual Studio, C# language, databases.

The article describes an application for accounting for the classes held and the children studying in the children's development center. The application was created in the Visual Studio programming environment. Distinctive features of the software product, first of all, are the presence of a database and optimal search.

Статья посвящена решению задачи планирования работы тьютора детского развивающего центра.

Такие задачи возникают в организациях дополнительного образования, работающих с детьми, где обязанности тьютора и администратора, традиционно совмещаются.

В самом широком понимании планирование – это неотъемлемая часть любого руководства, когда нужно выполнить что-то к поставленному сроку.

Еще одним направлением, где очень важно планирование и контроль за выполнением поставленных задач, это совместное выполнение проектов или совмещение обязанностей. Когда в проекте много задач и подзадач, то в дополнение к планированию, необходимы средства наглядного отображения состояния решаемых задач. С другой стороны, когда обязанности тьютора – это, фактически, проведение занятий в игровой форме, а для администратора характерны учетные процессы.

Не для кого ни секрет, что люди мыслят образами или картинками [1]. Тогда проще и легче контролировать выполнение задач, анализировать полученные результаты и принимать решения.

В известных сейчас подходах к планированию и визуализации процессов выполнения задач отсутствуют средства и методы, стимулирующие рабочий процесс по реализации планов. Одним из таких способов является игровой момент, когда сам процесс планирования представляется в виде игры, где за выполнение задач начисляются баллы. Очевидно, что использование игровых ситуаций, привычных пользователю, в обучении и повседневной деятельности значительно повышает эффективность выполнения решаемых задач [2].

Т.о., разработка приложения для автоматизации рабочих процессов тьютора детского развивающего центра является актуальной.

Разработка любого программного продукта состоит из двух основных этапов – проектирования структуры и его составных частей, и непосредственно его

программирование, т.е. написание программного кода. Необходимо, так же, спроектировать базу данных, как основу приложения. Далее, для конкретной базы данных программируются управляющая оболочка и пользовательский интерфейс. В заключение, нужно разработать модуль визуализации планирования в организации.

Логическую схему данных всей базы данных решаемой задачи в формате MS Access показана на рисунке 1.

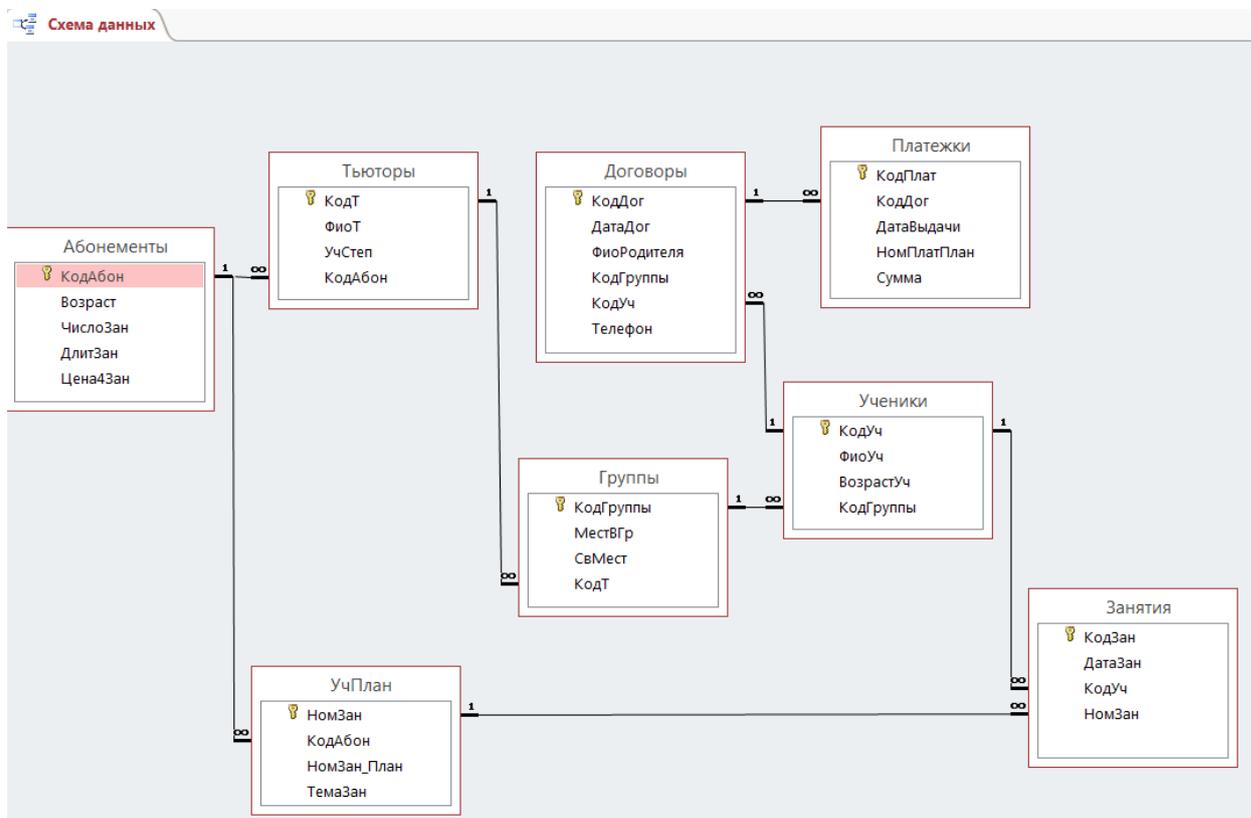


Рисунок 1. Схема данных в формате MS Access

Главный модуль приложения должен управлять базой данных. Значит его состав должен полностью повторять все таблицы базы данных (в соответствии с рисунком 1).

В дополнение к этому, нужны компоненты, с помощью которых можно вносить изменения в таблицы базы данных.

Поэтому, проект выполнен на языке программирования C#, вариант - Windows Form и его состав показан в соответствии с рисунком 2.

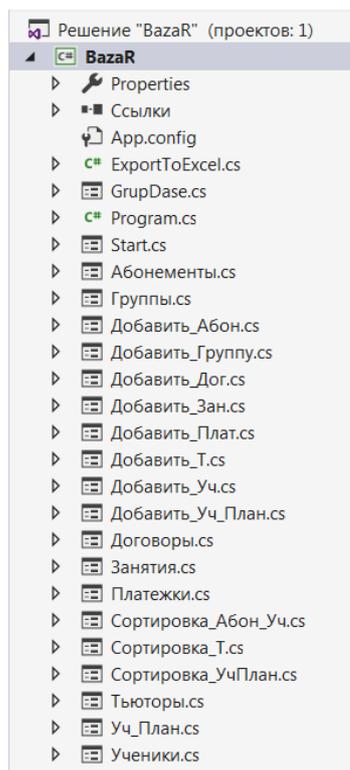


Рисунок 2. Состав модуля для управления базой данных

Внешний вид формы для управления базой данных показан в соответствии с рисунком 3.

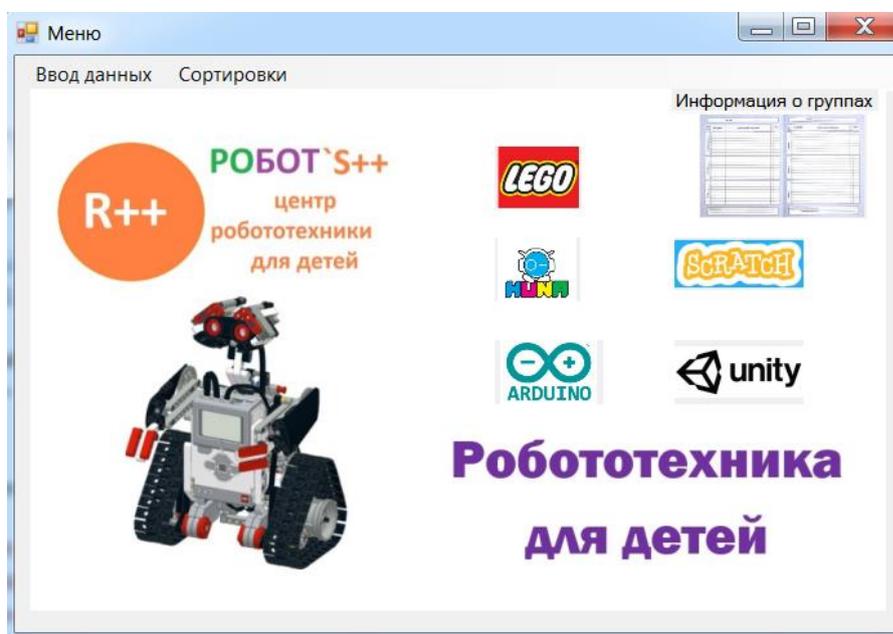


Рисунок 3. Главная форма модуля приложения

Идея создания этой формы состоит в том, чтобы при запуске модуля приложения отрывалась бы эта форма со списком всех задач отдела организации. Поэтому на эту форму помещен элемент управления radioButton1, который блокирует comboBox2 и отображает все задачи, а не одну из них (в соответствии с рисунком 3). Еще одной функцией этой формы является обращение к остальным формам приложения через выпадающее меню

---

(ToolStripMenuItem), поэтому код этой формы содержит, в основном, операторы с объектами других форм приложения (в соответствии с листингом 1).

#### Листинг 1. Фрагмент кода формы Vaza

```
private void организацииToolStripMenuItem_Click(object sender, EventArgs e)
{
    Otdel ob = new Otdel();
    ob.Show();
}
```

Листинг 1 – Продолжение

```
private void сотрудникиToolStripMenuItem_Click(object sender, EventArgs e)
{
    PiplWorks ob = new PiplWorks();
    ob.Show();
}
```

```
private void товарыToolStripMenuItem_Click(object sender, EventArgs e)
{
    Price ob = new Price();
    ob.Show();
}
```

```
private void услугиToolStripMenuItem_Click(object sender, EventArgs e)
{
    Zadachi ob = new Zadachi();
```

```
    ob.Show();
}
```

```
private void категорииToolStripMenuItem_Click(object sender, EventArgs e)
{
    Klincecs ob = new Klincecs();
    ob.Show();
}
```

Разработанный программный продукт обладает следующими преимуществами:

1. Реализует эффективный способ визуализации планирования.
2. Воплощает игровой элемент поощрения выполнения поставленных задач.
3. Обладает дружественным пользовательским интерфейсом.
4. Предоставляет исчерпывающую информацию по выполняемым проектам.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Наглядно-образное мышление. URL: <https://www.psychologos.ru/articles/view/naglyadno-obraznoe-myshlenie>. (дата обращения: 21.10.2021).
2. Применение обучающих программ на игровых платформах для повышения эффективности образования. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primeneniye-obuchayuschih-programm-na-igrovyih-platformah-dlya-povysheniya-effektivnosti-obrazovaniya>. (дата обращения: 21.10.2021).
3. Четырнадцать Принципов Дао Toyota. URL: [https://www.cfin.ru/management/practice/14\\_principles.shtml](https://www.cfin.ru/management/practice/14_principles.shtml). (дата обращения: 21.10.2021).

## **ПРИЛОЖЕНИЕ С ИГРОВЫМИ ЗАДАНИЯМИ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ЯЗЫКА ПРОГРАММИРОВАНИЯ**

Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени ФГБОУ ВО «Московский технический университет связи и информатики», г. Ростов-на-Дону, Россия

Ключевые слова: Unity приложение, игровые задания, Visual Studio, язык C#, самостоятельное изучение языка программирования.

В статье описано приложение для обучения программированию на выбранном языке с помощью игровых заданий. Приложение создано в среде программирования Visual Studio, а задания – в игровом движке Unity. Отличительными особенностями приложения является то, что такого вида задания способствуют большей вовлеченности и заинтересованности обучаемых в самом процессе обучения, что повышает качественное восприятие нового материала при обучении программированию.

**V.L. Box, P.V. Lobzenko**

## **AN APPLICATION WITH GAME TASKS FOR LEARNING A PROGRAMMING LANGUAGE**

North Caucasus branch of Moscow Technical University  
of Communications and Informatics, Rostov-on-Don, Russia

Keywords: Unity application, game tasks, Visual Studio, C# language, independent learning of a programming language.

The article describes an application for teaching programming in the chosen language using game tasks. The application was created in the Visual Studio programming environment, and the tasks were created in the Unity game engine. The distinctive features of the application is that this type of task contributes to greater involvement and interest of trainees in the learning process itself, which increases the qualitative perception of new material when teaching programming.

В разработанном программном продукте есть две сильные стороны инновационных способов обучения: игровые задачи и удобное размещение контента в облачном хранилище.

Сейчас, безусловно, все стороны жизни и деятельности человека настроены на использование Интернет-ресурсов или разработок, которые так или иначе используют их. Тем более, в обучающих приложениях, которые основаны на Интернет ресурсах.

Поэтому, в сети представлено много ресурсов различного уровня, используемых для обучения:

- различные тесты и проверяющие программы, что контролируют и измерения уровень знаний, умений и навыков обучающихся;
- электронные учебники;
- электронные практикумы;
- экспертные средства для самообучения.

Все равно, есть необходимость разработать приложение для обучения программированию посредством метода визуализации, основанное на не совсем обычных интересных заданиях. Тем более, что пользователи в процессе самостоятельной работы получают доступ к материалам, подобранным оптимально с точки зрения освоения программирования на выбранном машинном языке.

Поясним кратко метод визуализации, который может использоваться в процессе самостоятельного обучения программированию.

Визуализация — общее название приёмов представления числовой информации или физического явления в виде, удобном для зрительного наблюдения и анализа [8]. Следовательно, существуют доказательства того, что наш мозг не различает разницы между действительным и воображаемым.

Поэтому, используя визуальные образы – предметы, помещенные в 3-х мерном пространстве, обучаемый имея задачу передвинуть их с помощью программы, или еще как-то организовать их взаимодействие, увлекается этим процессом и осваивает значительно больше материала, по сравнению с чисто математическим вариантом решения подобной задачи. На этом и основан главный эффект от использования этого приложения в обучении.

Этот программный продукт включает контент по изучаемому языку программирования и контроллер для управления им.

Логика управляющей программы следующая.

После запуска приложения в стартовом окне можно перейти либо к практикуму и к теории, а также к шаблонам решения заданий, либо закрыть каждую из вкладок. Т.е., обучающийся может выбрать форму изучения материала. При этом, он может использовать теоретические материалы, темы и задания к ним, которые размещаются на Интернет - ресурсах. Шаблоны решений практических заданий отображаются в отдельных окнах приложения.

В качестве инструментария для реализации приложения выбран игровой движок Unity. Так проект скомпонован из отдельных модулей - сцен в терминологии Unity [2]. Это просто и удобно, т.к. переходя между ними можно осваивать теорию и практику.

В этом варианте под сценой понимается контекст или исходное расположение всего, что участвует в действиях, связанных с решением поставленных задач. Это могут быть персонажи, или просто обстановка, которая соответствует чему-либо.

Для разработанного приложения, это будут элементы интерфейса (UI-user interface): кнопки для переключения сцен и обучающих материалов, а также текст для вывода на форму приложения описательной информации.

Для размещения элементов управления используется панель выбранного цвета. Первая стартовая сцена приложения показана на рисунке 1.

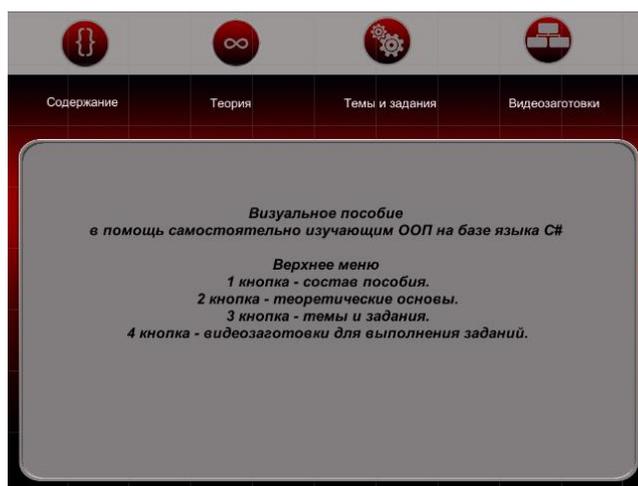


Рисунок 1. Стартовая сцена приложения

Здесь кнопки управления реализованы в слоях, которые невидимы до нажатия на кнопку «Содержание».

«Невидимость» можно сделать программно или с помощью свойств объектов, составляющих стартовую сцену приложения (рисунок 2).

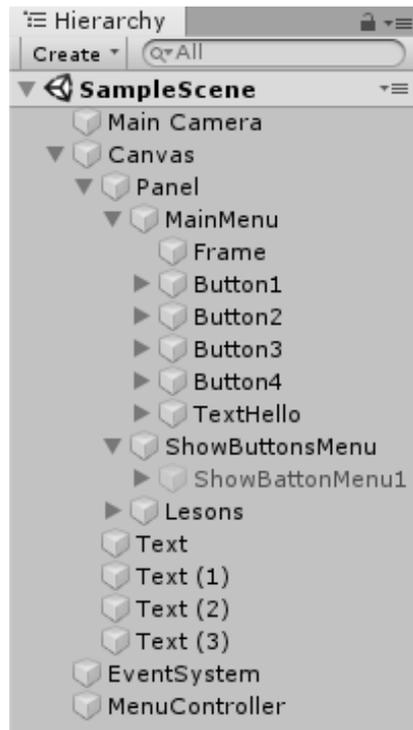


Рисунок 2. Состав стартовой сцены приложения

Для того, чтобы объекты, находящиеся в любой из сцен проекта, выполняли требуемые действия (при нажатии на кнопки что-то происходило) нужно в редакторе Visual Studio на языке C# составить скрипт и прикрепить его к одному из объектов на сцене [3]. Управляющие скрипты, в свою очередь, представляют собой классы, наследующие свойства самого большого класса MonoBehaviour. В их состав входят библиотеки, глобальные переменные и методы для реализации логики интерфейса.

Так, например, для перехода к требуемой сцене проекта используется метод запуска определенного объекта, в данном случае, сцены.

Листинг 1. Фрагмент кода управляющего скрипта

```
public void Button2()
{
    Application.LoadLevel("Sc1");
}
public void Button3()
{
    Application.LoadLevel("Sc2");
}
public void Button4()
{
    Application.LoadLevel("Sc3");
}
```

В соответствии с этим листингом нужная сцена, например, Sc2 открывается с помощью метода LoadLevel("Sc2"), который находится в классе Application.

Т.о., сцены составляются как отдельные проекты в Unity. В них помещаются трехмерные графические фигуры – примитивы (куб, цилиндр, сфера и т.д.) (рисунок 3).

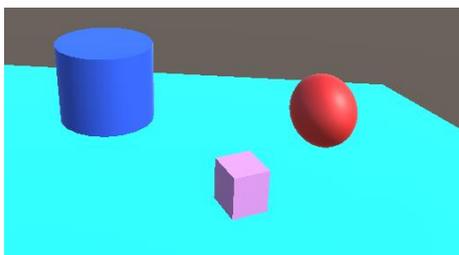


Рисунок 3. Визуальный шаблон для выполнения заданий

Перейдя в третий раздел приложения можно запустить одну из видео-заготовок (рисунок 4).



Рисунок 4. Раздел видео-заготовок

Т.о., используя готовые шаблоны, обучающиеся решают определенные игровые задачи и вовлекаясь в этот процесс более глубоко осваивают учебный материал.

Разработанный программный продукт снабжен:

- простым и понятным пользовательским интерфейсом с наглядными кнопками навигации;
- возможностью использования в любой операционной системе и на мобильных устройствах;
- возможностью оперативного внесения изменений в имеющийся материал контента;
- удобством и наглядностью навигации по учебным ресурсам, быстрым доступом к искомым разделам, объектам электронного пособия;
- возможностью разработки собственных игровых приложений, используя видео-заготовки пособия;
- реализацией метода визуализации посредством готовых визуальных моделей, которые программирует пользователь самостоятельно.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Метод визуализации: раскрываем все секреты работы. 3 важных момента. URL: <https://omkling.com/metod-vizualizacii-2/>. (дата обращения: 06.10.2021).
2. Хокинг Дж. Unity в действии. Мультиплатформенная разработка на C# / Пер. с англ. И. Рузмайкиной. — СПб.: Питер, 2016. — 336 с.
3. Краткое описание Visual Studio URL: <http://habrahabr.ru>. (дата обращения: 06.10.2021).

## WEB ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ЗАЯВОК ТОРГОВЫХ ТОЧЕК МАЛОГО БИЗНЕСА

Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени ФГБОУ ВО «Московский технический университет связи и информатики», г. Ростов-на-Дону, Россия

Ключевые слова: база данных Access, Visual Studio, язык C#, web приложение.

В статье разработано приложение для автоматизации труда продавца-товароведа торговой точки малого бизнеса. Приложение состоит из базы данных, созданной в СУБД Access, и управляющего кода, написанного на языке программирования C#.

N.V. Arinina, P.V. Lobzenko

## WEB APPLICATION FOR PROCESSING APPLICATIONS OF SMALL BUSINESS OUTLETS

North Caucasus branch of Moscow Technical University  
of Communications and Informatics, Rostov-on-Don, Russia

Keywords: Access database, Visual Studio, C# language, web application.

The article developed an application for automating the work of a salesperson-merchant of a small business outlet. The application consists of a database created in the Access DBMS and control code written in the C # programming language.

Наряду с большими предприятиями, которые, практически, полностью автоматизированы и компьютеризированы в компаниях малого бизнеса и просто на отдельных торговых площадках все чаще используются элементы электронной автоматизации управления предприятием и движением товаров.

Сейчас, такие приложения для автоматизации рабочих мест создаются в 2-х направлениях- как многопользовательские, или как клиент-серверные приложения с базами данных (БД) или использующие БД, встроенные в офисные пакеты (например Access от Microsoft Office) [1].

При этом, эти приложения для автоматизации рабочих мест состоят из базы данных и управляющей оболочки.

В созданном приложении база данных составлена в СУБД Access.

Microsoft Access для реализации базы данных выбран потому, что:

- для его работы программы не требуются какие-либо вспомогательные серверные среды разработки;
- проект предоставляет возможности легкого дополнения и изменения, что делает его достаточно гибким;
- вся база данных находится всего в одном файле.
- СУБД Access выполняет определения, обработку и управление данными, в том числе, и для обработки больших объемов значений.

Логическая схема разработанной базы данных показана на рисунке 1.

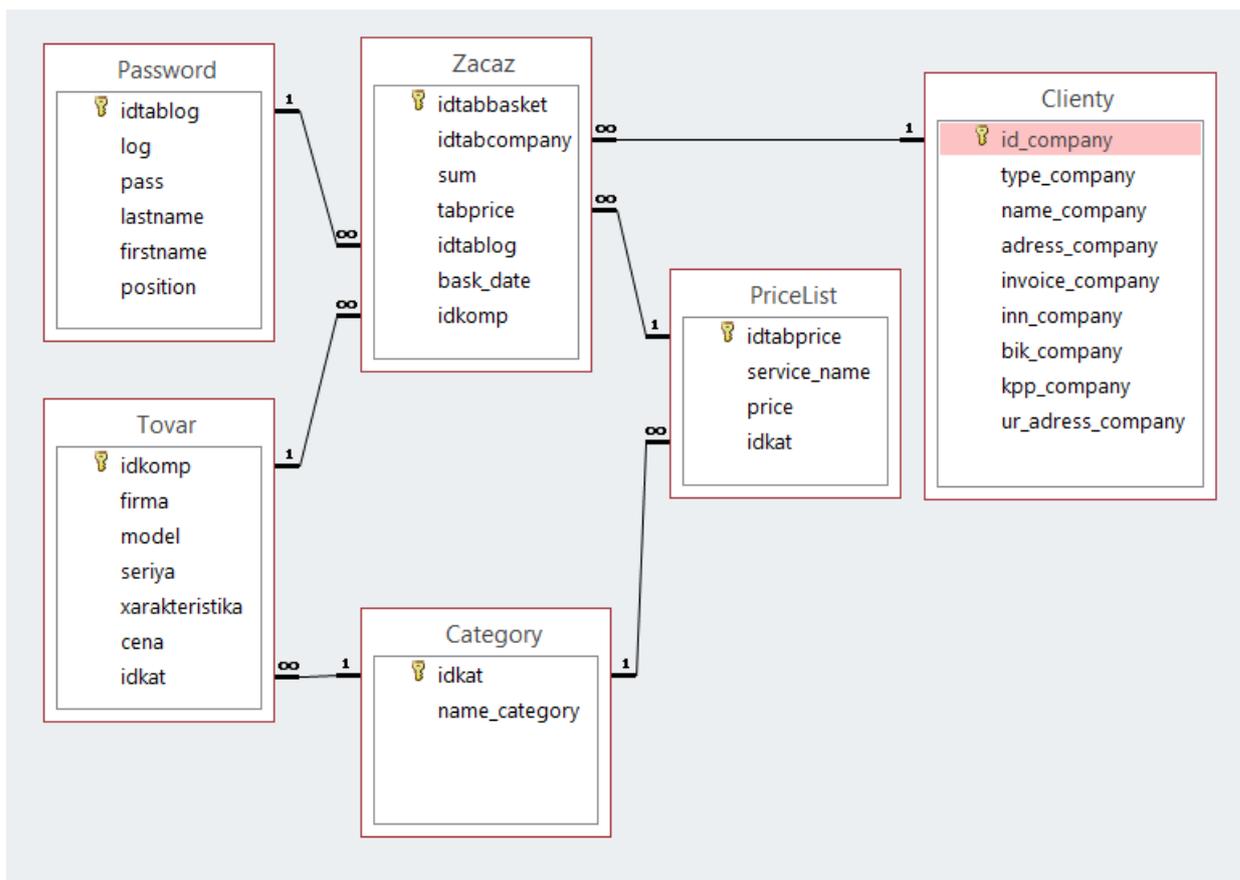


Рисунок 1. Логическая схема базы данных

Управляющая оболочка в этом приложении составлена на процедурном языке C# в редакторе Visual Studio [2,3], т.к. для подобных разработок на этом языке программирования этот редактор подходит как нельзя лучше.

В настоящее время, C# включен в семейство продуктов этой среды разработки ПО на различных языках высокого уровня – мощной интегрированной среды разработки приложений различного уровня сложности и назначения. В этом случае используется единая интегрированная среда разработки (IDE), состоящая из нескольких элементов: строки меню, панели инструментов, различных закрепленных или автоматически скрываемых окон инструментов в левой, нижней или правой областях, а также области редакторов.

Состав приложения является набором классов, каждый из которых, реализует взаимодействие с таблицами базы данных (рисунок 2).

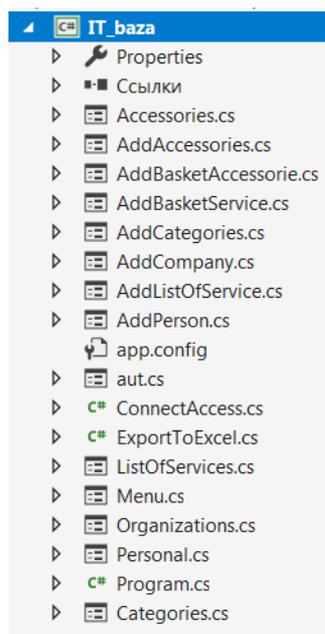


Рисунок 2. Перечень классов проекта

Основной класс, запускающий главную форму приложения, это Program, содержащий главную функцию проекта - void Main() (листинг 1).

Листинг 1. Класс для запуска проекта

```
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Windows.Forms;
namespace IT_Baza
{
    static class Program
    {
        /// <summary>
        /// Главная точка входа для приложения.
        /// </summary>
        [STAThread]
        static void Main()
        {
            Application.EnableVisualStyles();
            Application.SetCompatibleTextRenderingDefault(false);
            Application.Run(new aut());
        }
    }
}
```

Как видно, здесь запускается начальная форма приложения. Она служит для аутентификации пользователя приложения, а также для запуска формы Menu.

В классе Menu описывается состав формы и всплывающих окон и списков.

Здесь же задается вид таблиц главной формы приложения. Классы, например, Accessories и Accessories.Designer задают и разворачивают форму для задания таблицы «Товар», помещая на нем управляющие клавиши. Под одноименными названиями классы создают формы для списков клиентов, сотрудников, услуг и товаров.

В дополнение к этому, классы, названия которых начинается с приставки «Add» необходимы для задания форм с которых можно заполнять все таблицы базы данных. Это, можно сказать, сервисные классы, с помощью которых заполняются таблицы базы данных.

В отличие от них, в классе Menu, как это было указано выше, формируется форма «Журнал заказов и услуг».

Главная форма приложения показана на рисунке 3.

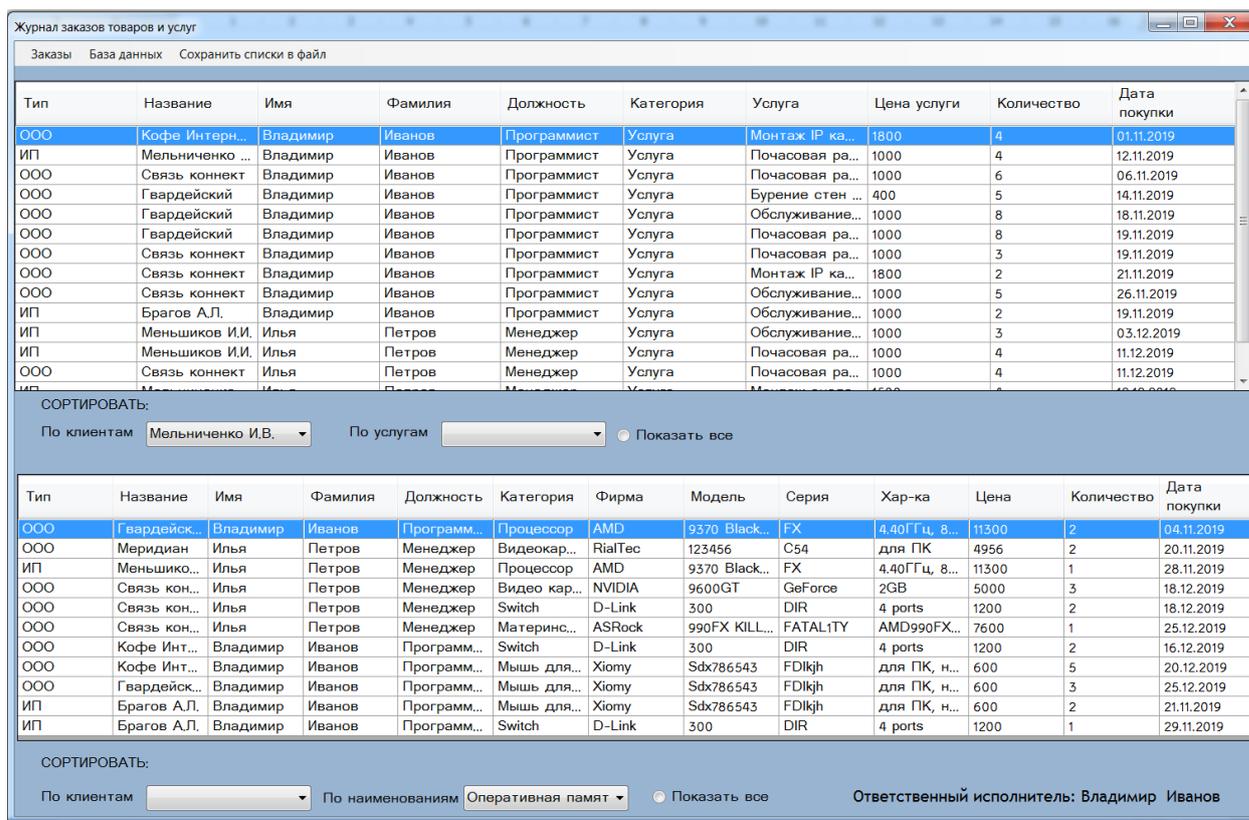


Рисунок 3. Главная форма приложения

Разработанное приложение обладает следующими преимуществами:

1. Реализует эффективный способ управления базой данных.
2. Обладает простым, понятным и удобным пользовательским интерфейсом.
3. Реализует основные рутинные функции менеджеров.
4. Полностью реализует алгоритм отправки заявки на оптовые поставки.
5. Предоставляет исчерпывающую информацию по выполняемым заявкам.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технические статьи по Access. URL: <http://msdn.microsoft.com>. (дата обращения: 25.09.2022).
2. Краткое описание Visual Studio. URL: <http://habrahabr.ru>. (дата обращения: 25.09.2022).
3. Джесс Либерти Программирование на C#. - Изд-во Символ – плюс: Москва, 2012.- 863 с.

## **АНАЛИЗ ПОДХОДОВ И МЕТОДОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ПОДГОТОВКЕ СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Российская Федерация

Ключевые слова: информационная безопасность, подготовка специалистов, программно-аппаратные стенды, виртуальные стенды, техническая защита информации.

В статье проанализирована информация о потребности в кадрах в сфере информационной безопасности, а также требованиях и стандартах при подготовке специалистов в области защиты информации. Дается сравнительный анализ используемых подходов при подготовке специалистов по информационной безопасности.

D.A. Korochentsev, A.A. Nardid

## **ANALYSIS OF APPROACHES AND METHODS USED IN THE TRAINING OF SPECIALISTS IN THE FIELD OF INFORMATION SECURITY**

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

Keywords: information security, training of specialists, software and hardware stands, virtual stands, technical protection of information.

The article analyzes information about the need for personnel in the field of information security, as well as the requirements and standards for training specialists in the field of information security. A comparative analysis of the approaches used in information security training is given.

### **Введение.**

В настоящий момент вопросы информационной безопасности в информационных системах, в частности вопросы технической защиты информации, перешли на совершенно иной уровень. Техническая защита информации приобретает все больший вес. Это обусловлено, прежде всего, активным развитием методов и средств добывания информации, позволяющих несанкционированно получать все больший объем информации на безопасном расстоянии, оснащением служебных и жилых помещений, а в последнее время и автомобилей, разнообразной электро- и радиоэлектронной аппаратурой, являющихся источниками случайных опасных сигналов. Построение эффективной системы защиты информации возможно лишь при условии наличия высококлассных специалистов в области информационной безопасности, подготовка которых является одним из приоритетных направлений в РФ.

Новейшие технологии, которые могут быть использованы для производства средств, применяемых для нелегального сбора информации, тем или иным образом подрывают информационную безопасность различных компаний, которые могут обладать информацией ограниченного распространения. Чтобы иметь возможность противостоять постоянно развивающимся средствам перехвата, необходимо постоянно модернизировать используемые системы защиты безопасности.

Мероприятия, проводимые в ходе аттестации объекта информатизации, позволяют выявить информативные демаскирующие признаки объектов защиты и наиболее полно оценить возможности перехвата защищаемой информации злоумышленником. Они

---

включают в себя испытания систем защиты информации на аттестуемом объекте с помощью специальной контрольно-измерительной аппаратуры и тестовых средств.

Для того чтобы наглядно показать методику проведения инструментального контроля для различных каналов утечки информации возможно использование виртуальных лабораторных стендов. Имитация процесса проведения измерений том или иным техническим каналом утечки информации полностью соответствует методикам их проведения и действиями оператора в соответствии с техническим описанием, что позволяет избежать использования дорогостоящих реальных программно-аппаратных стендов и возможности привести их к поломке тем или иным способом при частом использовании. Применение такого лабораторного стенда позволит существенно повысить качество образовательного процесса, а также значительно повысит уровень понимания студентом смысла и порядка проведения таких исследований, что положительно скажется на его компетентности как специалиста по безопасности. Помимо этого, существует проблема обучения специалистов в области информационной безопасности в период пандемии, то есть с при дистанционном методе обучения, которая также решается применением виртуальных лабораторных стендов. С их помощью обучающиеся смогут изучить основы и введение в проблематику технических каналов утечки информации несмотря на внешние факторы, мешающие приемлемому методу обучения на реальном оборудовании [1].

Проблемы идентификации различных утечек по техническим каналам затрагиваются во многих работах российских авторов. Но несмотря на достаточное количество исследований в области идентификации утечек информации по техническим каналам, вопросы оценки информативности тех или иных технических каналов и практической разработки виртуальных стендов и иных средств для исследования каналов утечки информации в настоящее время недостаточно изучены.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что дальнейшее исследование вопросов идентификации утечек по различным техническим каналам утечки информации объекта, разработки методов автоматизации процессов выявления утечек по техническим каналам и выработки рекомендаций по снижению информативности выявленных уязвимых технических каналов в интересах получения наиболее адекватного результата является весьма актуальным. Вследствие чего целью данного исследования является анализ актуальности разработки системы управления комплексом виртуальных лабораторных стендов по защите от утечек по техническим каналам. Для достижения поставленной в рамках данной работы цели необходимо решить следующие задачи:

- провести анализ роста потребности специалистов по защите информации за последние годы;
- провести анализ существующих требований и стандартов при подготовке специалистов в области информационной безопасности;
- провести анализ используемых подходов при подготовке специалистов по информационной безопасности.

После того, как поставленные задачи будут выполнены, на основании полученных по их итогам результатов, можно будет сделать вывод о выдвинутой гипотезе, то есть доказать её правдивость или ложность.

### **1. Анализ потребности в кадрах, требований и стандартов при подготовке специалистов в области информационной безопасности.**

Согласно исследованию, которое было проведено НИИ министерства труда России совместно с Ассоциацией защиты информации и федеральным учебно-методическим объединением потребность в специалистах по информационной безопасности значительно выросла за последний год. Суть проводимого исследования заключалась в опросе организаций по определению потребности в кадрах в области информационной безопасности [2]. Основными целями опроса являлось:

- установить степень укомплектованности организаций специалистами в области информационной безопасности;
- установить распределение специалистов по должностям и уровням образования;
- определить потребность организаций в кадрах в области информационной безопасности;
- оценка качества подготовки специалистов в области информационной безопасности;
- определение наиболее востребованных специализаций в сфере информационной безопасности.

Полученные по результатам исследования показатели потребности в кадрах в области информационной безопасности с разными уровнями образования показаны в таблице 1.

Таблица 1. Показатели потребности в кадрах по результатам исследования

	2019	2020	2021
Уровни образования	Количество чел.	Количество чел.	Количество чел.
Высшее образование бакалавриат, специалитет, магистратура	13445	12880	15200
Высшее образование – подготовка кадров высшей квалификации (аспирантура)	416	389	391
Всего высшее образование - ИТОГО	13861	13299	15591
СПО	2329	2102	2301
Профпереподготовка	3455	3032	3394
ИТОГО	19645	18433	21286

Исходя из представленных результатов 3-х годичного исследования можно сделать вывод, что средняя потребность специалистов с высшим образованием в 2021 году составляла около 15 тысяч человек, а в общем порядка 21 тысячи человек. В итоге, количество должностей, которые требуются рынку ежегодно – чуть более 20 тысяч человек. Данные цифры превышают показатели 2020 года, что говорит о повышении потребности в новых кадрах в сфере информационной безопасности.

Также по результатам данных исследований, вносятся изменения в профессиональные стандарты по информационной безопасности. Актуальный перечень стандартов состоит из следующих пунктов [3]:

- специалист по защите информации в телекоммуникационных системах и сетях;
- специалист по технической защите информации»
- специалист по защите информации в автоматизированных системах;
- специалист по автоматизации информационно-аналитической деятельности в сфере безопасности;
- специалист по безопасности компьютерных систем.

К 2022 году планируется дополнить перечень еще несколькими стандартами:

- специалист по криптографической защите информации;
- специалист по обеспечению безопасности значимых объектов критической информационной инфраструктуры топливно-энергетического комплекса;
- специалист по информационной безопасности в кредитно-финансовой сфере.

Также с течением времени и появлением новых профессий в сфере информационной безопасности растут и требования к специалистам. На основании данных собранных ведущей зарубежной компании по аналитике рынка труда Burning Glass, были определены следующие навыки, которые являются наиболее востребованными в области защиты информации:

- безопасность разработки приложений;
- облачная безопасность;

- 
- соблюдение и контроль;
  - стратегия безопасности и управления;
  - аналитика угроз;
  - конфиденциальность и безопасность данных;
  - управление доступом.

Помимо всего прочего, повышению уровня потребности в кадрах в области информационной безопасности способствует указ Президента Российской Федерации от 01.05.2022 №250 «О дополнительных мерах по обеспечению информационной безопасности Российской Федерации». Данный указ постановляет руководителям федеральных органов исполнительной власти, высших исполнительных органов государственной власти субъектов Российской Федерации, государственных фондов, государственных корпораций и иных организаций, созданных на основании федеральных законов, стратегических предприятий, акционерных обществ и системообразующих организаций российской экономики, а также юридических лиц, являющихся субъектами критической информационной инфраструктуры страны возложить на заместителя руководителя организации полномочия по обеспечению информационной безопасности, также в создать структурное подразделение, которое будет осуществлять функции по обеспечению информационной безопасности предприятия, в том числе по обнаружению, предупреждению и ликвидации последствий компьютерных атак и реагированию на компьютерные инциденты.

Таким образом, исходя из полученных данных в ходе анализа и из того, что технологии продолжают развиваться и затрагивать всё большее количество сфер деятельности, а также появляются новые виды угроз информационной безопасности, можно предположить, что необходимость в специалистах защиты информации будет продолжать расти и дальше.

## **2. Анализ используемых подходов при подготовке специалистов по информационной безопасности.**

В ходе анализа существующих программно-аппаратных стендов были обнаружены два типа решений. Первым решением являются программно-аппаратные лабораторные стенды, которые включают в свой состав реальное оборудование для проведения инструментального контроля и тестовый стенд, с помощью которого проводят тестовые измерения. Другим же являются виртуальные лабораторные стенды, которые программно симулируют реальные условия проведения инструментального контроля.

Первым рассматриваемым типом являются программно-аппаратные стенды. Примером таких стендов является учебно-лабораторный стенд «Аутентификация компьютеризированных объектов в соответствии с требованиями защиты от утечки по побочным каналам ЭМИ» [4]. Стенд помогает ознакомиться с документацией устройств аутентификации, контроля информации и измерений, отрабатывать навыки самостоятельного определения полезных сигналов в конкретном диапазоне частот и исследовать физический смысл электромагнитных информационных каналов. Также он нужен для освоения умения работать с устройствами защиты утечки информации по побочным каналам ЭМИ. Стенд представлен на рисунке 1.



Рисунок 1. Пример учебно-лабораторного стенда

В лабораторный практикум данного стенда включены следующие работы:

- обзор документов, необходимых при аттестации объекта информатизации;
- алгоритм обнаружения электромагнитного технического канала утечки информации;
- исследование свойств электромагнитного канала утечки информации;
- исследование способов защиты информации от утечки по ПЭМИ;
- аттестация объекта информатизации.

В комплект поставки лабораторного стенда входит:

- ноутбук;
- анализатор спектра;
- антенна электрическая измерительная в паре с развязывающим устройством;
- штатив диэлектрический;
- генератор электромагнитных помех;
- программное обеспечение, формирующее тестовый сигнал;
- программное обеспечение отображения сигнала с канала ПЭМИ;
- комплект документов по аттестации объекта информатизации;
- техническое описание комплекта учебного оборудования.

Стоимость данного стенда составляет 780 370 рублей.

Другим рассматриваемым подходом к обучению специалистов в области информационной безопасности является применение виртуальных лабораторных стендов. Примером данного подхода является «Виртуальный тренажёр «Анализ и защита помещения от утечек информации по техническим каналам», ТЗИ-ВИРТ», разработанный компанией «Учтех-Профи», который представлен на рисунке 2. Данный стенд состоит из двух основных модулей. Модуль для преподавателя — это «конструктор» для формирования тестовых заданий. Он включает в себя инструментарий для создания модели прямоугольного помещения, в котором можно определить расположение окон и двери, а также расставить наполнение, которое включает в себя: ОТСС, ВТСС, проводные коммуникации, ограждающие конструкции и объекты интерьера [5].

Модуль для студента — «аттестация», предназначен для проверки усвоения студентом изученного материала на практике. В ходе работы студент должен правильно определить тип объектов, идентифицировать актуальные каналы утечки информации и, при

необходимости, оптимально расположить системы защиты информации. Данный модуль также имеет режим экзамена, в котором ошибки, допущенные студентом, заносятся в логи.

В лабораторный практикум тренажёра входят: изучение технических каналов утечки информации, получение навыков анализа помещения при определении актуальных угроз, изучение современных средств защиты информации и изучение правил установки средств активной и пассивной защиты информации в помещении.



Рисунок 2. Виртуальный лабораторный стенд

На основании проведённого анализа различных реализаций лабораторных стендов, составим их сравнительный анализ. Основное преимущество реальных лабораторных стендов заключается в том, что работа с ними максимально приближена к проведению реального инструментального контроля. Студенты получают практические навыки по работе с измерительным оборудованием, навыки связанные с анализом помещения при определении актуальных угроз, а также навыки по работе с системами защиты информации. Основные недостатки реальных стендов заключается в том, что, как и любое реальное оборудование оно имеет тенденцию изнашиваться, выходить из строя, при неправильном обращении. Ситуация усугубляется тем, что каждый из таких стендов стоит от 200 до 750 тысяч рублей, а полная замена всего оборудования будет стоить 2,7 миллиона рублей, без накладных расходов. Также не стоит забывать, что для данного оборудования нужно выделенное помещение, в котором будут проводиться испытания. Ещё одной проблемой является тот факт, что одновременно работать со стендом может лишь ограниченное количество людей, что замедляет процесс обучения.

С другой стороны, если рассматривать виртуальный стенд, то его основные преимущества противоположны основным недостаткам реальных стендов. По причине того, что виртуальные стенды не требуют никаких физических устройств, кроме компьютера на котором его будут запускать, данная система легко масштабируется под любое количество обучающихся. Также отсутствие привязки к физическому оборудованию позволяет студентам использовать такие стенды на персональных компьютерах в любом удобном для них месте, что позволяет им не только изучить материал в домашних условиях, но и при необходимости повторить процесс в любое время. Также стоимость такого решения существенно дешевле. Закупка 21 лицензии обойдётся в 1,5 миллиона рублей, а

---

закупка 12 лицензий обойдётся в 900 тысяч рублей. Даже при покупке 12 новых компьютеров, стоимость каждого из которых составит 50 тысяч рублей, вместе с операционной системой, стоимость закупки компьютеров составит 600 тысяч рублей. Таким образом закупка 12 компьютеров и лицензий на использование виртуального стенда обойдётся в 1,5 миллиона рублей, что существенно меньше, чем стоимость реальных стендов.

### **Заключение.**

По итогам проведенного анализа можно сделать вывод, что потребность в кадрах в области информационной безопасности по сравнению с предыдущими годами продолжает расти, помимо этого из результатов анализа существующих подходов к подготовке специалистов в сфере защиты информации следует, что использование виртуальных стендов является более выгодным, безопасным и актуальным решением. Также в условиях развития технологий использование виртуальных стендов является наиболее рациональным решением при начальной подготовке и введении в проблематику технических каналов утечки информации обучающихся специалистов информационной безопасности. Таким образом, студенты имеют возможность потренироваться на виртуальном стенде, после чего более качественно отработать материал на реальном оборудовании, исключая риск вывести дорогостоящее оборудование из строя. Исходя из результатов проделанного исследования можно заключить, что количество готовящихся специалистов превышает количество доступно оборудования, поэтому чтобы частично решить данную проблему возникает необходимость разработать систему управления комплексом виртуальных лабораторных стендов по защите от утечек информации.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. *Евстифеев А.А., Ерошев В.И., Мартынов А.П., Николаев Д.Б., Сплюхин Д.В., Фомченко В.Н.* Основы защиты информации от утечки по техническим каналам. / Издательство: Российский федеральный ядерный центр — ВНИИ экспериментальной физики. — 2019, 267 с.
2. *Белов Е.Б., Лось В.П., Малюк А.А.* Цифровая экономика и актуальные проблемы совершенствования системы подготовки кадров в области информационной безопасности. // Научный журнал «Безопасность информационных технологий». — 2018, №25-4. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36587528>
3. *Белов Е.Б.* О профессиональных стандартах в области информационной безопасности. // Научно практический журнал «Информационное противодействие угрозам терроризма». — 2015, №25-3. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25030157>
4. Учебно-лабораторный стенд «Аттестация объекта информатизации по требованиям защиты от утечек по каналу побочных ЭМИ». URL: <https://dokisan.com/catalog/security/tzi/tzielectro/>
5. Виртуальный тренажёр «Анализ и защита помещения от утечек информации по техническим каналам». URL: [https://labstand.ru/catalog/zashchita\\_informatsii\\_ot\\_utechek\\_po\\_tekhnicheskim\\_kanalam/virtualnyy\\_trenazhyer\\_attestatsiya\\_obekta\\_po\\_trebovaniyam\\_zashchity\\_ot\\_utechek\\_informatsii\\_po\\_tekhni?sphrase\\_id=364935](https://labstand.ru/catalog/zashchita_informatsii_ot_utechek_po_tekhnicheskim_kanalam/virtualnyy_trenazhyer_attestatsiya_obekta_po_trebovaniyam_zashchity_ot_utechek_informatsii_po_tekhni?sphrase_id=364935)

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ПАРАДИГМ ПРОГРАММИРОВАНИЯ НА ТЕСТОВУЮ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Россия

Ключевые слова: функциональное и структурное тестирование, парадигмы программирования, экспериментальное исследование.

Существует несколько методов и критериев, помогающих проводить тестирование. Выбор одного из них зависит от разных аспектов, таких как ограничения по времени, эффективность критериев тестирования или особенности тестируемой программы. В этом контексте парадигма программирования может влиять на результат тестовой деятельности. В статье представлены результаты экспериментального исследования для характеристики и оценки критериев структурного и функционального тестирования, сравнения объектно-ориентированных и процедурных парадигм программирования.

P.G. Bashmakov, O.V. Kulikova

## STUDY OF EVALUATION OF THE INFLUENCE OF DIFFERENT PROGRAMMING PARADIGMS ON TEST ACTIVITY

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia

Keywords: functional and structural testing, programming paradigms, experimental research.

There are several methods and criteria to help conduct testing. The choice of one of them depends on various aspects, such as time constraints, the effectiveness of the test criteria, or the features of the program under test. In this context, the programming paradigm can influence the outcome of the test activity. The article presents the results of an experimental study to characterize and evaluate the criteria for structural and functional testing, comparing object-oriented and procedural programming paradigms.

Одной из основных целей тестовой деятельности является выявление дефектов. Как следствие, тестирование способствует снижению затрат на обслуживание, а также улучшению качества программного обеспечения. В этом сценарии исследуется работа критериев тестирования, которые будут применяться в различных парадигмах программирования, таких как процедурные и объектно-ориентированные (ОО).

Проще говоря, парадигмы программирования отвечают за определение того, как программное обеспечение должно быть структурировано. Принятие той или иной парадигмы подразумевает различия от способа понимания и представления программных структур до используемых процессов и технологий. В настоящее время процедурная и ОО парадигмы выделяются как две наиболее часто используемые парадигмы программирования в разработке программного обеспечения.

Особенности и различия в том, как решать проблемы, налагаемые каждой парадигмой, свидетельствуют о возможном существовании различных источников ошибок при разработке программного обеспечения [1]. Предложены методики и критерии тестирования с целью снижения количества дефектов в программном обеспечении путем определения тестовых случаев с высокой вероятностью выявления ошибок. Функциональные и структурные методы (и связанные с ними критерии) получили широкое распространение. Кроме того, сравнение методов и критериев тестирования может быть

---

выполнено с использованием некоторых свойств тестирования, таких как стоимость, эффективность и прочность.

Некоторые дефекты также могут быть связаны с принятой парадигмой программирования. В этой перспективе важно оценить влияние конкретной парадигмы на деятельность по тестированию. Однако большинство экспериментальных исследований по оценке и сравнению критериев тестирования выполняются с программами, построенными на той же парадигме, не учитывая влияние парадигмы программирования на полученные результаты.

В целом, проведение контролируемого эксперимента или даже квазиэксперимента является дорогостоящей деятельностью, с несколькими требованиями, которые должны быть удовлетворены. Основной проблемой, с которой сталкиваются исследователи при проведении нового экспериментального исследования в области тестирования программного обеспечения, является отсутствие инфраструктуры, то есть материалов, инструментов и результатов, должным образом подготовленных для использования в качестве основы для нового испытания. Это не новая проблема, и упоминания о ней можно найти в пункте [2]. В работе Do et al. авторы провели обзор нескольких работ с экспериментальными результатами по методам тестирования, сообщив о трудностях в их проведении. Для устранения таких трудностей авторы предложили инфраструктуру, состоящую из программ, тестовых случаев, дефектов и скриптов, которые были бы готовы выполнять и воспроизводить контролируемые эксперименты.

Помимо необходимости проведения новых экспериментов по методам и критериям тестирования, многие исследователи предложили ввести концепции тестирования в сочетании с основами программирования [3]. Поскольку тестирование требует, чтобы студент знал поведение своих программ, такая деятельность может быть изучена, чтобы помочь им понять абстрактные концепции программирования и развить ожидаемые навыки [4].

Руководствуясь этим сценарием, в данной работе обобщаются результаты экспериментального исследования для характеристики и оценки стоимости и прочности критериев структурного и функционального тестирования, сравнивая как процедурные, так и ОО-парадигмы программирования [5].

Исследование направлено на определение характеристик неизвестного субъекта, поиск доказательств, которые могут быть использованы при определении будущих гипотез. Поэтому предложенные гипотезы не претендуют на то, чтобы быть окончательными, а были установлены прагматичным образом для того, чтобы облегчить проведение экспериментов [6].

Критерии тестирования на наборе программ могут быть изменены с точки зрения размера тестового набора и количества необходимых элементов, и на них в основном влияют [7]:

- парадигма программирования, в которой реализуются программы;
- принятые инструменты тестирования;
- тип используемых критериев тестирования;
- навык тестировщика для адекватного тестирования программ;
- масштабы и сложность программ, подлежащих испытанию.

Если реализовать два набора программ А и В, соответственно написанных в процедурных и объектно-ориентированных парадигмах, и учитывая, что парадигмы программирования представляют собой разные способы понимания и структурирования одного и того же решения, считается, что будет существовать разница в результатах между множествами А и В, на которые влияют различия в парадигмах.

Предполагается, что результативность каждого функционального и структурного критерия тестирования среди двух парадигм может быть измерена с точки зрения тестового набора данному критерию в одной парадигме по одному и тому же критерию в противоположной парадигме и наоборот. Учитывая, что парадигмы программирования

---

представляют собой разные способы понимания и структурирования одного и того же решения, считается, что существует сильная разница между множествами А и В под влиянием различий в парадигмах.

Программа может содержать множество процедур и методов, а форма тестирования предназначена для общих мер, т.е. рассматривает все процедуры и методы вместе. Во избежание недоразумений при сборе данных существует возможность использования черновиков для записи отдельных мер. После того, как все эксплуатационные данные программы собраны, они будут сгруппированы и подсчитаны для одного и того же общего контекста. Такое решение не только реализует модульный сбор информации, но и облегчит проверку измерений, собранных в ходе этапа тестирования.

Проведение анализа данных состоит из представления всех мер для каждого типа метрики, рассматриваемой в эксперименте, и вместе с мерами центральной тенденции получения информации, которая может быть индивидуально проанализирована, характеризуя контекст участвующих программ и тестовых наборов. Полученная в дальнейшем информация позволит проверить некоторые особенности экспериментальных программ.

В статье описываются возможные экспериментальные исследование для характеристики и оценки стоимости и результатов критериев структурного и функционального тестирования в отношении различных парадигм программирования, более конкретно процедурных и объектно-ориентированных парадигм.

Дальнейшие экспериментальные исследования могут предоставить доказательств в пользу принятия выбора парадигм под конкретные задачи. Будущие исследования для проверки гипотез этой работы с учетом других методов и критериев тестирования также уместны.

Эта работа также способствует нынешней потребности в разработке программного обеспечения, в создании и проведении более систематических и строгих экспериментальных исследований, повышении достоверности достигнутых выводов и обеспечении возможности расширения таких исследований в различных условиях. В этой перспективе практический опыт, полученный при выполнении каждого этапа экспериментального процесса (определение, планирование, эксплуатация и анализ) и результаты, полученные в конце исследования, могут быть полезны для определения и проведения дальнейших экспериментальных исследований в этом направлении. Кроме того, предполагается, что полученные результаты тестирования могут быть полезны для поддержки программного обеспечения.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Vincenzi A. M. R., Domingues A. L. S., Delamaro M. E., Maldonado J. C. *Introdução ao Teste de Software*. // 1st ed. Campus Elsevier – 2007, p.119,174.
2. Do H., Elbaum S., Rothermel G. Supported controlled experimentation with testing techniques: An infrastructure and its potential impact. // *Empirical Software Engineering: An International Journal*. – 2005, v.10.
3. Edwards S.H. Improving student performance by evaluating how well students test their own programs. // *Journal on Educational Resources in Computing*. – 2003, v.3, p. 24.
4. Jones E.L. An experimental approach to incorporating software testing into the computer science curriculum. // *31st Annual Frontiers in Education Conference*. – 2001, v.9, p. 7-11.
5. Barbosa E. F., LeBlanc R., Guzdial M., Maldonado J., C. Introducing testing practices into objects and design course. // *Software Engineering Education and Training*. – 2003, p. 179-286.
6. Lahtinen E., Ala-Mutka K., Järvinen H. A study of the difficulties of novice programmers. // *Proceedings of the 10th annual SIGCSE conference on Innovation and technology in computer science education*. – 2005, v.37, p. 14-18.

- 
7. Cost of Quality in Software Testing, «geeksforgeeks», 2020, URL: <https://www.geeksforgeeks.org/cost-of-quality-in-software-testing/>

**И.А. Сосновский<sup>1</sup>, Н.А. Полторацкая<sup>2</sup>**

## **ИТ-ТЕХНОЛОГИИ В СОВРЕМЕННОМ ОБЩЕСТВЕ И ЮРИДИЧЕСКИЕ НЕОПРЕДЕЛЁННОСТИ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ**

Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени ФГБОУ ВО «Московский технический университет связи и информатики», г. Ростов-на-Дону, Россия<sup>1</sup>  
Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия<sup>2</sup>

Ключевые слова: ИТ-технологий, законность, Internet, Meta, Facebook, Instagram, Роскомнадзор, блокировка ресурса.

В работе рассмотрен ряд вопросов, связанных с законностью применения ИТ-технологий. Во-первых, противоправно ли использование запрещенных социальных сетей, признанных экстремистскими? Во-вторых, какое наказание за это предусмотрено и предусмотрено ли вообще. И в-третьих, должны ли нести ответственность создатели программ, предоставляющих доступ к запрещенным ресурсам в сети Internet.

**I.A. Sosnovsky<sup>1</sup>, N.A. Poltoratskaya<sup>2</sup>**

## **IT TECHNOLOGIES IN MODERN SOCIETY AND LEGAL UNCERTAINTIES OF THEIR APPLICATION**

North Caucasus branch of Moscow Technical University  
of Communications and Informatics, Rostov-on-Don, Russia<sup>1</sup>  
South Federal University, Rostov-on-Don, Russia<sup>2</sup>

Keywords: Facebook Instagram, IT technologies, legality, Internet, Meta, Roskomnadzor, blocking of the resource.

The paper considers a number of issues related to the legality of the use of IT technologies. Firstly, is it illegal to use banned social networks recognized as extremist? Secondly, what kind of punishment is provided for this and whether it is provided at all. And thirdly, should the creators of programs that provide access to prohibited resources on the Internet be held responsible?

Современное общество генерирует всё большее количество технологических решений в сфере ИТ-технологий. При этом, зачастую, внедрение этих технологий в жизнь современного человека происходит без достаточного уровня правового регулирования всех сторон их применения.

Это обусловлено недостаточным осознанием со стороны органов законодательной власти, возможных последствий применения конкретной технологии на жизнь общества и его устои. Часто бывает так, что осознание приходит только тогда, когда происходят негативные события, приводящие к трагедии, что приводит к всеобщему общественному резонансу.

В данной статье будут рассмотрены несколько вопросов. Во-первых, противоправно ли использование запрещенных социальных сетей, признанных экстремистскими? Во-вторых, какое наказание за это предусмотрено и предусмотрено ли вообще. И в-третьих,

---

должны ли нести ответственность создатели программ, предоставляющих доступ к запрещенным ресурсам в сети Internet.

Актуальность работы вызвана событиями, из-за которых российские пользователи таких сетей, как Instagram и Facebook, не понимают законно ли использовать их или нет. Разберемся подробнее с этой проблемой.

Как известно, Тверской районный суд Москвы 21 марта признал экстремистской деятельность организации Meta, а также её дочерних компаний Facebook и Instagram. 11 марта с таким требованием выступила Генпрокуратура, а 14 марта Роскомнадзор ограничил россиянам доступ к соцсетям [2].

Причиной обращения Генпрокуратуры стало решение Meta Platforms от 11 марта. Американская корпорация официально разрешила пользователям размещать в сети информацию с призывами к насилию в отношении российских военных. По словам руководства компании, подобные высказывания в отношении гражданского населения остались запрещены.

Кроме того, изменилась политика компании в отношении лидеров России и Белоруссии — Владимира Путина и Александра Лукашенко. Призывы пользователей к смерти именно этих президентов перестали быть запрещёнными.

Генпрокуратура усмотрела в политике компании явные признаки экстремистской деятельности и подала в суд. Роскомнадзор при этом внёс соцсети Facebook и Instagram в список запрещённых. Решение суда вступило в силу незамедлительно. С 21 марта Meta Platforms, а также Facebook и Instagram признаны экстремистскими на территории РФ.

Итак, рассмотрим вопрос можно ли безнаказанно пользоваться ресурсами интернет сети, распространяющими экстремистскую идеологию и призывы к расправе над определёнными категориями граждан Российской Федерации.

Представители официальной власти заявили, что привлекать к ответственности за это не будут. Если эти заявления подтвердятся, то не будут нарушением и новые посты в Instagram. При этом юристы напоминают, что вас могут привлечь за публикацию, которая сама по себе нарушает законы РФ. В этом случае то, что вы опубликовали информацию в экстремистской соцсети, вполне может стать отягощающим обстоятельством.

Однако, можно точно сказать, что оплачивать рекламу в Instagram или осуществлять иные транзакции в пользу сети нельзя, так как это вполне может быть признано финансированием экстремистской организации.

И все-таки, какие же санкции могут вменить за пользование запрещенных социальных сетей?

Для ответа на данный вопрос обратимся сначала к статье 13.37. КоАП РФ [1]. Здесь зафиксировано, что «Распространение владельцем аудиовизуального сервиса информации, содержащей публичные призывы к осуществлению террористической деятельности, материалов, публично оправдывающих терроризм, или других материалов, призывающих к осуществлению экстремистской деятельности либо обосновывающих или оправдывающих необходимость осуществления такой деятельности, влечет наложение административного штрафа на граждан в размере от пятидесяти тысяч до ста тысяч рублей; на должностных лиц - от двухсот тысяч до четырехсот тысяч рублей; на юридических лиц - от шестисот тысяч до одного миллиона рублей. Повторное совершение административного правонарушения, предусмотренного частью 1 настоящей статьи, влечет наложение административного штрафа на граждан в размере от ста пятидесяти тысяч до трехсот тысяч рублей; на должностных лиц - от шестисот тысяч до восьмисот тысяч рублей; на юридических лиц - от одного миллиона пятисот тысяч до пяти миллионов рублей.» Итак, получается, если вы опубликуете пост в Instagram, который сочтут оправдывающим и призывающим к пользованию данной социальной сети, есть вероятность, что вам придется заплатить минимум 50 тысяч.

Далее стоит упомянуть статью 20.3. КоАП РФ, в которой сказано [1]: «Пропаганда либо публичное демонстрирование атрибутики или символики экстремистских

---

организаций, либо иных атрибутики или символики, пропаганда либо публичное демонстрирование которых запрещены федеральными законами, если эти действия не содержат признаков уголовно наказуемого деяния, - влечет наложение административного штрафа на граждан в размере от одной тысячи до двух тысяч рублей с конфискацией предмета административного правонарушения либо административный арест на срок до пятнадцати суток с конфискацией предмета административного правонарушения; на должностных лиц - от одной тысячи до четырех тысяч рублей с конфискацией предмета административного правонарушения; на юридических лиц - от десяти тысяч до пятидесяти тысяч рублей с конфискацией предмета административного правонарушения.» То есть, если в ваших действиях будет замечена пропаганда или публичное демонстрирование символики инстаграма (например, логотип данной соц сети), в лучшем случае вам вменят штраф или административный арест, в худшем же будет следовать уголовная ответственность.

Последний вопрос, который хотелось бы рассмотреть в этой статье – это ответственность создателей VPN-сервисов и анонимайзеров за предоставление доступа к соц сетям, признанным экстремистскими.

Для начала дадим краткую характеристику VPN-сервисов. VPN — это обобщённое название технологий, позволяющих обеспечить одно или несколько сетевых соединений поверх другой сети.

Использование данных сервисов является легальным. Однако, в ноябре 2017 года в РФ был принят Федеральный закон от 29.07.2017 N 276-ФЗ "О внесении изменений в Федеральный закон "Об информации, информационных технологиях и о защите информации" - закон, запрещающий использование VPN в стране. Закон обязывает владельцев анонимайзеров и VPN-сервисов сотрудничать с властями и ограничивать доступ к запрещённым на территории страны сайтам. Сервисам, которые не исполняют требования регуляторов, грозит блокировка.

В этой связи, владельцам анонимайзеров и VPN-сервисов запрещено предоставлять возможность их использования в РФ для получения доступа к заблокированным информационным ресурсам, в том числе к вышеперечисленным социальным сетям.

В марте 2019 года Роскомнадзор впервые потребовал от владельцев VPN-сервисов подключиться к реестру запрещённых сайтов. В начале 2022 года иностранным провайдерам VPN было предписано внести в чёрный список сайты, признанные правительством России экстремистскими. Это привело к тому, что некоторые провайдеры, такие как TorGuard, прекратили предоставление услуг в России.

За последние месяцы Роскомнадзор заблокировал в России более 20 подобных сайтов и приложений. Это говорит о том, что работа по предотвращению доступа к запрещённым сайтам продолжается.

Надо отметить тенденцию посещения сайтов. Издание Forbes со ссылкой на исследование Mediascope сообщает, результаты использования сетей Facebook и Instagram в Российском сегменте.

Аудитория с длительностью сессии до 5 минут в Instagram упала с 37,8 млн до 10 млн. Если говорить о сессиях, которые длились дольше 5 минут, то аудитория упала с 28,9 млн до 5,5 млн.

Дольше 5 минут в приложении Facebook проводили 2,7 млн человек, на текущий момент только 305 тыс. пользователей [3].

Как видно существующие механизмы правового регулирования привели к существенному снижению посещаемости запрещённых социальных сетей, однако, не к полной их блокировке.

Подводя итог данной работе, можно сделать следующий вывод:

1. Если физическое лицо использует социальную сеть, признанную экстремистской, ответственности за это пока что напрямую не предусмотрено. Однако, размещаемый там контент в определенных случаях может подпадать

---

под нормы КоАП РФ или УК РФ. Это же касается и рекламы использования запрещённых социальных сетей.

2. Владельцы VPN-сервисов и анонимайзеров должны внести в чёрный список сайты, признанные правительством России экстремистскими. В противном случае их могут заблокировать на территории РФ.
3. Фактически, доступ к запрещенным социальным сетям всё ещё возможен. В связи с этим назревает вопрос о необходимости формирования более чётких законодательный мер, касающихся ответственности всех категорий лиц, как непосредственно посещающих запрещённые ресурсы, таки и обеспечивающих такую техническую возможность.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. "Кодекс Российской Федерации об административных правонарушениях" от 30.12.2001 N 195-ФЗ (ред. от 24.09.2022)// [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_34661/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34661/)(дата обращения: 05.10.2022).
2. "Суд признал Meta экстремистской организацией и запретил в России Facebook и Instagram" Российская газета - Федеральный выпуск: №60(8708) // [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://rg.ru/2022/03/21/reg-cfo/sud-zapretil-v-rossii-instagram-i-facebook-za-ekstremistskuiu-deiatelnost.html> (дата обращения: 05.10.2022).
3. Аналитический отчёт компании Mediascope18/04/2022. Аудитория социальных сетей.// [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://mediascope.net/upload/iblock/de3/Social\\_media\\_Mediascope\\_18042022.pdf](https://mediascope.net/upload/iblock/de3/Social_media_Mediascope_18042022.pdf) (дата обращения: 07.10.2022).

**С.А. Евдокимова**

#### **АЛГОРИТМ ОЦЕНКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ТЕСТИРОВАНИЯ ПО МОДЕЛЯМ СОВРЕМЕННОЙ ТЕОРИИ ТЕСТИРОВАНИЯ**

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет  
имени Г.Ф. Морозова», Воронеж, Россия

Ключевые слова: тестирование, современная теория тестирования, модель Г. Раша, латентные показатели, модель А. Бирнбаума.

В настоящее время распространенной формой оценкой знаний в образовании при различных формах обучения является тестирование. К разработке тестов следует подходить серьезно, чтобы их результат отражал объективную оценку знаний, особенно при дистанционной форме обучения. В работе автор описал алгоритм оценки результатов тестирования по моделям Г. Раша и А. Бирнбаума, которые составляют основу современной теории тестирования. Данный алгоритм позволяет проверить сбалансированность по трудности тестовых заданий и определить задания, которые требуется доработать.

## ALGORITHM FOR EVALUATING TEST RESULTS USING MODERN TEST THEORY MODELS

Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov,  
Voronezh, Russia

Keywords: testing, Item Response Theory, G. Rush model, latent indicators, A. Birnbaum model.

Currently, testing is a common form of knowledge assessment in education in various forms of education. The development of tests should be approached seriously so that their result reflects an objective assessment of knowledge, especially with distance learning. In this paper, the author described an algorithm for evaluating test results using the G. Rush and A. Birnbaum models, which form the basis of modern testing theory. This algorithm allows you to check the balance of the difficulty of the test tasks and determine the tasks that need to be finalized.

### Введение.

Частью любого учебного процесса, проводимого аудиторно или дистанционно, является проверка достижений обучающихся [1-4]. В последнее время традиционную форму оценивания знаний в форме опроса вытесняет тестирование, которое исключает субъективность выставления оценки при проверке знаний и менее трудозатратно для преподавателя [5, 6]. Однако следует уделять повышенное внимание разработке тестам, иначе тесты могут привести к завышению или занижению оценки из-за повышенной или пониженной трудности заданий. Объективность оценки знаний также позволяет определять темы или разделы дисциплины, вызывающие трудности в освоении, чтобы в дальнейшем им уделять большее внимание при изложении материала.

В настоящее время существуют два подхода к оценке результатов тестирования – классическая и современная теории тестирования [7-9]. Основным положением классической теории тестирования является то, что результат теста – это случайная величина.

В основе современной теории тестирования лежит взаимосвязь между наблюдаемым результатом и латентными параметрами, которыми являются подготовленность испытуемых и уровень трудности заданий. С ее помощью можно предсказать вероятность правильного решения теста любым участником тестирования. Для этого используются однопараметрическая модель Раша и модели Бирнбаума [10-12].

### Цель и задача работы.

Целью работы являлась разработка алгоритма обработки результатов тестирования по моделям современной теории тестирования. Данный алгоритм позволит определить сбалансирован ли тест по трудности, и какие его задания следует доработать.

### Методы исследования.

Современная теория тестирования (IRT) включает математико-статистические методы анализа данных тестирования для определения соответствия трудности заданий подготовке тестируемых.

Обозначим множество значений уровня подготовленности  $n$  испытуемых как  $\theta_i$  ( $i = \overline{1, n}$ ,  $n$  – количество студентов, выполнивших тест), а множество значений уровня трудности заданий в тесте, как  $\beta_j$  ( $j = \overline{1, m}$ ,  $m$  – количество заданий в тесте).

Модель Г. Раша представляет собой функцию успеха, зависящую от аргумента  $\theta_i - \beta_j$  [10-13]:

$$P_j(\theta) = \frac{e^{1.7(\theta - \beta_j)}}{1 + e^{1.7(\theta - \beta_j)}}, \quad (1)$$

$$P_i(\beta) = \frac{e^{1.7(\theta_i - \beta)}}{1 + e^{1.7(\theta_i - \beta)}}, \quad (2)$$

где  $P_{ij}$  – вероятность правильного ответа  $i$ -го испытуемого на  $j$ -ое задание;

$P_j(\theta)$  – вероятность правильного ответа в зависимости от уровня знаний  $\theta$  при фиксированной трудности задания  $\beta_j$ ;

$P_i(\beta)$  – вероятность правильного ответа в зависимости от трудности  $\beta$  задания при фиксированном уровне знаний  $\theta_i$ .

Модель Г. Раша не учитывает дифференцирующую способность заданий. Для теста, задания которого имеют различную дифференцирующую способность, в IRT существует двухпараметрическая модель А. Бирнбаума [13-15]:

$$P_j(\theta) = \frac{e^{1.7a_j(\theta - \beta_j)}}{1 + e^{1.7a_j(\theta - \beta_j)}}, \quad (3)$$

где  $a_j$  – это дифференцирующая способность задания.

Дифференцирующие коэффициенты определяются как [16]:

$$a_j = \frac{r_{pb}^j}{\sqrt{1 - (r_{pb}^j)^2}}, \quad (4)$$

$$r_{pb}^j = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_0}{s_x} \cdot \sqrt{\frac{n_1 n_0}{n(n-1)}}, \quad (5)$$

где  $n_1$  и  $n_0$  – количество студентов, выполнивших и не справившихся с заданием;

$\bar{x}_1$  – средний балл выборки  $n_1$  студентов;

$\bar{x}_0$  – средний балл выборки  $n_0$  студентов;

$n$  – общее число студентов, при этом  $n = n_1 + n_0$ ;

$s_x$  – стандартное отклонение для индивидуальных баллов всех студентов.

Значения коэффициентов  $a_j$  для заданий теста позволяет исключить неподходящие задания, к которым относятся:

- задания с отрицательными значениями  $a_j$ , потому что на них хорошо отвечают студенты с низким уровнем знаний и плохо – с высоким уровнем знаний;
- задания со значениями  $a_j$ , близкими к нулю, относятся к ситуации, когда вероятность правильного ответа не зависит от уровня подготовки испытуемого.

В тестах рекомендуется использовать задания со значениями коэффициента  $a_j$  из интервала (0,5; 2,5).

Для оценки результатов тестирования обучающихся по моделям Г. Раша и А. Бирнбаума был разработан алгоритм (рисунок 1), включающий в себя следующую последовательность шагов:

1. Построение таблицы результатов теста, каждый ответ на который оценивается 1 или 0 в зависимости от правильности.
2. Если в таблице присутствуют строки или столбцы, содержащие только 0 или 1, то переходим к следующему шагу, иначе – к шагу 4.
3. Удаление из таблицы результатов теста строк и столбцов, содержащих только 0 и 1.
4. Для измененной таблицы результатов теста выполняется расчет параметров модели А. Раша (1), (2).
5. Построение характеристических кривых заданий теста и уровней подготовленности обучающихся, позволяющих оценить соответствие уровня трудности заданий уровню подготовки тестируемых. Методика построения характеристических кривых рассматривается в работах [13, 16].

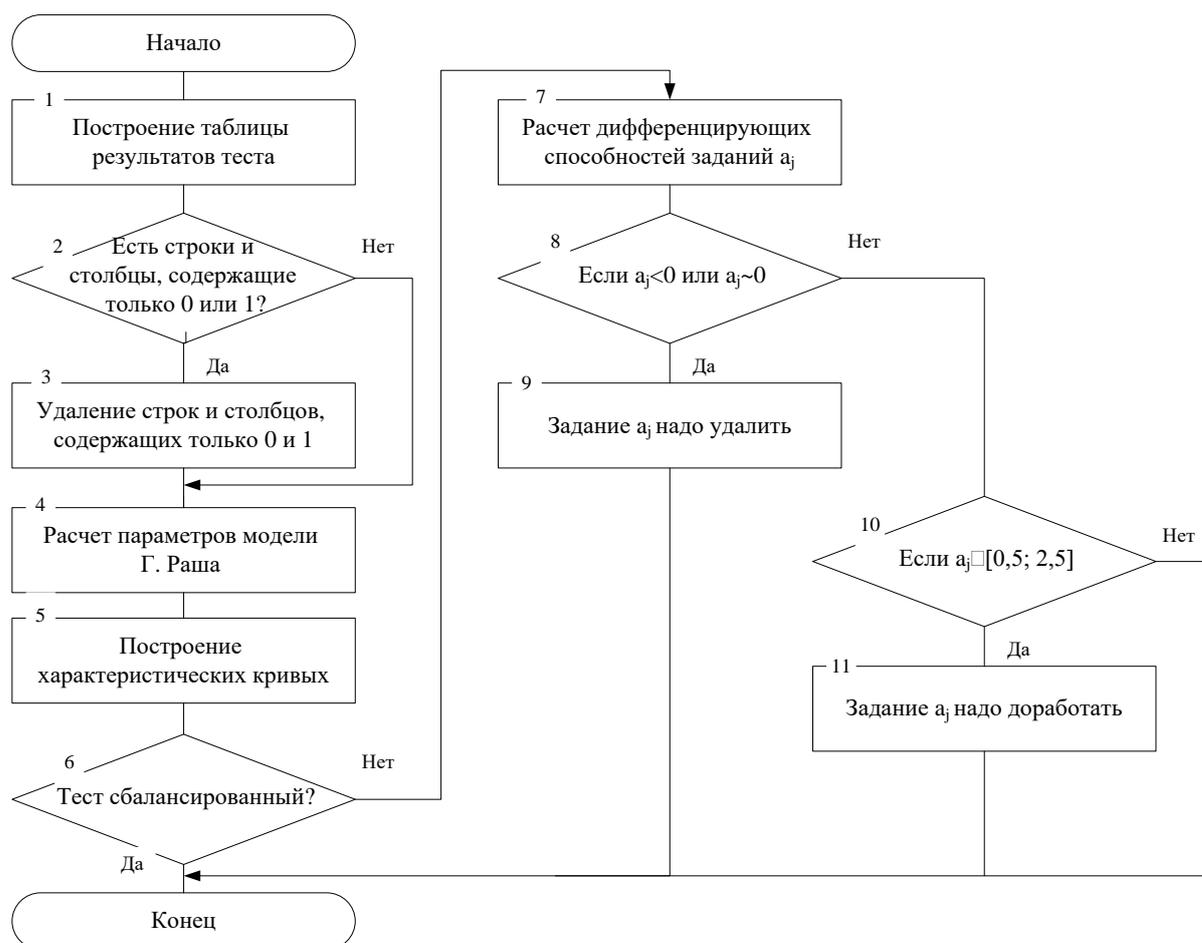


Рисунок 1. Алгоритм оценки результатов тестирования

6. На основе выполненных расчетов следует определить, является ли тест сбалансированным. Если да, то алгоритм заканчивается, если нет, то выполняется следующий шаг.
7. Расчет дифференцирующих способностей заданий  $a_j, j \in [1, m]$ , по формуле (4).
8. Для всех заданий, т.е. для всех  $j \in [1, m]$ , надо проверить условие: если  $a_j < 0$  или  $a_j \approx 0$ , то выполняется следующий шаг, иначе – шаг 10.
9. Задание  $a_j$  надо удалить.

10. Если  $a_j \notin [0,5; 2,5]$ , то выполняется следующий шаг, иначе задание соответствует необходимым требованиям.

11. Задание  $a_j$  надо доработать.

Разработанный алгоритм позволяет определить сбалансированность по уровню трудности заданий.

### Результаты и обсуждение.

По представленному алгоритму проведем исследование заданий теста по дисциплине «CASE-технологии». Тест был выполнен студентами ФГБОУ ВО «ВГЛУ».

Анализируемый тест содержит 30 заданий – 24 задания закрытого типа, в которых даны 4 ответа и надо выбрать один правильный вариант, и 6 вопросов открытого типа, ответы на которые студенты должны самостоятельно ввести. 24 задания охватывают вопросы по 4 разделам дисциплины, по 6 заданий на каждый раздел.

Правильный ответ на любые задания оценивался следующим образом:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если ответ верный;} \\ 0, & \text{если ответ неверный.} \end{cases} \quad (6)$$

Результаты ответов студентов сведены в таблицу Microsoft Excel, столбцы – номера заданий, а строки – ответы студентов. Фрагмент построенной таблицы результатов тестирования представлен на рисунке 2.

	Номер вопроса j																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1
3	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0
4	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
5	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1
6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
7	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
8	0	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0
9	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1
10	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1
11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
12	0	0	1	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0
13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
14	0	0	1	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0
15	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1
16	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1
17	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1
18	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0
19	0	0	1	1	0	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0
20	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	1	1	0	1	1
21	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0
22	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1
23	0	0	1	1	0	1	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0
24	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
25	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0
26	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
27	1	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0
28	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0
29	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0
30	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1

Рисунок 2. Фрагмент матрицы результатов тестирования

По разработанному алгоритму найдены функциональные зависимости  $\theta$  и  $\beta$ :

$$\theta_i = a_\theta \cdot \theta_i^0 - \bar{\beta} = 1,1527 \cdot \theta_i^0 + 0,2412, \quad (7)$$

$$\beta_j = a_\beta \cdot \beta_j^0 - \bar{\theta} = 1,2179 \cdot \beta_j^0 - 0,296. \quad (8)$$

Вычислим сумму оценок уровней трудностей заданий и сравним ее значение с 0:

$$\sum \beta = \sum_{j=1}^{30} \beta_j = 0,06833177 > 0 \quad (9)$$

Сумма рассчитанных значений  $\beta_j$  принимает положительное значение, близкое к нулю, что говорит о том, что тест имеет немного завышенную сложность, поэтому следует его упростить.

На интервале шкалы логитов (-5; +5) выполним построение характеристических кривых уровней подготовленности испытуемых и уровней трудностей заданий теста (рисунки 3 и 4 соответственно). Значения функций  $P_j(\theta)$  и  $P_i(\beta)$  для их построения рассчитывались по формулам (1) и (2), представляющих собой модель Г. Раша.

На рисунке 3 по горизонтали откладываются логиты уровня трудности заданий, по вертикали – вероятности правильного ответа  $i$ -ого студента при фиксированном уровне сложности задания  $\beta_j$ . На рисунке 4 по горизонтали откладываются логиты уровня подготовленности студентов, по вертикали – вероятность выполнения  $j$ -го задания при фиксированном уровне знаний  $\theta_i$ ,

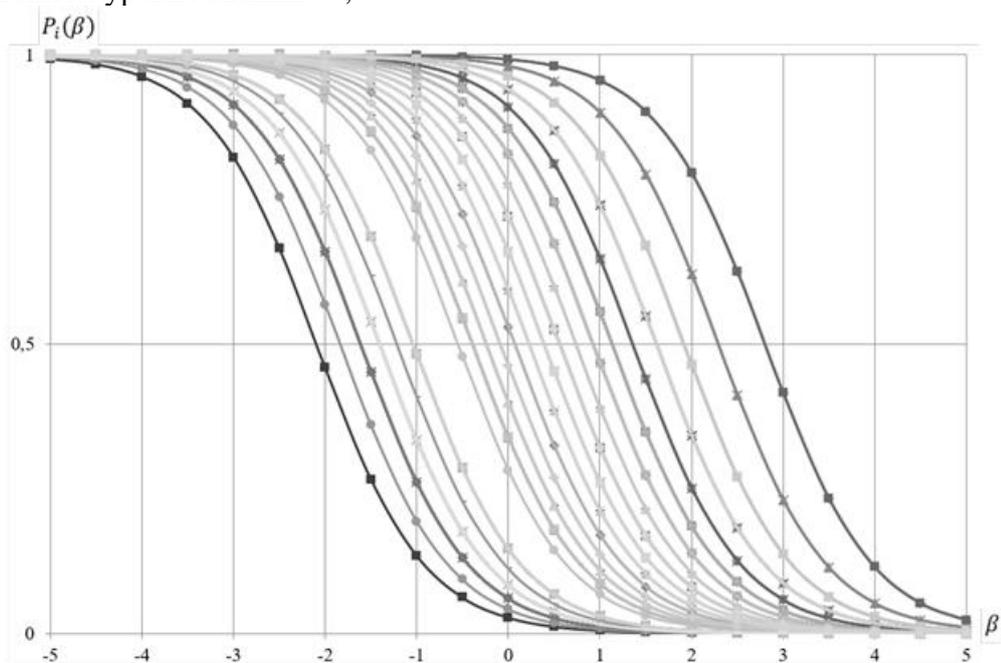


Рисунок 3. Характеристические кривые уровней подготовленности испытуемых

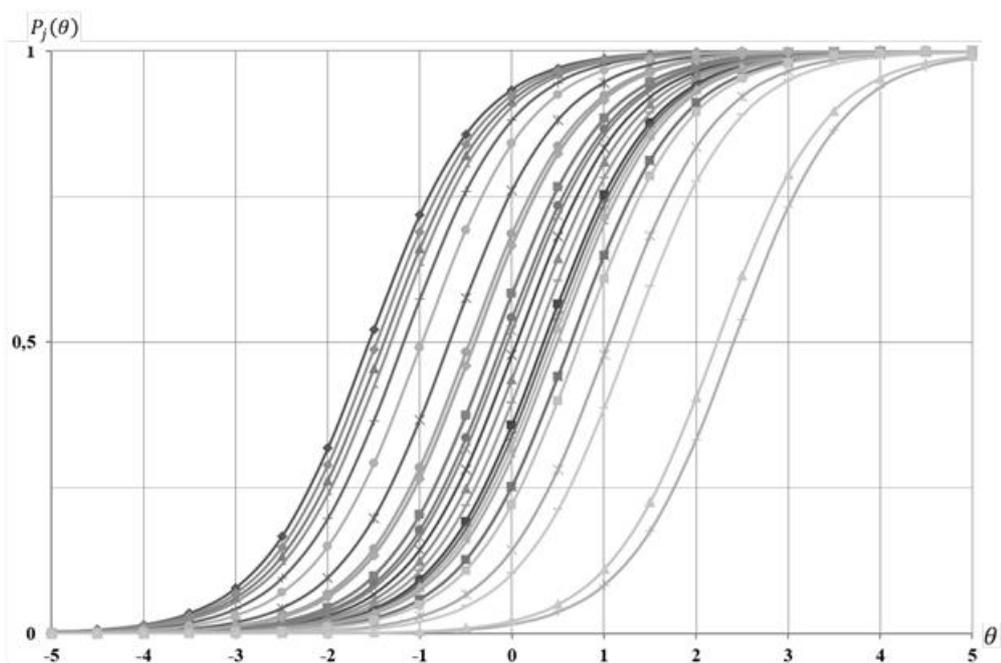


Рисунок 4. Характеристические кривые уровней трудности заданий

Анализ рисунков 3 и 4 показывает, что уровень подготовленности студентов (-2; 3) практически совпадает с уровнем трудности заданий – (-2; 2,5) (эти значения по горизонтальной шкале соответствуют случаю, когда функции вероятности принимают значение, равное 0,5, т.е.  $P_i(\beta) = 0,5$  и  $P_j(\theta) = 0,5$ ). Данная ситуация означает, что в группе есть студенты, уровень подготовки которых несколько выше, чем задания в тесте, т.е. для них в тесте нет заданий, соответствующих их уровню знаний.

На рисунке 3 видно, что характеристические кривые заданий расположены не равномерно на указанном интервале, имеются пробелы на шкале, при этом некоторые кривые накладываются или практически совпадают. Данный факт означает, что в тесте присутствуют задания одинаковой сложности, поэтому некоторые надо исключить или доработать.

Чтобы не потерять охват содержания материала заданиями теста, отдельно рассмотрены группы вопросов тестов по разделам и для каждой группы выделены характеристические кривые.

Рассматриваемый тест по дисциплине «CASE-технологии» включает задания по четырем разделам, каждый состоит из 6 вопросов: задания 1-6 относятся к первому разделу; задания 7-12 – ко второму разделу, задания 13-18 – к третьему, задания 19-24 – к четвертому, задания 25-30 – открытой формы составлены по материалу всего курса. Таким образом, получим 5 групп характеристических кривых заданий, анализ которых позволил сделать следующие выводы:

- задания по темам № 1-4 в основном легкие, а задания открытого типа оказались самыми сложными. В заданиях по разделу 1 дисциплины присутствуют легкие задания, при этом сложность пар заданий № 1 и № 3, № 2 и № 5, № 4 и № 6 практически одинакова. Поэтому желательно исключить одно из этих заданий или изменить их, усложнив;
- раздел № 2 также в основном включает простые задания и задания средней сложности, из них задания № 9 и № 10 имеют одинаковую трудность. Раздел № 3 содержит задания разной сложности, но они достаточно простые. В разделе № 4 присутствуют более сложные задания, но есть и достаточно легкие, задания № 20 и № 22 имеют практически одинаковый уровень сложности;
- задания открытой формы имеют повышенный уровень сложности, из них уровень трудности задания № 25 практически совпал с трудностью задания № 30, а также уровни трудности заданий № 26 и № 29 незначительно различаются, поэтому есть смысл их доработать.

Проведем исследование заданий теста по дисциплине «CASE-технологии» по модели А. Бирнбаума. Для этого вначале по формулам (4) и (5) вычислим точечный бисериальный коэффициент  $r_{pbj}$  и дифференцирующую способность  $a_j$  каждого задания.

Анализ рассчитанных значений показал, что в них отсутствуют отрицательные значения коэффициента корреляции (или точечного бисериального коэффициента)  $r_{pbj}$  и коэффициента дифференцирующей способности заданий  $a_j$ . Также отсутствуют задания со значениями  $0 < r_{pbj} < 3$ , которые рекомендуют удалять из теста [12]. Задание № 4 имеет наименьшее значение  $r_{pb4} = 0,306925$ , учитывая, что его сложность практически совпадает со сложностью задания № 6, коэффициент корреляции которого  $r_{pb6} = 0,397499$ , то есть смысл удалить задание № 4 из теста или его доработать, а задание № 6 оставить без изменения. Аналогично, просматривая пары тестовых заданий, совпадающих по уровню сложности, но имеющих различные коэффициенты корреляции и дифференцирующую способность, можно решить: какие задания лучше оставить, а какие следует исключить или исправить.

В тестах рекомендуют использовать задания со значениями  $a_j$  из интервала (0,5; 2,5), в рассматриваемом тесте часть заданий не соответствует этим критериям. Некоторые исследователи [11, 12] не советуют из теста удалять даже задания со значением  $a_j = 0,1$ , а ориентироваться на средние значения коэффициентов  $r_{pbj}$  и  $a_j$ . Для заданного теста  $r_{pbj} = 0,4606331$  и  $a_j = 0,53187605$ , что соответствует необходимым требованиям к заданиям теста.

Дополнительно задания можно оценить другим способом, рассчитав коэффициент дискриминации, который вычисляется на основе метода контрастных групп, состоящих из 27% лучших и 27% худших студентов по результатам выполнения теста.

Индекс дискриминации теста вычисляется по формуле:

$$r_{\text{диск } j} = P_{1j} - P_{0j}, \quad (10)$$

где  $r_{\text{диск } j}$  – индекс дискриминации теста;

$P_{1j}$  и  $P_{0j}$  – доли правильных ответов на  $j$ -ое задание у 27% студентов, показавших наилучший и наихудший результат соответственно.

Индекс дискриминации принимает значения из интервала (-1; +1) и интерпретируется следующим образом:

- $r_{\text{диск } j} \geq 0,40$  – тестовое задание является эффективным;
- $0,30 \leq r_{\text{диск } j} \leq 0,39$  – тестовое задание является удовлетворительным;
- $0,20 \leq r_{\text{диск } j} \leq 0,29$  – тестовое задание надо проанализировать на пригодность использования в тесте;
- $0 < r_{\text{диск } j} \leq 0,19$  – тестовое задание не обладает дифференцирующей способностью, его надо доработать;
- $r_{\text{диск } j} < 0$  – тестовое задание является некачественным, потому что сильные студенты отвечают на него хуже, чем слабые.

Анализ таблицы показывает, что у всех заданий индекс дискриминации больше 0,5, кроме заданий № 1 и № 4. У этих заданий  $r_{\text{диск } 1} = 0,333333$ ,  $r_{\text{диск } 4} = 0,333333$ , что указывает на их удовлетворительность и возможность использования для оценки знаний.

### **Заключение.**

Разработан алгоритм оценки результатов тестирования с использованием моделей современной теории тестирования, позволяющий определить является ли тест сбалансированным по трудности, и какие его задания следует доработать

Проведена оценка результатов теста по дисциплине «CASE-технологии», которая показала, что в тесте много заданий среднего уровня. В группе присутствуют студенты с пониженным уровнем подготовки, а также есть студенты, уровень знаний которых выше, чем тестовые задания. Поэтому надо добавить больше простых и сложных заданий. Задание № 4 лучше совсем удалить.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Аксенов В.П., Новикова Т.П. Разработка алгоритма и модели функционирования информационной системы для обучения и тестирования водителей // Моделирование систем и процессов. – 2018, т. 11, № 2, с. 4-11. DOI: 10.12737/article\_5b57794a4920a9.85327838.

2. *Данилов А.В., Новикова Т.П., Новиков А.И.* Обучающая информационная система для операторов СР-мойки. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2020616379, 17.06.2020. Заявка № 2020615466 от 01.06.2020.
3. *Евдокимова С.А., Шматова А.Г.* Информационно-обучающая система по дисциплине «Информационные технологии в лесном хозяйстве». Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2017663067, 23.11.2017. Заявка № 2017619811 от 02.10.2017.
4. *Евдокимова С.А., Колесникова Е.И.* Информационно-обучающая система по дисциплине «CASE-технологии». Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2018616330, 30.05.2018. Заявка № 2018613430 от 10.04.2018.
5. *Евдокимова С.А., Шматова А.Г.* Информационно-обучающая система по дисциплине «Информационные технологии в лесном хозяйстве» // Моделирование систем и процессов. – 2017, т. 10, № 3, с. 4-9. – DOI: 10.12737/article\_5a29283be24f62.76695491.
6. *Локтев Е.М., Сазонова С.А., Николенко С.Д., Асминин В.Ф.* Моделирование рейтинговых показателей педагогических кадров военных кафедр // Моделирование систем и процессов. – 2019, т. 12, № 1, с. 67-73. DOI: 10.12737/article\_5d639c811a1eb3.28592794.
7. *Wild S., Schulze Heuling L.* Re-evaluation of the D21-digital-index assessment instrument for measuring higher-level digital competences // Studies in Educational Evaluation. – 2021, v. 68, p. 100981. DOI: 10.1016/j.stueduc.2021.100981.
8. *Chen D.-T., Lin T.-B., Li J.-Y., Lee L.* Establishing the norm of new media literacy of Singaporean students: Implications to policy and pedagogy // Computers and Education. – 2018, v. 124, p. 1-13. DOI: 10.1016/j.compedu.2018.04.010.
9. *Siddiq F., Scherer R.* Is there a gender gap? A meta-analysis of the gender differences in students' ICT literacy // Educational Research Review. – 2019, v. 27, p. 205-217. DOI: 10.1016/j.edurev.2019.03.007.
10. *Муратова Л.А.* Анализ теста «Теория функций комплексной переменной» с привлечением моделей Раша и Бирнбаума // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Психолого-педагогические науки. – 2019, № 1 (41), с. 111-126.
11. *Villalonga-Olives E., Kawachi I., Rodríguez A.M.* Rasch model of the bridging social capital questionnaire // SSM - Population Health. – 2021, v. 14, с. 100791. DOI: 10.1016/j.ssmph.2021.100791.
12. *Stemler S.E., Naples A.* Rasch Measurement v. Item Response Theory: Knowing When to Cross the Line // Practical Assessment, Research and Evaluation. – 2021, v. 26, p. 1-16. DOI: 10.7275/v2gd-4441.
13. *Евдокимова С.А., Кащенко М.А.* Математико-статистическая оценка результатов теста на основе IRT // Моделирование систем и процессов. – 2020, т. 13, № 3, с. 16-22. DOI: 10.12737/2219-0767-2020-13-3-16-22.
14. *Hu X. Gong Y., Lai C. Leung F.K.S.* The relationship between ICT and student literacy in mathematics, reading, and science across 44 countries: A multilevel analysis // Computers and Education. – 2018, v. 125, p. 1-13. DOI: 10.1016/j.compedu.2018.05.021.
15. *Rohatgi A., Scherer R., Hatlevik O.E.* The role of ICT self-efficacy for students' ICT use and their achievement in a computer and information literacy test // Computers and Education. – 2016, v. 102, p. 103-116. DOI: 10.1016/j.compedu.2016.08.001.
16. *Евдокимова С.А., Кащенко М.А., Новикова Т.П.* Исследование заданий теста по дисциплине "Основы бухгалтерского учета" по моделям IRT // Моделирование информационных систем / Материалы Международной научно-практической конференции, 19-20 мая 2021 г. Воронеж. – Воронеж: ВГЛТУ, 2021, с. 61-68.

## **ФИЗИЧЕСКАЯ КУЛЬТУРА И ЗДОРОВЫЙ ОБРАЗ ЖИЗНИ СТУДЕНТОВ, И ИХ СОСТАВЛЯЮЩИЕ**

Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени ФГБОУ ВО «Московский технический университет связи и информатики», г. Ростов-на-Дону, Россия

Ключевые слова: физическая культура, здоровье, личность, образование.

В статье рассматривается формирование здорового образа жизни (ЗОЖ), как основного элемента физической культуры. Основное внимание уделяется роли ЗОЖ в ФК и спорта в жизни студента.

L.A. Gayevskaya

## **PHYSICAL CULTURE AND HEALTHY LIFESTYLE OF STUDENTS AND THEIR COMPONENTS**

North Caucasus branch of Moscow Technical University  
of Communications and Informatics, Rostov-on-Don, Russia

Keywords: physical culture, health, individual, education.

The article considers formation of a healthy lifestyle as the main element of physical culture. The main attention is paid to the role of healthy lifestyles and sports in the life of a student.

Здоровье молодого поколения сегодня напрямую связано не только с состоянием общественного здравоохранения, но и с самим образом жизни людей. В связи с этим определены основные задачи и цели проводимых мероприятий: многоуровневый подход к организации профилактических процедур, изменение образа жизни, разработка и реализация образовательных программ, направленных на сохранение и укрепление здоровья подростков и молодежи, формирование у каждого из них активной мотивации к укреплению собственного здоровья и здоровья окружающих. Таким образом, пропаганда и формирование здорового образа жизни включает в себя создание постоянно действующей информационно-пропагандистской системы, направленной на повышение уровня знаний всех категорий населения о влиянии и возможностях снижения всех негативных факторов на здоровье, привлечение населения к занятиям физической культурой, туризмом и спортом, повышение доступности этих видов оздоровления.

Обязательным условием эффективности этой работы являются ее целенаправленность, плановость и непрерывность проведения. Большое значение в основе формирования здорового образа жизни занимают личностно-мотивационные качества конкретного человека, его жизненные ориентиры. Никакие пожелания, приказы, наказания не могут заставить человека вести здоровый образ жизни, охранять и укреплять собственное здоровье, если он сам не будет сознательно формировать собственный стиль здорового поведения. Очевидно, что пропаганда здорового образа жизни — очень важная и ответственная социально-педагогическая задача.

Здоровье — бесценное достояние не только каждого человека, но и всего общества. Каждому из нас присуще желание быть сильным и здоровым, сохранить как можно дольше подвижность, бодрость, энергию и достичь долголетия. Эта главная ценность жизни. Здоровый образ жизни — это индивидуальная система поведения человека, рационально организованная и основанная на принципах нравственности, способствующая ведению активной, трудовой деятельности и, в то же время, защищающая от неблагоприятных воздействий окружающей среды; позволяющая до глубокой старости сохранять

---

нравственное, психическое и физическое здоровье. Как показывает большинство рекомендаций для построения профилактических программ важно понимать, на какую категорию населения направлено воздействие, каковы его временные рамки, осуществляется ли это воздействие на саму личность или на окружающую ее среду и в какой форме это происходит. Учитывая все эти факторы, можно определить основные направления профилактических работ.

Физическое здоровье — это состояние организма человека, адаптированного к различным условиям окружающей среды, состоянием физического развития, и готовностью к выполнению физических нагрузок. Основные факторы физического здоровья человека:

- уровень физического развития;
- уровень физической подготовленности;
- уровень подготовленности организма к выполнению физических нагрузок;
- уровень резервов организма.

Здоровье – один из важнейших компонентов человеческого счастья, одно из условий успешного социального и экономического развития. Каждому из нас присуще желание быть сильным и здоровым, сохранить как можно дольше подвижность, бодрость, энергию и достичь долголетия. Здоровье зависит от множества факторов. Ныне преобладает мнение, что здоровье народа на 50% определяется ЗОЖ, на 20% – экологическими, еще на 20% – биологическими и наследственными факторами и на 10% – медициной. Следовательно, если человек ведет ЗОЖ, то это на 50% предопределяет уровень его здоровья. И наоборот, человек, ведущий нездоровый образ жизни, подрывает свое здоровье, обрекает себя на страдания и мучения, преждевременную старость и безрадостную жизнь.

Основными элементами физической культуры как составляющей здорового образа жизни являются: двигательная культура, культура телосложения и культура здоровья. В основные показатели личностной физической культуры входят: отношение человека к своему здоровью как ценности, степень проявления этого отношения и его характер; уровень знаний о физическом здоровье, средствах и методах его сохранения и укрепления, а также умение их применять; ценности здоровья, соответствующие общественным образцам, нормам, идеалам; стремление оказать помощь другим людям в рамках деятельности по оздоровлению и физическому воспитанию. Структура здорового образа жизни – целостное единство предметно – вещного природного, социокультурного и духовного компонентов, социально творимого информационного, энергетического и пластического обеспечения оптимальной жизнедеятельности человека и общества. Структура ЗОЖ включает духовное, социокультурное и правовое пространство развития и деятельности родового человека, экологическую и предметно-вещную среду обитания индивида, что, в свою очередь, зависит от экономических, промышленно-производственных, агрокультурных, коммуникационных факторов. Оптимальный двигательный режим – важнейшее условие здорового образа жизни. Его основу составляют систематические занятия физическими упражнениями и спортом, эффективно решающие задачи укрепления здоровья и развития физических способностей молодежи, сохранения здоровья и двигательных навыков, усиления профилактики неблагоприятных возрастных изменений. При этом физическая культура и спорт выступают как важнейшее средство воспитания.

Рациональный режим труда и отдыха – необходимый элемент здорового образа жизни. При правильном и строго соблюдаемом режиме вырабатывается четкий и необходимый ритм функционирования организма, что создает оптимальные условия для работы и отдыха и тем самым способствует укреплению здоровья, улучшению работоспособности и повышению производительности труда.

Немаловажное значение оказывает на здоровье и состояние окружающей среды. Вмешательство человека в регулирование природных процессов не всегда приносит желаемые положительные результаты. Закаливание – мощное оздоровительное средство.

---

Оно позволяет избежать многих болезней, продлить жизнь на долгие годы, сохранить высокую работоспособность. Закаливание оказывает общеукрепляющее действие на организм, повышает тонус нервной системы, улучшает кровообращение, нормализует обмен веществ. В России закаливание издавна было массовым. Польза закаливания с раннего возраста доказана громадным практическим опытом и опирается на солидное научное обоснование. Эффективность закаливания возрастает при использовании специальных температурных воздействий и процедур.

Основные принципы их правильного применения должны знать все: систематичность и последовательность; учет индивидуальных особенностей, состояния здоровья и эмоциональные реакции на процедуру. Еще одним действенным закаливающим средством может и должен быть до и после занятий физическими упражнениями контрастный душ. Контрастные души тренируют нервно-сосудистый аппарат кожи и подкожной клетчатки, совершенствуя физическую терморегуляцию, оказывают стимулирующее воздействие и на центральные нервные механизмы.

Опыт показывает высокую закаливающую и оздоровительную ценность контрастного душа как для взрослых, так и для детей. Хорошо действует он и как стимулятор нервной системы, снимая утомление и повышая работоспособность. Закаливание – мощное оздоровительное средство. Оно позволяет избежать многих болезней, продлить жизнь на долгие годы, сохранить высокую работоспособность. Закаливание оказывает общеукрепляющее действие на организм, повышает тонус нервной системы, улучшает кровообращение, нормализует обмен веществ. Эффект закаливания недолговечен, он длится только во время закаливания организма и недолго после него, поэтому закаливание должно быть постоянным и последовательным, им следует заниматься ежедневно.

Физическая культура – составная часть общей культуры. Она не только укрепляет здоровье, но и избавляет от некоторых врожденных и приобретенных недугов. Физическая культура нужна людям и физического и умственного труда. Физическая культура и физическая активность выступают важнейшими факторами укрепления здоровья, что необходимо для людей любого возраста. Следует заметить, что занятия спортом являются лишь небольшой частью той физической активности, которую человек совершает в течение дня. Спорт – это важный компонент для увеличения физической активности, но он не обязателен для тех, кто поддерживает себя в тонусе весь день. Спорт является профессиональной деятельностью и им может заниматься довольно ограниченный круг людей. Физическая активность же — это обычная ежедневная физическая деятельность людей. К ней относятся работа на садовом участке, плавание, ходьба, лыжные прогулки, езда на велосипеде, туристические походы, домашние дела, различные танцы. Любые телодвижения являются физической активностью. Человек получает пользу для своего здоровья от занятий физической активностью в любом возрасте. Способ достижения гармонии человека один – систематическое выполнение физических упражнений. Кроме того, экспериментально доказано, что регулярные занятия физкультурой, которые рационально входят в режим труда и отдыха, способствуют не только укреплению здоровья, но и существенно повышают эффективность производственной деятельности. Однако не все двигательные действия, выполняемые в быту и процессе работы, являются физическими упражнениями. Ими могут быть только движения, специально подбираемые для воздействия на различные органы и системы, развития физических качеств, коррекции дефектов телосложения.

Здоровье – это первая и важнейшая потребность человека, определяющая способность его к труду и обеспечивающая гармоничное развитие личности. Поэтому значение физической культуры в развитии здорового образа жизни огромно.

---

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Всемирная организация здравоохранения. Европейское региональное бюро. Санитарная грамотность. Убедительные факты. 2018г. [http://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0010/254377/Health\\_Literacy\\_RU\\_web.pdf](http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0010/254377/Health_Literacy_RU_web.pdf)
2. Биржаков М.Б. Введение в туризм. М. – СПб., 2011.
3. Васильева О.С., Правдина Л.Р., Литвиненко С.Н. Книга о новой физкультуре (оздоровительные возможности физической культуры). Ростов-на-Дону, 2010.
4. Масляков В.А., Матяжев В.С. Массовая физическая культура в ВУЗе. М., 1991.
5. Швальбе Б., Швальбе Х. Личность, карьера, успех. М., 1993.

Д.А. Безуглов<sup>1</sup>, П.С. Шевчук<sup>1,2</sup>

### **ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИЯ МОБИЛЬНОГО ИНСПЕКЦИОННО-ДОСМОТРОВОГО КОМПЛЕКСА НА ОСНОВЕ ИНТЕРАКТИВНОГО MR ТРЕНАЖЕРА СТ-2630М ДЛЯ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ ТАМОЖЕННЫХ ОРГАНОВ**

Ростовский филиал Российской таможенной академии, Ростов-на-Дону, Россия<sup>1</sup>  
Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Россия<sup>2</sup>

Ключевые слова: мобильный инспекционно-досмотровый комплекс, виртуальной реальности, смешанная реальность, иммерсивные технологии, MR тренажер.

В статье представлены новые перспективы, которые внедряются в основу будущей парадигмы образования. Набирающие популярность технологии виртуальной реальности определяют ключевые позиции в ближайшем будущем, а перспективы использования иммерсивных технологий позволяют по-новому взглянуть на систему взаимодействия человека с компьютером. Предложена методика внедрения иммерсивных технологий при проведении практических занятий с использованием интерактивного тренажера дополненной реальности МИДК СТ-2630М.

D.A. Bezuglov<sup>1</sup>, P.S. Shevchuk<sup>1,2</sup>

### **INTELLECTUALIZATION OF MOBILE INSPECTION COMPLEX BASED ON INTERACTIVE MR SIMULATOR ST-2630M FOR TRAINING SPECIALISTS OF CUSTOMS AUTHORITIES**

Rostov Branch of the Russian Customs Academy, Rostov-on-Don, Russia<sup>1</sup>  
Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia<sup>2</sup>

Keywords: mobile inspection complex, virtual reality, mixed reality, immersive technologies, MR simulator.

The article presents new perspectives that are being introduced into the basis of the future paradigm of education. The growing popularity of virtual reality technologies determine the key positions in the near future, and the prospects for the use of immersive technologies allow us to take a fresh look at the system of human interaction with a computer. A technique for introducing immersive technologies during practical classes using the interactive augmented reality simulator MIDC ST-2630M is proposed.

## 1. Введение.

Активное внедрение электронного обучения, цифровизация образовательного процесса диктуют иные требования к подходам и технологиям [10]. Можно выделить следующие преимущества иммерсивного подхода в образовании:

1. Наглядность. Виртуальное пространство позволяет детально проанализировать объекты и процессы, которые невозможно или очень сложно проследить в реальном мире. Например, возможность рассмотреть основные составляющие эксплуатации мобильного инспекционно-досмотрового комплекса, работу различных механизмов и узлов, процессы технического обслуживания МИДК СТ-2630М и организация его применения в таможенном органе – технология MR открывает колоссальные возможности.
2. Сосредоточенность. В виртуальном мире на студента практически не воздействуют внешние раздражители. Он может всецело сконцентрироваться на практическом занятии и лучше усваивать его.
3. Вовлечение. Сценарий процесса обучения можно с высокой точностью запрограммировать и контролировать. В виртуальной реальности студенты могут проводить эксперименты, рассматривать тактику и методику использования МИДК и решать сложные задачи в более увлекательной и понятной игровой форме.
4. Безопасность. В виртуальной реальности можно без каких-либо рисков проводить сложные операции, оттачивать навыки управления транспортом, применение рентгеновского излучения при сканировании автотранспортных средств, экспериментировать и многое другое. Независимо от сложности сценария студент не нанесет вреда себе и другим.
5. Эффективность. Опираясь на уже проведенные эксперименты, можно утверждать, что результативность обучения студентов с применением MR тренажеров значительно выше, чем классического формата.

Цель настоящей статьи — рассмотрение методики проведения занятий с использованием тренажера смешанной реальности, предназначенного для демонстрации работы составных модулей и процедуры технического обслуживания мобильного инспекционно-досмотрового комплекса СТ-2630М.

В статье будет рассмотрен процесс создания и выбор оборудования для создания интерактивного MR тренажера МИДК СТ-2630М, представленного на рис.1. В его составе рассмотрена интерактивная 3D-модель, на которой продемонстрированы основных модули МИДК: специальное автотранспортное средство; кабина водителя; система рентгеновского излучателя; стрела с детекторной линейкой; главный шкаф управления; отсек операторов анализа информации.



Рисунок 1. Общий вид МИДК СТ-2630М.

---

## **2. Интерактивные методы в учебном процессе.**

Выполнение комплекса упражнений и демонстраций MR тренажера позволит сформировать у студента углубленные профессиональные компетенции специалистов таможенного дела. Используемая технология смешанной реальности стимулирует интерес студентов к изучению материала, и так же позволит наглядно продемонстрировать основные этапы и процессы работы МИДК, и его технического обслуживания □7 - 9□.

В настоящее время набирает популярность использование интерактивных методов демонстрации информации, в частности технологии смешанной реальности, в обучающем процессе □10□.

Это обеспечивается, в основном, благодаря наглядной подаче информации обучаемому, с привязкой к реальным объектам. Виртуальный тренажер представляет собой программный комплекс, позволяющий проводить физические опыты на компьютере без непосредственного контакта с реальной лабораторной установкой или стендом. В виртуальных тренажерах динамика процессов реализуется посредством компьютерной анимации – комплекса методов отображения каких-либо объектов во времени.

Процессы формирования понятий при помощи анализа, сравнения, выделения существенных признаков и других логических операций воспроизводятся специалистом, разрабатывающим анимацию, в образной форме, и интерактивно выводятся на дисплей компьютера в строго определенных последовательностях. Мультимедийная учебно-научная лаборатория, как правило, сочетает в себе имитационную динамическую модель оборудования и программную оболочку, включающую методическое сопровождение практического занятия. Динамическая модель формируется из совокупности элементов управления, позволяющих регулировать конкретные входные параметры и считывать выходные параметры опыта, тем самым имитируя протекание физических процессов.

На данный момент в процессе обучения зачастую не представляется возможным провести выездное практическое занятие для группы студентов с полноценной демонстрацией реального МИДК СТ-2630М и всех процессов его технического обслуживания. По этой причине необходим альтернативный, наглядный способ демонстрации студентам, в качестве которого выбран подход смешанной реальности.

## **3. Тренажер МИДК СТ-2630М.**

Создание MR тренажера осуществляется путем трехмерного моделирования реального МИДК СТ-2630М, включая все его составные модули, и оборудование. После чего создается набор режимов и сценариев, идентичных реальным процессам при работе с МИДК СТ-2630М и соответствующий целям программы обучения. Связь виртуальных 3D моделей и сценариев осуществляется в рамках объектно-ориентированного подхода в среде разработки трехмерных приложений.

В тренажёр заложены регламенты работы с оборудованием, технология обслуживания и ремонта, порядок действий оператора на различных этапах использования оборудования. Весь процесс обучения происходит с применением интерактивного взаимодействия. Обучаемый видит правдоподобную анимацию работы оборудования МИДК СТ-2630М, в реальном времени следит за показаниями виртуальных приборов и получает смоделированную тренажёрной обратной связью.

Все результаты обучения хранятся и могут быть использованы в дальнейшем для работы над ошибками и повышения квалификации. В тренажёр заложены принципы развития практических навыков с одновременной теоретической подготовкой — тренажёр способен «учиться» вместе с обучаемым.

Система состоит из двух частей: программной, на основе технологии компьютерного распознавания образов, и мобильной аппаратной части - очков дополненной реальности. Достаточно навести очки на специальные метки, и система трекинга распознает объект. После этого она запустит приложение.

---

Модель оснащена передовой технической «начинкой», чувствительными микрофонами, а также расширенным набором датчиков для эффективной работы с голограммами и 3D-контентом. Microsoft Hololens – одни из лучших MR-очков для использования в промышленности, строительстве, удаленного управления студентами, в образовательных процессах и др.

В состав тренажера входят очки смешанной реальности Microsoft Hololens в количестве 1шт, представленные на рис. 2.



Рисунок 2. Комплект смешанной реальности Hololens

На очках смешанной реальности Hololens уже установлено и настроено программное обеспечение MR тренажера, никаких дополнительных действий по его настройке не требуется. Запуск очков осуществляется путем нажатия кнопки Вкл/Выкл, расположенной на задней части корпуса. В том же месте расположен индикатор состояния и заряда батареи, который состоит из 5 индикаторных светодиодов.

Включение очков смешанной реальности рекомендуется совершать в помещении с минимальными размерами 2.5х2.5 метра для обеспечения удобной работы. Освещение в рабочей комнате должно быть среднего уровня, несколько ниже, обычного дневного. Использовать систему на открытом пространстве не рекомендуется, поскольку голографические изображения становятся блеклыми, что затрудняет их восприятие.

При первом включении или после долго перерыва в использовании MR тренажера необходимо провести калибровку системы. Для этого достаточно запустить приложение и надев очки смешанной реальности пройти по комнате по несколько шагов от выбранного рабочего места, периодически поворачивая голову, так система отследит предметы окружения и трекинг будет работать стабильно.

Автоматические настройки системы выбраны оптимально и изменять их не рекомендуется. Все взаимодействие с объектами MR тренажера в смешанной реальности осуществляется при помощи жестов или контроллера входящего в комплект системы Hololens. Для управления жестами нужно расположить руку прямо перед лицом на расстоянии примерно 40-60 см.

При прохождении данного режима, пользователю предлагается ознакомиться с основными узлами и агрегатами мобильного инспекционно-досмотрового комплекса «СТ-2630М», их размещением, назначением и краткой характеристикой.

Изначально перед пользователем (примерно на расстоянии 1.5 м) возникает МИДК в уменьшенном масштабе. Над теми частями МИДК, с которыми пользователь может взаимодействовать расположены указатели в виде интерактивных табличек.

К ознакомлению, пользователю доступны следующие части МИДК: кабина водителя; система рентгеновского излучателя; стрела с детекторной линейкой; главный шкаф управления; отсек операторов анализа информации.

Для получения информации о функциональной части комплекса, необходимо навести на интерактивную табличку с названием и выбрать ее, в результате запустится анимация, приближающая к пользователю определенную часть объекта, и начнет проигрываться звуковое сопровождение с описанием назначения данного блока. Ниже на рисунках (см. Рис. 3, 4) показано как должна выглядеть демонстрация частей МИДК в MR тренажере.

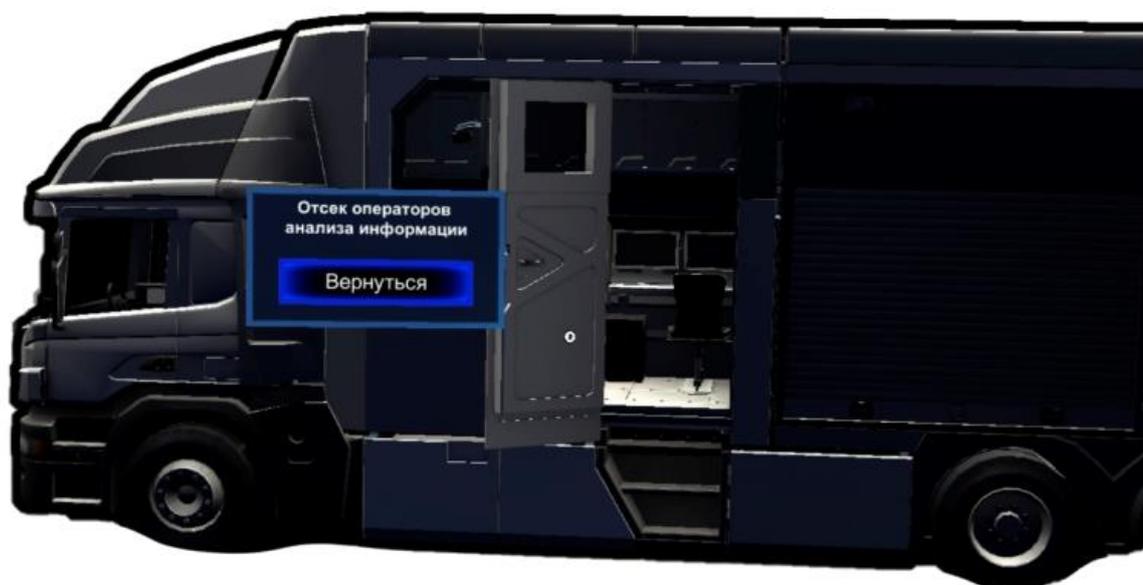


Рисунок 3. Отсек операторов анализа информации.

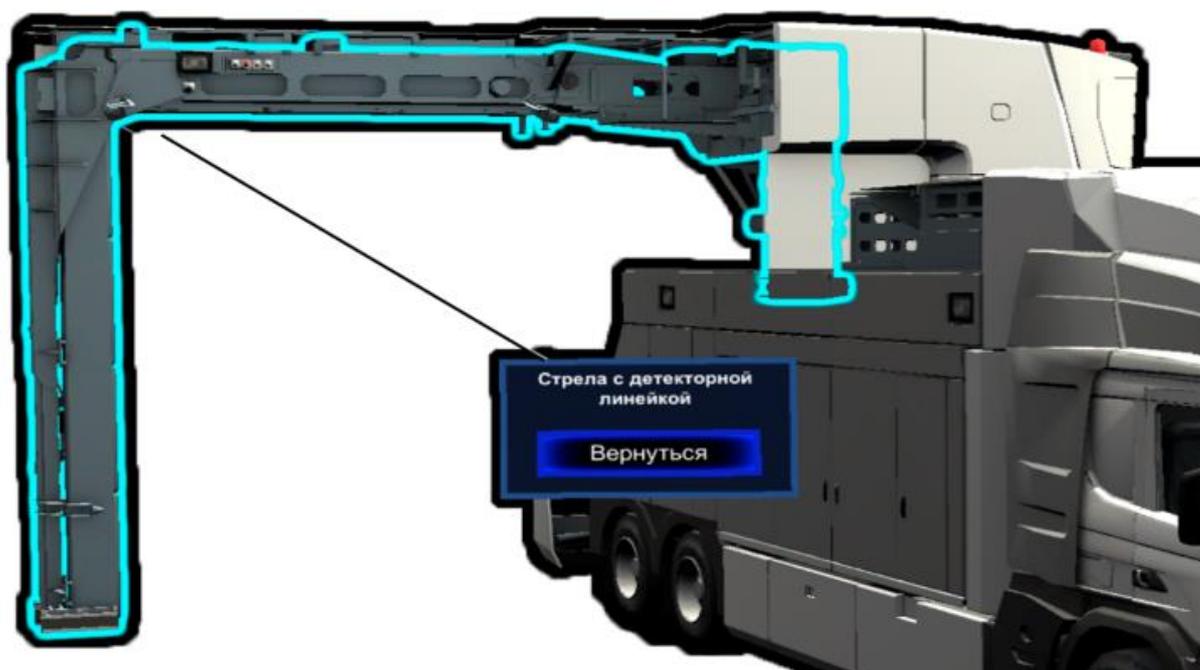


Рисунок 4. Стрела с детекторной линейкой

Для того чтобы рассмотреть детали МИДК, пользователь может приблизиться к виртуально 3D модели комплекса, и при пересечении стенок модели может видеть

внутренние составляющие, что может быть использовано для осмотра «операторского отсека» и «кабины водителя». Для возврата к сцене общего вида МИДК необходимо нажать кнопку «Вернуться». Для возврата к основному меню выбора режимов нужно нажать кнопку «Закреть», находящуюся справа от виртуальной 3D модели МИДК.

#### **4. Режим «Сканирование».**

В данном режиме пользователю предлагается изучить полный рабочий цикл работы МИДК, включающий следующие процедуры: развертывание; сканирование; анализ изображений; сворачивание.

После запуска режима, перед пользователем возникает сцена, на которой расположен МИДК, объект сканирования (грузовое транспортное средство) и беспроводной пульт контроля состояний и управления МИДК, через которое осуществляется процедура управления МИДК.

Процедура сканирование запускается нажатием кнопки «Начать Сканирование». На экране беспроводного пульта управления изменяется поле статуса. В этот момент автоматически включается излучение. Сканирование происходит до тех пор, пока оптический 3D датчик не обнаружит задний габарит транспортного средства. Во время процедуры сканирования, объект сканирования (грузовое транспортное средство) покоится, при этом вдоль него движется МИДК, представленный на рис. 5.

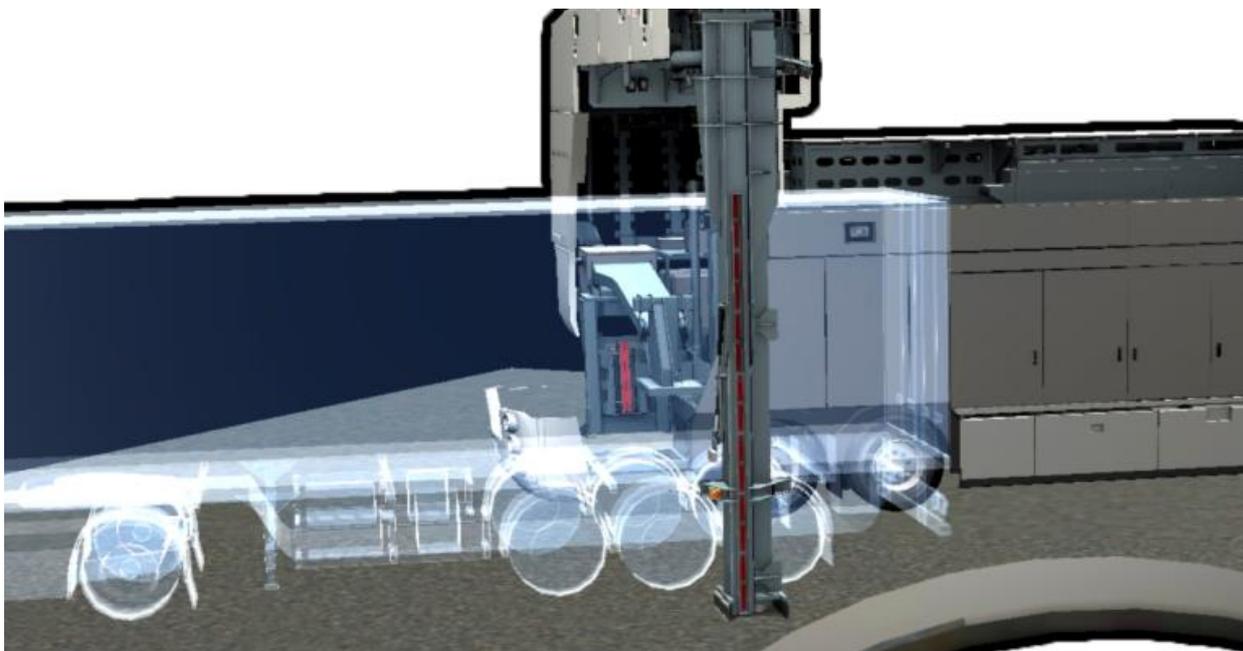


Рисунок 5. Процесс сканирования

По окончании процесса сканирования полученное радиоскопическое изображение передается на одну из рабочих станций анализа изображений (в MR тренажере, вывод изображения выполнен на экран беспроводного пульта управления в целях демонстрации). После нажатия кнопки «Остановить сканирование» сканирование прекращается.

Последним шагом является процедура «Сворачивания» МИДК, она запускается по нажатию кнопки «Сворачивание» на пульте управления. После нажатия запускается анимация процедуры перевода МИДК из рабочего положения в транспортное  $\square 6 \square$ . Для возврата к основному меню выбора режимов нужно нажать кнопку «Закреть», находящуюся справа от виртуальной 3D модели МИДК.

### **Заключение.**

Таким образом, технологии виртуальной реальности, иммерсивные технологии стали мощным и многообещающим инструментом в образовании благодаря их уникальным технологическим характеристикам, которые отличают их от других ИТ-приложений. Ряд взглядов свидетельствует о кардинальном изменении привычного мира, предстоящей революции, которая затронет в том числе и обучение. В этом крупной задачей видится изменение педагогических технологий, создание перспективных интегрированных обучающих систем, где ключевая роль будет отведена иммерсивному подходу – совокупности прогрессивных приемов, реализующихся в принципиально новых условиях.

Выполнение комплекса упражнений и демонстраций MR тренажера позволит сформировать у студента углубленные профессиональные компетенции специалистов таможенного дела. Используемая технология смешанной реальности стимулирует интерес студентов к изучению материала, и так же позволит наглядно продемонстрировать основные этапы и процессы работы МИДК.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Krutov, V., Bezuglov, D., Voronin, V. Television images identification in the vision system basis on the mathematical apparatus of cubic normalized B-splines 2017 Serbian Journal of Electrical Engineering
2. Bezuglov D.A., Kuzin A.P., Voronin V.V. Contour detection based on wavelet differentiation // Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering "Mobile Multimedia/Image Processing, Security, and Applications 2016" 2016. С. 986-900.
3. Bezuglov D.A., Bezuglov Y.D., Shvidchenko S.A. Method of discrete wavelet analysis of edges on the random background // 22nd International Conference in Central Europe on Computer Graphics, Visualization and Computer Vision, WSCG 2014, Poster Papers Proceedings - in co-operation with EUROGRAPHICS Association 22. 2014. С. 15-19.
4. Voronin V.V., Marchuk V.A., Bezuglov, D.A., Butakova, M. A. Inpainting strategies for reconstruction of missing data in images and videos: Techniques, algorithms and quality
5. Bezuglov D.A., Kuzin A., Voronin V.V. Contour detection based on wavelet differentiation Proceedings of SPIE - the international society for optical engineering "Mobile multimedia/image processing, security, and applications 2016" 2016. с. 986-900.
6. Мантусов, В.Б. Таможенное дело: практика и теория применения ИДК: учебник / В. Б. Мантусов, П.Н. Башлы, В.Ф. Вербов, А.В. Карасев. - Ростов н/Д: Российская таможенная академия, Ростовский филиал, 2019. - 360 с.
7. Вербов, В. Ф. Мобильный инспекционно-досмотровый комплекс СТ-2630М: сборник документов / В. Ф. Вербов, А. В. Шевцов. - Ростов н/Д: Российская таможенная академия, Ростовский филиал, 2018. - 124 с.
8. Вербов В.Ф., Шевчук П.С. Совершенствование организации таможенного осмотра с использованием инспекционно-досмотровых комплексов на основе повышения качества рентгеновских изображений. Таможенное дело. 2019. № 2. С. 3-5.
9. Вербов В.Ф., Шевчук П.С. Актуальные вопросы деятельности операторов инспекционно-досмотровых комплексов. Таможенное дело. 2020. № 3. С. 19-22.
10. Корнилов Ю.В., Попов А.А. VR-технологии в образовании: опыт, обзор инструментов и перспективы применения // Инновации в образовании. 2018. № 8. С. 117-129.

## ЭЛЕКТРОННАЯ ПОДПИСЬ КАК СРЕДСТВО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ КОМПАНИЙ И ПРЕДПРИЯТИЙ

Российская таможенная академия, Ростовский филиал, Ростов-на-Дону<sup>1</sup>  
Южный Федеральный Университет, Ростов-на-Дону, Россия<sup>2</sup>  
Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени ФГБОУ ВО  
«Московский технический университет связи и информатики», г. Ростов-на-Дону, Россия<sup>3</sup>

Ключевые слова. Электронный документооборот, электронная подпись, экономическая безопасность, электронные торги.

В данной статье раскрывается сущность и преимущества электронного документооборота, существование которого проблематично без наличия электронной подписи. Рассматриваются виды электронных подписей и их отличительные характеристики, а также их достоинства и основные случаи использования. Приводятся статистические данные по выдаче сертификатов электронных подписей.

P. N. Bashly<sup>1</sup>, V. V. Mavrina<sup>2</sup>, V.I. Yukhnov<sup>3</sup>

## ELECTRONIC SIGNATURE AS A MEANS OF ENSURING THE ECONOMIC SECURITY OF COMPANIES AND ENTERPRISES

Russian Customs Academy, Rostov Branch, Rostov-on-Don<sup>1</sup>  
South Federal University, Rostov-on-Don, Russia<sup>2</sup>  
North Caucasus branch of Moscow Technical University  
of Communications and Informatics, Rostov-on-Don, Russia<sup>3</sup>

Keywords: electronic document management, electronic signature, economic security, electronic bidding.

This article reveals the essence and advantages of electronic document management, the existence of which is problematic without an electronic signature. The types of electronic signatures and their distinctive characteristics, as well as their advantages and main use cases are considered. Statistical data on the issuance of certificates of electronic signatures are provided.

С каждым годом повышается значимость и актуальность вопроса обеспечения экономической безопасности предприятий, как на внутреннем, так и на внешнем уровне. В свою очередь под экономической безопасностью предприятия понимается такое состояние, при котором ресурсы используются наиболее эффективно для того, чтобы предотвратить угрозы и стабилизировать функционирование самого предприятия. И поскольку сегодняшний век призван веком высоких и информационных технологий, то отдельного внимания заслуживают именно те технологии, которые могут быть применимы в целях обеспечения безопасности экономической сферы.

Одой из таких технологий является электронный документооборот, который упрощает взаимодействие внутри предприятия, между различными компаниями, а также между предприятиями и государственными органами. Кроме того, электронный документооборот экономит время, является мобильным и эргономичным.

Но ведение электронного документооборота невозможно без существования электронной подписи. Электронная подпись является прогрессивным инструментом для обмена юридической документации и заключения сделок. Кроме того, она обеспечивает эффективность процессов коммуникации, сокращает издержки, упрощает пути подписания

---

документации, уменьшает объём и количество стадий документооборота, оптимизирует процесс оказания услуг.

Использование электронной подписи является конкурентным преимуществом компаний. Поскольку она позволяет быстрее удовлетворять потребности клиентов и заключать сделки, пока другие только готовят документы на подпись руководства и ждут его одобрения в очном формате. Данная ситуация безусловно будет отражаться на финансово-экономических показателях компаний, только у одних они будут положительным и удовлетворительными, а у других и вовсе могут стать отрицательными. Таким образом, электронная подпись становится важным элементом в устойчивом развитии предприятия.

Визуальное представление электронной подписи не является обязательное составляющей документа, то есть документ будет подписан, а визуально на бумаге подписи может и не быть.

В современных информационных реалиях получило широкое распространение цифровая электронная подпись – это информация, представленная в цифровом виде и связанная с электронным документом. Такая информация позволяет проводить идентификацию человека, который подписал документ, как полноправного участника документооборота и защищает данные, содержащиеся в документе, от подделки. Электронные подписи создают с помощью определённых криптографических преобразований данных с использованием специальных ключей, которые представляют собой определённую последовательность символов. Такие ключи являются аналогом собственноручных подписей на бумаге и имеют такую же юридическую силу.

Кроме того, электронную подпись практически невозможно подделать, и она является тем средством, которое позволяет определять отсутствие каких-либо изменений в документе. Безусловно опытные мошенники и правонарушители могут попробовать подделать электронную подпись, но для этого необходимо подобрать нужную комбинацию и последовательность символов криптографического ключа, для чего необходимо проведение больших сложных математических вычислений, на которые уйдут месяцы работы.

В Российской Федерации существует Федеральный Закон № 64 «Об электронной подписи» от 06.04.2011, согласно которому следует разделять три вида электронной подписи, а именно простую электронную подпись, неквалифицированную электронную подпись и квалифицированную электронную подпись. Каждый из последующих видов подписей дополняет и усложняет предыдущую и расширяет её возможности.

Простая электронная подпись указывает на лицо, подписавшее документ, но она не может определить факта внесения изменений в документ. Для её использования нет необходимости в применении сертификата ключа электронной подписи, а следовательно этот вид подписи обладает самой большой вероятностью подделки. Простую электронную подпись в основном применяют для подписи электронных сообщений, которые могут быть адресованы должностным лицам или же органам власти различных уровней.

Неквалифицированную электронную подпись при создании связывают с её владельцем. Она имеет такую же юридическую силу, как и традиционная подпись. Этот вид подписи уже имеет защиту специальным ключом и позволяет обнаружить факт изменения данных в документе, тем самым защищая информацию и данные, находящиеся в подписанном документе, от фальсификации. Такую подпись возможно заказать в неграфитированных центрах сертификации.

Квалифицированная электронная подпись является самым безопасным надёжным видом электронной подписи, поскольку для её создания и функционирования необходим специальный сертификат, который может выдать только аккредитованный сертификационный центр, то есть организация, которая выдаёт сертификаты идентификационных ключей электронной подписи. При создании квалифицированной

---

электронной подписи используются программные средства, утверждённые ФСБ, что и является гарантом безопасности и надёжности такой подписи.

Важно заметить, что и неквалифицированные и квалифицированные электронные подписи могут полностью заменять обычные подписи и печати во всех случаях, кроме тех которые исключаются Федеральным Законом.

Как и у любой технологии, у электронных подписей есть свои преимущества и недостатки. Если говорить об их достоинствах, то следует отметить, что их использование:

- снижает затраты на ведение бухгалтерского учёта, доставку и хранение документов;
- снижает риски потери данных;
- снижает риски потери денежных средств из-за утечки конфиденциальной информации;
- гарантирует подлинность документации предприятий.

Среди случаев применения электронной подписи следует выделить следующие: электронные торги, электронный документооборот, электронная отчётность.

Электронные торги являются современной формой торговли, в рамках которой на специализированных площадках выставляются заказы на поставку товаров или предоставления услуг. Электронная подпись здесь применяется для того, чтобы подписывать необходимую документацию, а вид подписи зависит от условий функционирования электронной площадки, на которой проводятся торги.

Электронный документооборот – это такой способ обмена документацией, который осуществляется через специальную электронную систему посредством Интернета. Такая система используется компаниями для того, чтобы отправлять различную документацию, как сотрудникам, так и другим контрагентам, которые могут быть как физическими, так и юридическими лицами. Электронная подпись в этом случае необходима для удостоверения документов и писем и соответственно в зависимости от целей назначений письма или документа используется тот или иной вид подписи.

Электронная отчётность – система, которая упрощает взаимодействие между компанией и контролирующими органами. С её помощью можно сдавать ежеквартальные отчёты для налоговой и пенсионного фонда, соответственно, чтобы удостоверить подлинность данных документов необходима квалифицированная электронная подпись. Такая система экономит время и упрощает логистику процесса передачи и хранения документов.

Помимо того, что электронная подпись упрощает работу компании как на внутреннем, так и на внешнем уровне, он позволяет снижать различные риски мошеннических угроз и экономить ресурсы.

С каждым годом в Российской Федерации растёт количество пользователей электронной подписью, о чём свидетельствуют статистические данные. К примеру, с 2005 по 2016 год спрос на электронные подписи вырос в 10 раз. В 2020 году специалисты удостоверяющего центра Федеральной кадастровой палаты Росреестра выдали 8 404 сертификата усиленной квалифицированной электронной подписи, не считая другие виды подписей. На мой взгляд, объём данного рынка продолжит расти и в последующие года. Поскольку вопрос обеспечения экономической безопасности предприятий в настоящее время достаточно актуален.

К тому же за несколько последних лет не известно случаев мошенничества с усиленной квалифицированной подписи, чего нельзя сказать о случаях мошенничества на бумаге. Единственно несмотря на то, что доверие к электронной подписи, бесспорно мошенничество возможно. Но оно связано с проблемой идентификации заявителя при получении сертификата. Но в настоящее время трудности поэтапно устраняются, поскольку уже с этого года ужесточаются требования к удостоверяющим центрам.

Таким образом, в современном мире достаточно важно внедрять в функционирование предприятие те информационные технологии, которые позволяют

---

сэкономить денежные средства, но и время и ресурсы, поскольку тогда появится дополнительное время на достижение положительных финансовых показателей. Кроме того, остаётся важным вопросом своевременное обеспечение экономической безопасности предприятия, поскольку от неё в принципе может зависеть дальнейшая судьба предприятия.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузнецова Е. И. Экономическая безопасность: учебник и практикум для ВУЗов. - М.: Юрайт, 2018, с. 291.
2. Электронная подпись. Режим доступа URL: <https://www.business.ru/rubric/160-elektronnaya-podpis> (Дата обращения: 19.10.2022).
3. Что стало с рынком ЭЦП после 1 июля 2021 года: обзор удостоверяющих центров. Режим доступа URL: <https://www.klerk.ru/blogs/astral/517863/> (Дата обращения: 20.10.2022).

С.Л. Никитченко<sup>1</sup>, В.И. Юхнов<sup>2</sup>

#### МЕТОД ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИМ ОБСЛУЖИВАНИЕМ МАШИН

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Донской государственный технический университет»,  
Ростов-на-Дону, Россия<sup>1</sup>

Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени ФГБОУ ВО «Московский технический университет связи и информатики», г. Ростов-на-Дону, Россия<sup>2</sup>

Ключевые слова: техническое обслуживание, программное обеспечение, качество, показатели надёжности, процессное управление, стандарт, инструкции по тестированию программ.

Техническое обслуживание (ТО) сельскохозяйственной техники направлено на поддержание работоспособности машин и их потребительских свойств. Мероприятия ТО организуются и выполняются инженерно-техническими работниками (ИТР) фирменных сервисных центров, либо ИТР сельскохозяйственных предприятий. Управление технической эксплуатацией машин в отечественном сельхозпроизводстве практически не автоматизировано, а ИТР не имеют специального программного обеспечения (ПО) для планирования, контроля, учёта и информационной поддержки мероприятий ТО, а также для оценки уровня надёжности эксплуатируемых объектов. Внедрение готовых импортных решений, поддерживающих концепцию процессного управления, зачастую не оправдано из-за специфики организации отечественного механизированного производства и применяемых стратегий технического обслуживания и ремонта (ТОР) машин. Разработка методики оценки соответствия конкретного управленческого ПО перечню требований управляемой системы и действующих отраслевых стандартов является актуальной задачей. В данной статье предлагается подход к оценке качества программного обеспечения для ИТР, осуществляющих управление мероприятиями ТО, ведение инженерного документооборота, управление складом запасных частей. Применение предлагаемой методики оценки качества будет способствовать оперативному внедрению специализированного ПО на предприятиях и повышению уровня эксплуатационной надёжности сельскохозяйственной техники.

**SOFTWARE QUALITY ASSESSMENT METHOD FOR MAINTENANCE  
MANAGEMENT OF AGRICULTURAL MACHINERY**

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia<sup>1</sup>  
North Caucasus branch of Moscow Technical University  
of Communications and Informatics, Rostov-on-Don, Russia<sup>2</sup>

**Keywords:** maintenance, software, quality, reliability indicators, process management, standard, software testing instructions.

Maintenance (TO) of agricultural machinery is aimed at maintaining the performance of machines and their consumer properties. Maintenance activities are organized and carried out by engineering and technical workers (ITR) of branded service centers, or engineers of agricultural enterprises. The management of technical operation of machines in domestic agricultural production is practically not automated, and engineers do not have special software (software) for planning, monitoring, accounting and information support of maintenance activities, as well as for assessing the level of reliability of operated facilities. The introduction of ready-made imported solutions that support the concept of process management is often not justified due to the specifics of domestic mechanized production and the applied strategies for maintenance and repair (TOR) of machines. The development of a methodology for assessing the compliance of specific management software with the list of requirements of the managed system and current industry standards is an urgent task. This article proposes an approach to assessing the quality of software for engineers who manage maintenance activities, maintain engineering workflow, and manage a spare parts warehouse. The application of the proposed quality assessment methodology will facilitate the rapid implementation of specialized software at enterprises and increase the level of operational reliability of agricultural machinery.

**Введение.**

Отечественное сельскохозяйственное производство характеризуется высоким уровнем механизации технологических процессов. Для поддержания работоспособности сельскохозяйственной технике необходимо проводить периодические мероприятия ТО в соответствии с регламентами заводов-изготовителей. Организация и проведение данных мероприятий связана с решением комплекса инженерных задач – планирование ТО, учёт текущей наработки машин, постановка на ТО и его проведение, учёт и документирование сервисных работ, резервирование и учёт расхода запасных частей, информационно-технологическое обеспечение сервисных работ, оценка уровня надёжности эксплуатируемых объектов и др. Для решения комплекса перечисленных инженерных задач необходимо специализированное программное обеспечение. Анализ показывает, что за рубежом для этих целей широко применяются ЕАМ и МРО системы [1]. Их внедрение в отечественном сельхозпроизводстве пока не получило большого распространения по причине относительно высокой стоимости и отсутствия специалистов, способных выполнить настройку и адаптацию систем к условиям производства. Отечественные софтверные компании практически не предлагают сельскому хозяйству информационные системы, поддерживающие процессное управление полным перечнем мероприятий ТО машин. Пока здесь доминирует единичная разработка подобных систем по заявкам отдельных предприятий, но на фоне всеобщей цифровизации производств массовое применение такого ПО в скором будущем неизбежно. И в этой связи особую актуальность приобретает задача оценки качества программного продукта для рассматриваемой предметной области, его тестирование и доработка с устранением выявленных недостатков.

Методы оценки качества ПО для поддержки управленческих решений в области ТО сельскохозяйственной техники базируются на двух составляющих:

- 
- проверка соответствия программного обеспечения требованиям действующих стандартов системы ТО машин и достижениям передового производственного опыта;
  - соответствие ПО международным стандартам по оценке качества программного обеспечения.

В соответствии с ISO 9126, модель качества ПО включает шесть структурных наборов оценочных характеристик: функциональность, надёжность, мобильность, практичность, сопровождаемость, эффективность [2]. Каждая из этих характеристик должна максимально отражать потребности и специфику предметной области. Здесь следует учитывать, что перспективной стратегией ТО машин является стратегия с контролем уровня их надёжности в процессе эксплуатации. Для реализации такой стратегии требуется наличие в каждом эксплуатирующем технику предприятии системы сбора и обработки информации о надёжности машин. Машины, оснащённые бортовыми средствами диагностирования и передачи данных по современным ИТ-коммуникациям, уже имеют часть такой системы в своей конструкции. Другая часть системы является офисным ПО на рабочем месте инженера, отвечающего за работоспособность техники. Функционально данное ПО кроме поддержки управленческих задач и информационной поддержки технологий сервисных работ должно осуществлять расчёт фактического значения комплексного показателя надёжности каждой эксплуатируемой машины. На основании полученных значений показателей надёжности инженеры смогут осуществлять разработку мероприятий по поддержанию уровня надёжности техники.

Таким образом, **целью данной работы** являлось разработать методику оценки качества инженерного ПО для управления ТО машин, которая комплексно учитывает оценку соответствия требованиям стандартов предметной области применения ПО, а также соответствие стандартам по оценке качества программного обеспечения.

#### **Методы исследования.**

В основе рассматриваемого нами подхода к оценке качества инженерного ПО лежат требования государственных стандартов:

- ГОСТ 20793-2009 Тракторы и машины сельскохозяйственные. Техническое обслуживание.
- ГОСТ 27.002-2015 Надёжность в технике. Термины и определения.
- ГОСТ Р 27.001-2009 Надёжность в технике. Система управления надёжностью. Основные положения.
- ГОСТ Р ИСО/МЭК 25051-2017 Требования и оценка качества систем и программного обеспечения (SQuaRE). Требования к качеству готового к использованию программного продукта (RUSP – Ready to Use Software Product) и инструкции по тестированию.

Мы исследовали саму возможность внедрения и интеграцию ПО в систему управления эксплуатацией, техническим сервисом и надёжностью машин в условиях эксплуатирующего технику предприятия. Здесь приоритет имеют системы, внедрение которых не требует тотальной реструктуризации инженерно-технической службы предприятия (ИТС). Однако, следует отметить, что информатизация ИТС часто может требовать выполнять оптимизацию структуры службы, но это тема отдельного исследования. В нашем случае оценка качества программного обеспечения и вообще возможность его применения на предприятии должны определяться по некоторому перечню показателей. Для этого нами предлагается ряд таких оценочных показателей:

П.1 – Соответствие логической структуры информационной модели и базы данных программного обеспечения предметной области ТС сельскохозяйственной техники.

П.2 – Возможность организации автоматизированных рабочих мест (АРМ) специалистов, осуществляющих процесс управления мероприятиями ТС машин в

---

хозяйстве, в соответствии с их трудовыми действиями, выполняемыми функциями и документооборотом.

П.3 – Возможность реализации этапов процессного управления мероприятиями технического сервиса машин – планирование, учёт, контроль, документирование, анализ.

П.4 – Возможность учёта расхода запасных частей и эксплуатационных материалов каждой единицей техники, резервирование запасных частей.

П.5 – Учёт наработки, выполненных ТО и ремонтов по каждой машине, хранение истории всех технических воздействий для каждого объекта.

П.6 – Возможность расчёта комплексных показателей надёжности эксплуатируемых технических объектов.

П.7 – Возможность одновременной работы пользователей под управлением распространённых операционных систем Windows, Linux, Android или др.

П.8 – Совместимость с имеющимися на предприятии информационными системами других функциональных служб и программными продуктами для обработки данных типа MS Office Excel.

П.9 – Обеспечение безопасности данных.

П.10 – Наличие Web-версии продукта и беспроводного доступа к базе данных информационной системы из любой точки предприятия.

П.11 – Совместимость с существующими на предприятии системами ГЛОНАСС/GPS мониторинга с целью автоматизации учёта наработки машин по топливу.

П.12 – Соответствие требованиям ГОСТ Р ИСО/МЭК 25051-2017 относительно качества готового к использованию программного продукта (RUSP).

Показатели П.1 ÷ П.6 характеризуют соответствие ПО предметной области применения и условиям потенциальных потребителей. В первую очередь осуществляют проверку соответствия по показателю П.1. Для этого необходимо изучить логическую структуру модели данных информационной системы, которая может быть представлена в табличном или графическом виде, и убедиться, что приведенный в ней набор сущностей и их атрибутов полностью отражает предметную область, которая может быть представлена в виде набора инженерных задач.

Например, задача управления постановкой тракторов и комбайнов на ТО регламентируется требованиями действующей планово-предупредительной системы ТО и ГОСТ 20793-2009. Функциональность рассматриваемого ПО должна позволять решать данную задачу в рамках указанных требований. Функционально программный продукт должен выполнять: учет текущей наработки каждой единицы техники; расчет остаточной наработки до проведения ТО; определение момента проведения очередного ТО; учет проведенных ТО. База данных информационной системы должна обеспечить хранение нормативных значений наработки на отдельные виды ТО (периодичность) и допускаемые отклонениями  $\Delta_i$  по наработке момента проведения ТО: для ТО-1, ТО-2  $\Delta_i = 10\%$ ; для ТО-3  $\Delta_i = 5\%$ . При приближении остаточной наработки  $T_{ост}$  какой-либо из единиц техники к нулевому значению, программа должна информировать пользователя о приближении момента проведения очередного ТО.

Показатель П.6 мы ввели, чтобы отметить перспективность информационных систем, способных вести расчёт показателей надёжности эксплуатируемых объектов. Таких систем в отечественном сельском хозяйстве пока нет, но они должны быть, потому что уже применяются в других отраслях.

Показатели П.7 ÷ П.12 характеризуют технические характеристики самого ПО и степень его соответствия требованиям стандарта, предъявляемым к готовому программному продукту. В целом эти показатели интуитивно понятны, и их оценка осуществляется по факту. Наиболее трудоёмким будет процесс оценки соответствия по показателю П.12. Здесь в основном руководствуются положениями ГОСТ Р ИСО/МЭК 25051-2017, в котором п. 5.3 содержит требования к качеству программного обеспечения:

### 5.3.1 Качество продукта – функциональная пригодность.

5.3.1.1 После установки ПО правильное функционирование может быть проверено за счет использования поставляемых контрольных примеров либо с помощью процедуры самотестирования с соответствующими сообщениями, а также путем проведения тестов самим пользователем.

5.3.1.2 Все упоминаемые в документации пользователя функции должны выполняться с соответствующими аппаратными устройствами, свойствами и данными, а также в рамках заданных ограничений и в соответствии со всеми сообщениями, содержащимися в документации пользователя.

При проверке системы на соответствие требованиям разработки ПО используют несколько видов стандартов: ISO; TickIt; SEI SW-CMM и др. [3].

Результат оценки соответствия сводится в матрицу, столбцы которой содержат перечисленные выше оценочные показатели, а строки – перечень программных продуктов, входящих в оцениваемую информационную систему. Если программный продукт отвечает конкретному показателю, то в ячейке на пересечении строки продукта и столбца показателя ставим плюс. При этом не обязательно, чтобы все программные продукты, входящие в информационную систему, отвечали одному выбранному показателю. Здесь бывает достаточно соответствия одного из продуктов.

### Результаты исследований и их обсуждение.

Для примера в данной работе в качестве объектов исследования были приняты программные продукты, входящие в состав разработанной ранее информационной системы Агрокомплекс [4, 5, 6]. Перечень исследуемых АРМ, их назначение и функциональность представлены в таблице 1.

Таблица 1. Программные продукты информационной системы «Агрокомплекс»

Наименование программы	Назначение и функциональные возможности
«Инженер» свид. о гос. рег. №2019613623	АРМ главного инженера, заведующего мастерской или инженера по эксплуатации МТП – ведение журнала ТО и ремонтов машин, ведомости дефектов и др., расчёт коэффициента технического использования машин
«АСУТО» - автоматизированная система управления ТО свид. о гос. рег. №2020614673	АРМ мастера-наладчика, механика или инженера по эксплуатации машин, осуществляющего организацию и управление ТО сельскохозяйственной техники – планы-графики ТО каждой машины; учёт наработки по топливу и в моточасах; контроль своевременности проведения ТО; ведение журнала ТО; информационная поддержка технологий ТО и хранения сельскохозяйственной техники; поддержка поиска неисправностей дизельных двигателей
«Ресурсы» свид. о гос. рег. №2006611143	АРМ техника-кладовщика склада запасных частей при ремонтной мастерской – ведение картотеки склада, учёт прихода и расхода запчастей; лимитно-заборные карты и накладные; расчёт резерва и оформление заявок на запасные части.

Детально рассмотрим оценку соответствия системы «Агрокомплекс» по показателю П.1, т.е. предметной области. Для этого на рисунке 1 приведена схема информационной модели данных в виде ER-диаграммы связи сущностей (ER – Entity-Relationship). Анализ схемы модели данных системы «Агрокомплекс» позволяет сделать вывод, что эта система соответствует предметной области и позволяет осуществлять информационную поддержку процессного управления мероприятиями технической эксплуатации машин.

Матрица оценки качества данной информационной системы по всему перечню показателей приведена в таблице 2.

Таблица 2. Матрица оценки качества информационной системы «Агрокомплекс»

ПО	Показатели оценки качества											
	П.1	П.2	П.3	П.4	П.5	П.6	П.7	П.8	П.9	П.10	П.11	П.12
Ресурсы	+	+	+	+			+	+	+	+		+
Инженер	+	+	+		+	+	+	+	+			+
АСУТО	+	+	+		+		+	+	+		+	+

По данным матрицы в таблице 2 видно, что программные продукты, входящие в исследуемую информационную систему, полностью соответствуют семи оценочным показателям и наблюдается частичное соответствие по пяти показателям. При этом варианты частичного соответствия по показателям П.4, П.5, П.6 и П.11 вполне достаточны. А вот частичное соответствие по показателю П.10 является существенным недостатком, поскольку наличие Web-версий для всего пакета программ позволило бы пользователям работать на любых технических устройствах и не иметь привязки к стационарному рабочему месту.

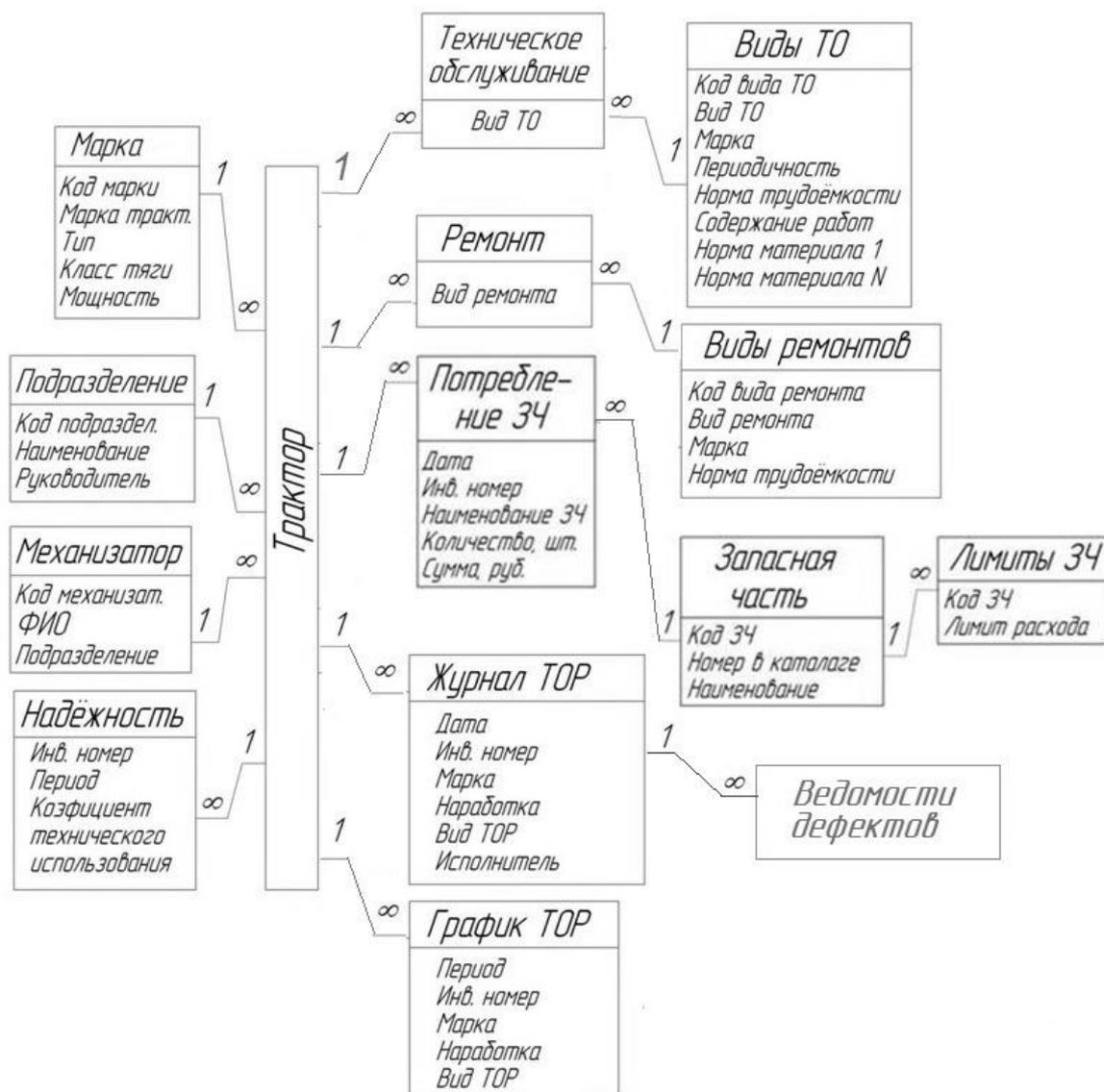


Рисунок 1. ER-диаграмма модели данных информационной системы Агрокомплекс

---

Поясним также результат оценки по показателю П.12. Здесь на основании стандартов группы TickIt осуществлялась оценка соответствия продуктов системы по частным критериям – доступность и полнота описания продукта в руководстве пользователя, удобство использования, оперативность ввода первичных данных, поддержка синтаксически правильного ввода данных, дружелюбный и интуитивно понятный интерфейс, надежность, безопасность.

### **Заключение.**

Предлагаемый авторами методический подход к оценке качества инженерного программного обеспечения позволит обоснованно выбирать информационные системы для поддержки этапов процессного управления техническим обслуживанием сельскохозяйственной техники в условиях эксплуатирующего предприятия. Данный метод учитывает перспективную стратегию управления техническим обслуживанием с контролем уровня надёжности машин, что способствует адаптации ПО к условиям производства и повышению уровня надёжности эксплуатируемых объектов. Приведенный в работе пример оценки качества программных продуктов информационной системы «Агрокомплекс» позволяет судить о её соответствии рассматриваемой предметной области, условиям потенциальных потребителей и требованиям стандартов в области технического обслуживания сельскохозяйственных тракторов и комбайнов. Предлагаемый метод оценки позволил определить степень охвата решаемых с помощью ПО инженерных задач, выявить слабые стороны программных продуктов и направления их совершенствования.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Enterprise asset management. – 2011 г. – Режим доступа:
2. <http://ru.wikipedia.org/wiki/EAM>. (Дата обращения: 10.10.2022).
3. Качество программного обеспечения (Software Quality) [Электронный ресурс] // Business Analysis [Сайт]. – Режим доступа: <https://analytics.infozone.pro/software-quality/>. – (дата обращения: 12.10.2022)/
4. Стандарты в области разработки программного обеспечения [Электронный ресурс] // iTeam [Сайт]. – Режим доступа: <https://blog.iteam.ru/standarty-v-oblasti-razrabotki-programmnogo-obespecheniya/>. (Дата обращения: 12.09.2022).
5. Никитченко, С.Л. Автоматизация управления мероприятиями технического обслуживания сельскохозяйственных тракторов и комбайнов / С.Л. Никитченко, Н.А. Лесник // АгроЭкоИнфо. – 2018. – № 2. – [http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2018/2/st\\_202.doc](http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2018/2/st_202.doc).
6. Никитченко, С.Л. Автоматизация контроля и планирования в системе машиноиспользования сельскохозяйственного предприятия / С.Л. Никитченко // АПК – экономика, управление. – 2014. – № 12. – С. 30-34.
7. Никитченко, С.Л. Ресурсосберегающее управление процессами эксплуатации и технического сервиса сельскохозяйственной техники / С.Л. Никитченко, Н.П. Алексенко, А.В. Котович, И.А. Олейникова // Вестник аграрной науки Дона. – 2018. – №4(44). – С. 57-65.

**ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ:  
ВЛИЯНИЕ НА СОВРЕМЕННОЕ ОБЩЕСТВО**

Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени ФГБОУ ВО «Московский технический университет связи и информатики», г. Ростов-на-Дону, Россия

Ключевые слова: телекоммуникационные технологии, общество

Сфера телекоммуникаций является одной из самых быстроразвивающихся и перспективных сфер. Невозможно представить современное общество без телекоммуникационных технологий, ведь они глубоко проникают в нашу жизнь, обеспечивая нас качественной и доступной мобильной и видеосвязью, интернетом, который стирает границы государств, создавая глобальное информационное общество, а также помогает решить множество, как незначительных, так и глобальных проблем.

E.I. Bokova, A.A. Shoshina, D.L. Ustimenko

**TELECOMMUNICATION TECHNOLOGIES:  
IMPACT ON MODERN SOCIETY**

North Caucasus branch of Moscow Technical University  
of Communications and Informatics, Rostov-on-Don, Russia

Keywords: telecommunication technologies, society

The telecommunications sector is one of the fastest growing and promising areas. It is impossible to imagine a modern society without telecommunication technologies, because they penetrate deeply into our lives, providing us with high-quality and affordable mobile and video communications, the Internet, which erases the borders of states, creating a global information society, and also helps to solve many, both minor and global problems.

«Революционное развитие телекоммуникаций является чрезвычайно важным в истории человечества, и то, что сделано учеными и инженерами в данной области за столь короткий по историческим меркам срок, поистине является чудом» [1, с.85]. Прогресс в этой области влечет к новым моделям действительности, культуры, быта и общения. Создает новую реальность.

Телекоммуникационными технологиями принято называть совокупность программных и аппаратных средств, позволяющих устанавливать связь без использования проводов и передавать информацию, включающую в себя аудио и видеоинформацию. Средства телекоммуникации применяются для управления в многообразии сфер человеческой деятельности, начиная с промышленности и заканчивая медициной, образованием и т.д. Эта отрасль оказывает огромное влияние на мировую экономику, так как прибыль от выпуска соответствующего оборудования оценивается в сотни миллиардов долларов, а «телекоммуникационные услуги дают практически неограниченные возможности не только различным отраслям для повышения эффективности использования обмена и получения информации, но и для различных категорий потребителей» [3, с.104].

Средства передачи информации в телекоммуникациях эволюционировали с невероятной скоростью, и история их использования началась еще до нашей эры, когда первобытный человек с помощью сигнальных костров и барабанов оповещал союзников об опасности. Их развитие происходило весьма стремительными темпами и сопровождалось множеством открытий и изобретений. Именно изобретение радио и создание радиосвязи совершило техническую революцию и перевело нашу цивилизацию на новый этап

---

развития, более высокий и более технологичный. Системы телекоммуникаций позволили связать самые отдаленные части нашей планеты и помогли людям стать ближе друг к другу, несмотря на расстояние.

Значительное влияние на развитие средств связи оказал прорыв в физике и математике, поскольку проблемы, возникающие в области теории распространения радиоволн, теории линейных и нелинейных электрических цепей, теории обработки сигналов и т. д., требовали развития теорий в этой сфере. Новатором в отрасли передачи информации является В.А. Котельников, отразивший свои открытия в работе «О пропускной способности «эфира» и проволоки в электросвязи». Он вместе с коллегой Шенноном были создателями универсального языка, который применяется к огромному количеству задач, связанных с автоматической обработкой и накоплением информации.

Более того, с развитием телекоммуникационных технологий появилась возможность объединить и сохранить уникальные достижения культуры. Основная идея обуславливается преобразованием материального объекта в виртуальную копию. Оцифровка не только культурного, но и природного наследия обеспечивает постоянный доступ нынешнего и будущих поколений к исторически важным объектам, начиная от литературы, музыки и картин и заканчивая флорой и фауной.

Цифровое наследие охватывает ресурсы не только в области культуры, но и в области образования, науки и управления, а также содержит информацию технического, правового, медицинского и другого характера, созданную в цифровом виде или переведенную в цифровую форму из существующих аналоговых ресурсов. Цифровые материалы включают тексты, базы данных, многообразие изображений, звуковых и графических материалов, программное обеспечение и веб-страницы, представленные в широком и постоянно увеличивающемся диапазоне форматов. Благодаря этому у нас появилась возможность, не выходя из дома изучать культурное наследие, получать образование и что немаловажно сберечь многие объекты, культурного наследия, имеющего высокую историческую ценность.

Все это демонстрирует, что в XXI веке, как никогда ранее, произошла интеграция интеллектуального и производственного потенциала различных стран для решения целого ряда вопросов разработки перспективных технологий. Совершенствование телекоммуникаций привело к формированию глобального информационного общества, в котором информация является наиболее важным сырьем и товаром. Доставка информации потребителю будет реализовываться по каналам телекоммуникационных систем, а создание национальных информационных ресурсов и уровень использования современных технологий телекоммуникаций для их доставки будет определять место страны в международном сообществе.

Телерадиовещание в настоящее время является наиболее близким источником информации каждому человеку и обладает самым мощным и целенаправленным социальным эффектом. Трудно представить нашу жизнь без наиболее доступных инновационных технологий, которые являются инструментами формирования информационной культуры человека. Современные телекоммуникации охватывают не только техническую сферу нашей жизни, но и активно способствуют совершенствованию таких сфер, как глобальная электронная торговля, улучшение качества жизни, здравоохранения, возможность оказания помощи в чрезвычайных ситуациях, международному взаимопониманию и построению более информированного и гуманного сообщества.

В то же время использование телекоммуникационных технологий приводит и к расслоению общества в первую очередь на тех, кто владеет ими и на тех, кто не владеет, что называется «цифровым неравенством». Международные проблемы, возникающие вследствие цифрового неравенства, являются в большинстве случаев схожими. Отмечается, что существует явное неравенство между более или менее развитыми странами. Еще одним

---

фактором разделения глобального информационного общества является явное преобладание английского языка в сети Интернет.

Так же одной из остро стоящих проблем современного общества является влияние телевидения и интернет среды не только на взрослых, но и на подрастающее поколение, так как современные телекоммуникации открывают не только огромный спектр возможностей для развития и образования, но и приводят к развитию психологических проблем, особенно у не сформировавшейся личности. Одной из таких проблем является пассивное восприятие информации, вследствие которой в последние годы стремительно возросло количество детей, которые умеют воспринимать только зрительную информацию и испытывают большие затруднения в школе из-за смены привычного визуального восприятия на вербальный (слуховой).

Неоспоримым является факт того, что интернет-среда обладает способностью коррелировать с психоэмоциональным состоянием человека, в особенности, негативно, что приводит к снижению самооценки, повышению тревожности, депрессии, а Интернет-зависимость приводит к ухудшению социальных навыков, что является одной из основных проблем нынешнего поколения. При высоком уровне информационно-технического развития общества, мы часто сталкиваемся с формированием ложных ценностей, как у человека, так и у общества в целом. Основными ценностями современности являются материальное богатство, временные эгоистичные удовольствия, стремление к власти, любовь к комфорту, развлечениям – все они сформировались под влиянием телерадиовещания и интернета и определяют уровень духовно-нравственного состояния государства.

В свою очередь существует и культура тотальной безопасности - «сейтизма» и является парадигмой защищенности индивида от любого негативного воздействия. С одной стороны, сейфтизм оберегает психику от травмирующего опыта, но с другой – человек живет в «информационном пузыре», что мешает нормальному социальному, эмоциональному и интеллектуальному становлению.

Потребность общества в новых информационных и телекоммуникационных услугах определяет пути развития новейших технологий, которые станут основой систем связи следующего века. С помощью телекоммуникационных услуг люди получают не только дополнительные каналы для обмена информацией. Информатизация общества влечет за собой изменения в других сферах жизни, в частности, общественно-политической и образовательной. Социальная ориентированность информатизации выражается, прежде всего, в предоставлении гражданам возможностей реализовать свои конституционные права на доступ к открытым информационным ресурсам, в достоверном информировании общественности о социально значимых событиях в развитии индустрии и инфраструктуры информационных, компьютерных и телекоммуникационных услуг.

В исследовании влияния телекоммуникационных технологий приоритетным остается формирование нового типа культуры, вызывающего изменение во всей социальной структуре. Рассматривая роль информационных технологий в обществе необходимо оставаться на позиции двойственности и неоднозначности, оставляя не только положительные качества телекоммуникаций, но и отрицательные, так как «полностью позитивное отношение может привести к уходу личности в виртуальный мир, постепенно вытесняя мир реальной жизнедеятельности» [2, с.280].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бондарь И.М.* Оценка влияния телекоммуникационных технологий на общество // «Аналитика Культурологии» / СПбГУКИ, 2009, № 2, с. 85-87.
2. *Козлова Н.С.* Влияние интернет-среды на личность и ее жизнедеятельность // «Знание. Понимание. Умение.» / ИГУ, 2015, № 3, с. 274-285.

- 
3. *Проскура Д. В., Проскура Н. В.* Социальная направленность телекоммуникационных услуг // «Вестник НГИЭИ» / НГИЭИ, ВГГУ, 2013, № 7, с. 102-115.

**Я.А. Милешкин, П.В. Лобзенко**

### **СЕТЕВАЯ БАЗА ДАННЫХ**

Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени ФГБОУ ВО «Московский технический университет связи и информатики», г. Ростов-на-Дону, Россия

Ключевые слова: сетевое приложение, клиент-серверная разработка, Visual Studio, ASP NET, база данных.

Создано приложение для автоматизации рабочего места менеджера по закупкам запчастей в автоцентре. Приложение отличается удобным доступом через web браузер с любого мобильного устройства, подключенного к сети Интернет. В дополнение к этому, приложение снабжено базой данных, расположенной на сервере.

**Ya.A. Mileshkin, P. V. Lobzenko**

### **NETWORK DATABASE**

North Caucasus branch of Moscow Technical University  
of Communications and Informatics, Rostov-on-Don, Russia

Keywords: network application, client-server development, Visual Studio, ASP NET, database.

An application has been created to automate the workplace of a spare parts procurement manager in a car center. The application is easy to access via a web browser from any mobile device connected to the Internet. In addition to this, the application is provided with a database located on the server.

Автоматизация повседневной деятельности организаций направлена, как правило, либо на весь бизнес-процесс в целом, либо на отдельные его составляющие.

Обычно, в первую очередь, это касается документооборота или бухгалтерской отчетности. Однако, большинство, представленных на рынке программных продуктов (ПП) такой направленности, содержат множество функций, которые на конкретных предприятиях, как правило, в дальнейшем не используются. Это приводит к удорожанию ПП для конечных пользователей. Поэтому, в настоящее время предприятия малого и среднего бизнеса предпочитают ПП локального использования, например, для конкретного рабочего места, которые либо заказывают, либо разрабатывают сами.

Сейчас, специализированные приложения для автоматизации рабочих мест создаются в 2-х вариантах- одно или многопользовательские, а также основанные на клиент-серверных структурах баз данных (БД) или на использовании БД, встроенных в офисные пакеты (например, MS Access).

Программные продукты, основанные на внешних базах данных с клиент- серверной архитектурой, стоят, как правило, дороже в силу избыточности функций с одной стороны, а с другой стороны требуются предустановленные системы управления базами данных (СУБД).

Конечно, использование предустановленного программного обеспечения (ПО) в качестве СУБД является сейчас все чаще избираемым путем экономного оснащения рабочих мест, что значительно снижает затраты на их оснащение.

Одной из основных характеристик используемого ПО сейчас рассматриваются его сетевые качества, т.е. на сколько оно используется в сети Интернет.

В этом отношении приложения разрабатываются и устанавливаются либо для мобильных устройств, либо имеют сайтовый вариант применения. Ко второму типу ПП относятся те, которые не требуют предустановки клиентской части на устройствах пользователей. Т.е., имея в распоряжении Интернет – соединение и любой из эксплореров можно использовать такое приложение, запущенное на определенном Интернет – ресурсе.

В организациях малого бизнеса, занимающихся ремонтом автомобилей, обычно имеет место универсализация в исполнении обязанностей. Это означает, что бизнес – процесс предусматривает как регистрацию заявок на ремонт транспорта, так и обеспечение ремонтных работ необходимыми запасными частями. Т.е., мастер-администратор занимается обеими этими направлениями.

Т.о., возникает необходимость в автоматизации указанного бизнес – процесса, чтобы все данные хранились в общей сетевой базе и были доступны для совместного использования.

В качестве инструмента разработки используется язык С# и платформа ASP.NET, а редактором является Visual Syudio [1,2]. Это удобные инструменты для использования технологии MVC (model - view — controller). Т.е., в разработке приложение делится на три компонента:

- контроллер (controller) — класс, занимающийся связью базы данных с пользователем и обработкой текущей информации из базы данных;
- представление (view) — класс, обеспечивающий пользовательский интерфейс;
- модель (model) — класс для описания логики данных приложения.

Реляционная база данных приложения представляет собой взаимосвязанные таблицы и реализована на встроенном Sql Server [3]. Состав ее модели показан на рисунке 1.

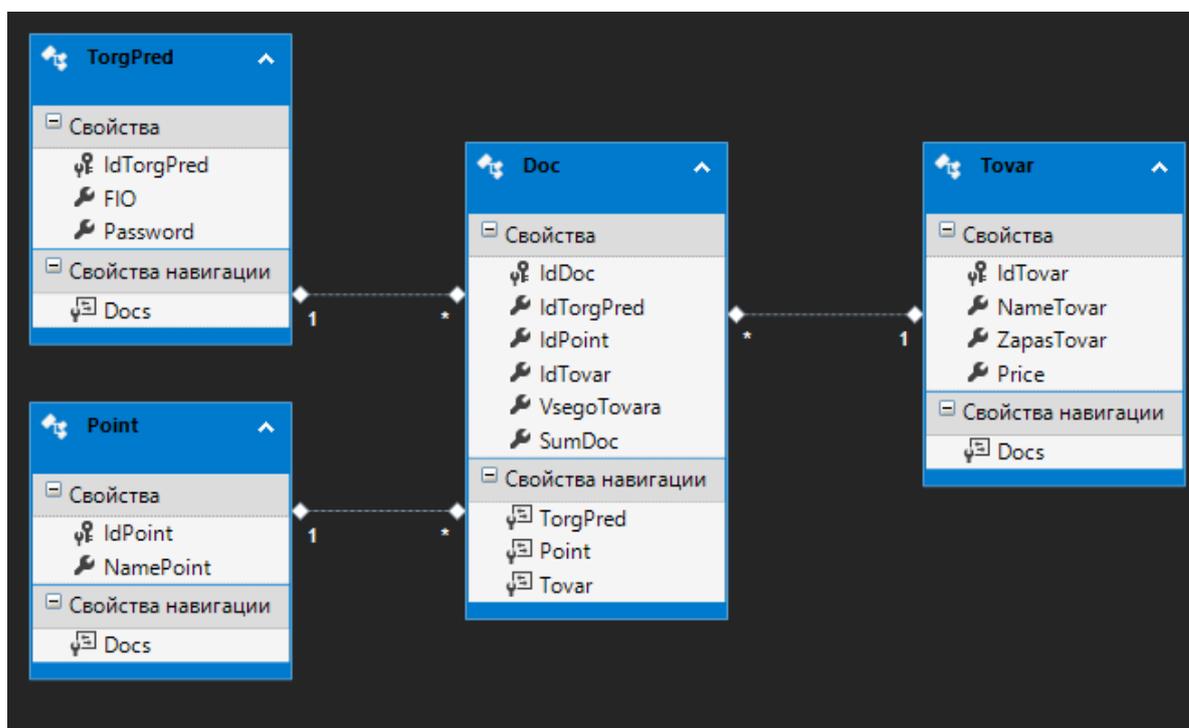


Рисунок 1. Модель базы данных

Для того, чтобы начать разработку программы приложения необходимо связать модель базы данных с формами, которые будут создаваться. Для этого воспользуемся классом Linq to Sql, который для этого и предназначен.

Добавляем (по правой клавиши мыши) в проект этот компонент (в соответствии с рисунком 2).

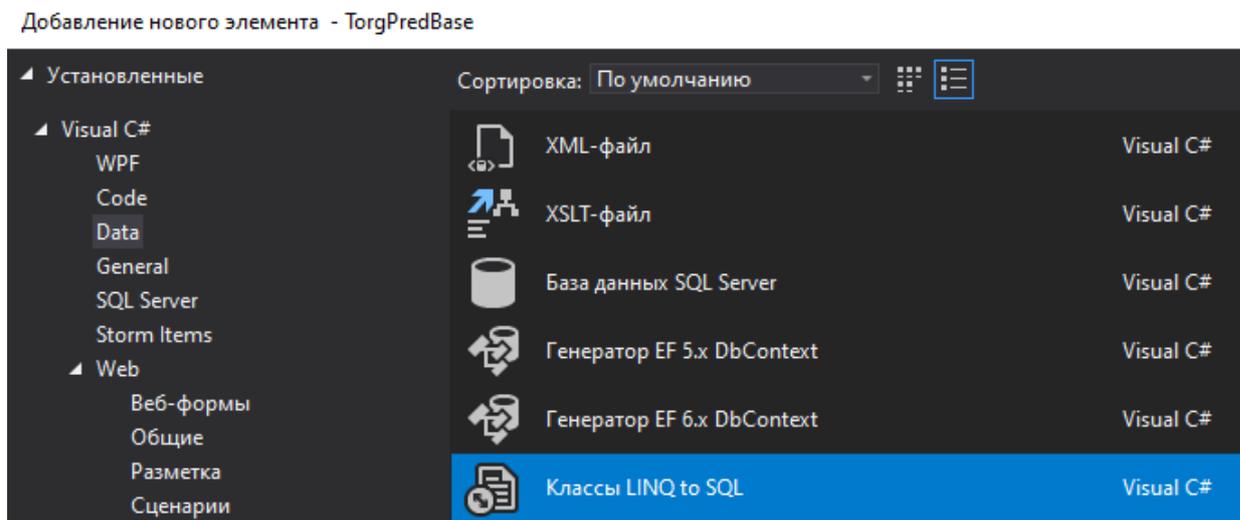


Рисунок 2. Добавление компонента для связи с БД

Далее, в отрывшейся конструктор «перетаскиваем» созданную базу данных в соответствии с рисунком 3.

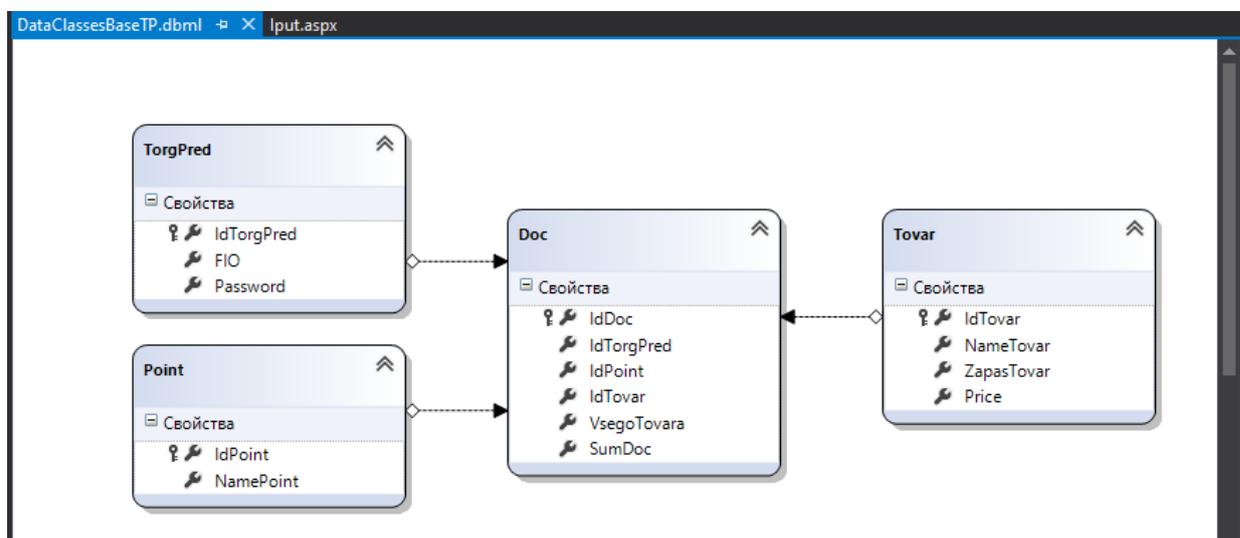


Рисунок 3. Состав базы данных приложения

Созданное приложение включает несколько форм для выполнения заказа и для заполнения таблиц базы данных.

Разработанное приложение обладает следующими преимуществами:

1. Реализует эффективный способ клиент-серверной системы.
2. Обладает простым, понятным и удобным пользовательским интерфейсом.
3. Реализует основные рутинные функции продавца-товароведа.
4. Полностью реализует алгоритм отправки заявки на доставку товаров.
5. Предоставляет исчерпывающую информацию по выполняемым заявкам.

---

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Джесс Либерти Программирование на C#. - Изд-во Символ – плюс: Москва, 2012.- 863 с.
2. Краткое описание Visual Studio. URL: <http://habrahabr.ru>. (дата обращения: 21.09.2021).
3. Справочное руководство по MySQL. URL: <http://www.mysql.ru/docs/man/Features.html>. (дата обращения: 21.09.2021).

**М.С. Сердечный, Е.А. Ревякина, Л.В. Черкесова, Н.В. Болдырихин**

### **ОБЗОР ПРОБЛЕМАТИКИ АНАЛИЗА ТЕКСТОВОГО КОНТЕНТА НА НАЛИЧИЕ ДЕСТРУКТИВНОЙ ИНФОРМАЦИИ В СФЕРЕ ОБРАЗОВАНИЯ**

Донской государственный технический университет, Ростов-на-дону,  
Ордена Трудового Красного Знамени федеральное государственное  
Бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Московский технический университет связи и информатики»,  
Москва, Россия

Ключевые слова: деструктивный контент, машинное обучение, обработка естественного языка, программирование.

В статье рассмотрены проблема деструктивного текстового контента и программные методы его контроля.

**M.S. Serdechniy, E.A. Revyakina, L.V. Cherkesova, N.V. Boldyrikhin**

### **REVIEW OF THE PROBLEMS OF ANALYSIS OF TEXT CONTENT FOR THE PRESENCE OF DESTRUCTIVE INFORMATION IN THE SPHERE OF EDUCATION**

Don State Technical University, Rostov-on-Don,  
Moscow Technical University of Communications and Informatics,  
Moscow, Russia

Keywords: destructive content, machine learning, natural language processing, programming.

The article deals with the problem of destructive text content and software methods of its control.

За последние несколько десятилетий информационные технологии начали применяться повсеместно как в производственной деятельности, так и в быту. Почти у каждого человека есть смартфон, персональный компьютер, кроме того существуют и другие устройства, которые также имеют достаточно большую популярность, такие как умные часы, умные колонки, игровые консоли и др. Вместе со всем этим очень сильно возросли объемы данных, производимые человечеством каждый год, увеличиваются. Согласно некоторым исследованиям в среднем каждый год объем производимых данных увеличивается в 1.5 раза относительно предыдущего года [1]. Это легко можно объяснить тем, что каждый человек регулярно использует социальные сети, электронную почту и

---

другие системы обмена информацией, также множество людей выбрали своей профессиональной деятельностью создание контента в интернете.

Одной из проблем, связанных с современными объемами контента, — это так называемый «деструктивный контент», таковым считаются призывы к противоправным действиям и действиям, угрожающим здоровью, как окружающих, так и самого потребителя контента, пропаганда маргинальной культуры, вредных привычек, так называемы шок-контент и многое другое.

Многие компании-держатели различных интернет ресурсов и правительства различных стран активно работают над методами и средствами регулирования контента.

Данная статья посвящена конкретно текстовому контенту, однако выделяют еще графический, видео и аудио контент. Все они имеют широкое распространение и зачастую применяются вместе, дополняя друг друга.

Решение задачи регулирования текстового деструктивного контента относится к сфере под названием «Обработка естественного языка» или NLP (от англ. Natural language processing). Естественный язык — это любой человеческий язык, такой как английский, арабский, русский и т. д. Перед началом работы с данными текст подвергается предварительной обработке. Подходов к очистке данных различаются в зависимости от поставленной задачи, а также используемых методов и алгоритмов для выполнения конкретных задач. Самыми распространенными операциями над текстовыми данными являются:

1. Токенизация – это процесс разбиения текста на отдельные слова или последовательности слов. Последовательность из нескольких слов, в случае обработки текста, еще называются n-граммами.
2. Стемминг – это процесс поиска основы для заданного слова (например, подслушать – «подслуша»), основа слова не обязательно должна совпадать с морфологическим корнем слова.
3. Лемматизация – это приведение слова к лемме, то есть его нормальной (словарной) форме.
4. Преобразование всех букв в нижний регистр.
5. Удаление знаков препинания.
6. Удаление стоп-слов. На этом моменте следует дать определение этому понятию, стоп-слова – это дополнительные слова, которые не несут смысловой нагрузки. Однако не существует универсального списка стоп-слов, поэтому от использования подобного списка нередко отказываются.

После описанных выше действий текст переводится в векторное представление, то есть в числовые значения. Алгоритмов векторизации текстов существует множество, например, самый простой подход к векторизации слов – это one-hot encoding (ОНЕ). Его суть заключается в том, что формируется словарь, содержащий все слова и словосочетания используемого набора документов. Для каждого слова определяется его номер – позиция в словаре. Затем ему ставится в соответствие вектор, в котором все компоненты нулевые за исключением одной, соответствующей по порядку номеру слова. Более сложные алгоритмы могут улучшить процесс обработки данных или, например, повысить точность при выполнении различных задачи, к таким относятся языковые модели, которые могут определить, с какой вероятностью в тексте может встретиться некоторая последовательность слов и выдать векторное представление для термина в зависимости от текущего контекста. Но такие модели очень требовательны к вычислительным мощностям, и поэтому стоит уделить внимание выбору модели векторизации с учетом поставленной задачи, ее специфик и доступных вычислительных ресурсов [2].

Многие задачи в NLP решаются при помощи машинного обучения (от англ. machine learning или ML) — это класс методов искусственного интеллекта, характерной чертой которых является не прямое решение задачи, а обучение за счёт применения решений множества сходных задач [3]. Для построения таких методов используются средства

математической статистики, численных методов, математического анализа, методов оптимизации, теории вероятностей, теории графов, различные техники работы с данными в цифровой форме. Или же могут быть использованы «искусственные нейронные сети» (ИНС), часто еще называемые «нейронные сети», представляют собой группу алгоритмов машинного обучения, которые выполняют вычисления, аналогичные нейронам человеческого мозга.

Перед тем как модель сможет приступить к решению своих задач ее необходимо обучить. Существует два вида обучения модели: обучение с учителем и без учителя. Однако под учителем понимается не человек, контролирующий каждое действие программы, а скорее сам факт вмешательства человека в процесс обучения модели. При обучении с учителем алгоритм обучения модели принимает на вход набор данных, которые предварительно были размечены человеком, то есть каждый объект, он же набор параметров, имеет соответствующий ему правильный ответ. В случае обучения без учителя алгоритм принимает в качестве входных данных набор параметров объектов, однако правильных ответов не предоставляется, в таком случае алгоритм самостоятельно составляет зависимости между объектами, определяет закономерности в данных. Этот подход используется зачастую для выполнения задач, в которых нет очевидного ответа.

Перед началом выполнения задачи, первое что необходимо сделать – это определить все критерии, по которым будет осуществляться анализ текста. Так как понятие деструктивного контента весьма объемное, следует определить, что следует искать в тексте, это может быть, как нецензурная лексика, так и сложные словарные конструкции, несущие деструктивную информацию. Следующим шагом будет выбор алгоритма векторизации текста и выбор алгоритма машинного обучения или нейронной сети, здесь стоит учитывать затраты вычислительных ресурсов и точность работы алгоритма (рисунок 1).

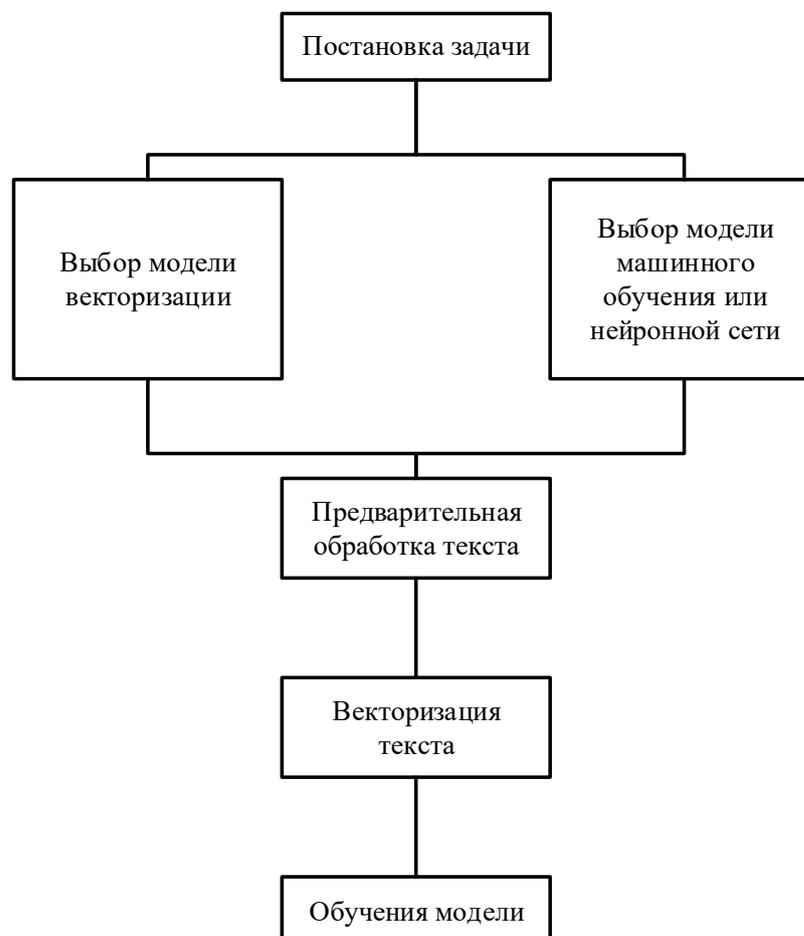


Рисунок 1. Алгоритм разработки программного средства

Стоит также учитывать, что методы предварительной обработки текста нужно использовать в зависимости от выбранной модели векторизации слов. Последним шагом в реализации программного средства является непосредственно его реализация с использованием выбранных ранее методов работы с текстовым контентом.

Для обоснования актуальности использования технологий ИИ в отрасли регулирования контента следует рассмотреть их в сравнении с другими методами модерации контента (рисунок 2).



Рисунок 2. Подходы к регулированию контента

Самый старый и простой подход – это использование человека-модератора. Его достоинство заключается в том, что человек лучше любой программы на данный момент может учитывать контекст и распознавать первоначальный смысл в метафорах и прочих словарных конструкциях. А его недостатками являются сравнительно низкая скорость работы относительно скорости работы программы, большие финансовые затраты, такие как выплаты сотрудникам. Более того в условиях современного увеличения объемов контента этот подход требует постоянной работы большого количества людей на крупных интернет ресурсах, что не выгодно с экономической точки зрения. Частично эта проблема решается при помощи системы жалоб, так посетители сайта могут сами регулировать контент, но некоторую информацию следует отсеивать еще до публикации, и пользователи интернета не всегда добросовестно используют подобный функционал, поэтому это скорее вспомогательный инструмент.

Использование списка – это подход при котором разрабатывается программное средство, не использующее технологии ИИ, вместо этого используется обычный список слов и выражений, по наличию которых публикация классифицируется как нарушающая правила ресурса. Данный подход значительно быстрее в сравнении с человеком и может позволить сэкономить на зарплатных платах сотрудникам. Однако такой метод не учитывает контекст и работает только с теми последовательностями слов, которые есть в списке, иными словами программу очень легко обмануть.

Использование технологий ИИ имеет те же преимущества, что и использование списков, но может немного уступать в скорости в зависимости от используемых алгоритмов. Однако такую программу сложнее обмануть чем список, в то время как человек все равно превосходит ИИ в точности.

Последний подход – это совместная работа человека и программы. Такая комбинация позволяет при помощи человека компенсировать ошибки, которые допускает система. Для этого может использоваться упомянутая ранее система жалоб, тогда пользователи смогут обжаловать решение алгоритмов, предоставив спорный контент на рассмотрение модератора. На данный момент — это самый эффективный подход к регулированию контента, так как технологии искусственного интеллекта еще недостаточно развиты, чтобы подобную работу можно было полностью возложить на программу, но скорость обработки информации гораздо выше, чем если бы этим занимался только человек, что в современных реалиях также является не мало важным показателем эффективности работы системы регулирования контента.

---

Таким образом развитие технологий обработки естественного языка в области регулирования контента, как текстового, так и других его видов, является одной из самых актуальных отраслей для многих крупных компаний, которые владеют интернет ресурсами, специализирующимися на распространении информации. В этом заинтересованы и правительства большинства стран мира.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Большие объемы данных (big data) – Текст: Электронный / book.itep : – 2022. – [Сайт] URL: [http://book.itep.ru/4/7/big\\_data.htm](http://book.itep.ru/4/7/big_data.htm) (дата обращения: 20.10.2022).
2. Раскатова М.В., Челышев Э.А. Векторизация текстов в задачах обработки естественного языка: история и развитие. – Текст: Электронный: – 2022. – [Сайт] URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48215726> (дата обращения: 20.10.2022).
3. Oracle. Искусственный интеллект. – Текст: Электронный / oracle : – 2021. – [Сайт] URL: <https://www.oracle.com/ru/artificial-intelligence/whatisai/#ai-terms> (дата обращения: 20.10.2022).
4. Зеленский А. А. и др. Разработка монитора безопасности от деструктивных влияний веб-сайтов и социальных сетей Интернета //Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Информационные технологии. – 2021. – Т. 19. – №. 1. – С. 48-60.