# Н А У Ч Н О - Т Е Х Н И Ч Е С К И Й

# В Е С Т Н И К

# П О В О Л Ж Ь Я

**№7 2019**

**Направления:**

**05.13.01 – СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ (технические науки)**

**05.13.06 – АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ (технические науки)**

**05.13.11 – МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ (физико-математические науки)**

**05.13.11 – МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ (технические науки)**

**05.13.18 – МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ (технические науки)**

**05.13.19 – МЕТОДЫ И СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ, ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ (физико-математические науки)**

**Казань**
**2019**

**УДК 60**
**ББК 30-1**
**Н-66**

**Н-66** Научно-технический вестник Поволжья. №7 2019г. – Казань: ООО «Рашин Сайнс», 2019. – 164 с.
**ISSN 2079-5920**

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (реестровая запись от 08.05.2019 серия ПИ № ФС 77 -75732).
Журнал размещен в открытом бесплатном доступе на сайте www.ntvp.ru, и в Научной электронной библиотеке (участвует в программе по формированию РИНЦ).
Журнал включен ВАК РФ в перечень научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук.
Подписной индекс в объединенном каталоге «Пресса России» № Е12025.

*Главный редактор* Р.Х. Шагимуллин

Редакционная коллегия

*С.В. Анаников* – д.т.н., проф.; *Т.Р. Дебердеев* – д.т.н., проф.; *Б.Н. Иванов* – д.т.н., проф.; *В.А. Жихарев* – д.ф-м.н., проф.; *В.С. Минкин* – д.х.н., проф.; *А.Н. Николаев* – д.т.н, проф.; *В.К. Половняк* – д.х.н., проф.; *П.П. Суханов* – д.х.н., проф.; *В.Ф. Тарасов* – д.ф-м.н., проф.; *Х.Э. Харлампиди* – д.х.н., проф.

В журнале отражены материалы по теории и практике технических, физико-математических и химических наук.

Материалы журнала будут полезны преподавателям, научным работникам, специалистам научных предприятий, организаций и учреждений, а также аспирантам, магистрантам и студентам.

**УДК 60**
**ББК 30-1**

**ISSN 2079-5920** **© Рашин Сайнс, 2019 г.**

## СОДЕРЖАНИЕ

*С.В. Анаников, А.Г. Кутузов, И.В. Логинова* ОБОБЩЕННОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ДЛЯ КОНЕЧНОГО ЦИЛИНДРА. СООБЩЕНИЕ 1. ВЫВОД ОБОБЩЕННОГО РЕШЕНИЯ 9

**05.13.01 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ**

*Н.А. Абышев, А.В. Ключников, М.Д. Шагимуратов* КОМПЕНСАЦИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДИСБАЛАНСОВ, ВЫЗВАННЫХ ФАЗОВЫМИ СДВИГАМИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИГНАЛОВ БАЛАНСИРОВОЧНОГО СТЕНДА 15
*С.В. Бережная, А.А. Саченков, Э.З. Якупов* СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДАННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ВОЛОС И ОЦЕНКИ НЕВРОЛОГИЧЕСКОГО СТАТУСА, ПОЛУЧЕННОЙ ПО ФОРМАЛИЗОВАННЫМ БАЛЬНЫМ ШКАЛАМ, У ПАЦИЕНТОВ С ХРОНИЧЕСКОЙ ИШЕМИЕЙ МОЗГА 19
*С.В. Бережная, Э.З. Якупов, А.А. Саченков* ИССЛЕДОВАНИЕ НАРУШЕНИЙ БАЛАНСА МАКРО- И МИКРОЭЛЕМЕНТОВ У ПАЦИЕНТОВ С ХРОНИЧЕСКОЙ ИШЕМИЕЙ МОЗГА 22
*И.Н. Бояршинова, И.Н. Беляев* НЕЙЛОРОВСКАЯ СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ 25
*А.П. Буйносов, Д.Л. Худояров, И.А. Тюшев* СОПРОТИВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЮ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СОСТОЯНИЯХ ПОВЕРХНОСТЕЙ РЕЛЬСОВ 28

**05.13.06 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ**

*Я.Е. Агапитов, Л.М. Каримова, Т.А. Хажимухаметов, Е.Ю. Мешков, Н.А. Бобыренко* РАЗРАБОТКА СХЕМЫ ГИДРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ВЫСОКОСЕРНИСТЫХ МЕДНЫХ СУЛЬФИДНЫХ КОНЦЕНТРАТОВ 32
*А.В. Волков, С.А. Шиков, О.О. Темаева* ПРИМЕНЕНИЕ КРИТЕРИЯ УИЛКОКСОНА ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ ОСВЕЩЕНИЕМ В ТЕПЛИЦАХ 37
*В.А. Егоров* МОДЕРНИЗИРОВАННАЯ ТИПОВАЯ НАСТРОЙКА -3-1-3 ДЛЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ 40
*И.Н. Егоров* О НЕЛИНЕЙНОЙ КОРРЕКЦИИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ МАНИПУЛЯТОРОВ ДВУСТОРОННЕГО ДЕЙСТВИЯ 44
*А.В. Жданов, Н.С. Довбыш* ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КПД РВМ НА ОСНОВЕ СРАВНИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА ПОВЕРХНОСТЕЙ С ПОКРЫТИЕМ 48
*В.Ф. Пегашкин, Г.А. Осипенкова, М.С. Кузнецов* МОДИФИКАЦИИ ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛЕЙ ИЗ СПЛАВОВ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ 51

**05.13.11 — ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ**

*М.П. Овчинцев* ОПТИМАЛЬНОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ ОГРАНИЧЕННЫХ АНАЛИТИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ, ЗАДАННЫХ В ПОЛУПЛОСКОСТИ ПО ИХ ЗНАЧЕНИЯМ В КОНЕЧНОМ ЧИСЛЕ ТОЧЕК 54

**05.13.11 —ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ**

*А.П. Даденкова* ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМА СНИЖЕНИЯ НАГРУЗКИ И ПОВЫШЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ ПОИСКА ДАННЫХ В DHT-СЕТИ 59
*Т.А. Деменкова, А.И. Александров, А.О. Индришенок* ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ В ЗАДАЧЕ АППАРАТНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ АЛГОРИТМОВ 63
*Т.А. Деменкова, Г.С. Кожевников, В.С. Томашевская* АНАЛИЗ МЕХАНИЗМОВ АДАПТАЦИИ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ИНТЕРФЕЙСА В КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМАХ 67
*А.М. Семенов, Л.Ф. Тагирова, В.К. Тагиров* ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЧЕТКИХ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ ПРИ РАЗРАБОТКЕ АДАПТИВНЫХ ЧЕЛОВЕКО-МАШИННЫХ ИНТЕРФЕЙСОВ 71

**05.13.18 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ**

*А.И. Акимов, И.А. Акимов, В.А. Урбан* МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И РЕШЕНИЕ МНОГОСЛОЙНЫХ ЗАДАЧ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ В ПРОИЗВОДСТВЕ КОМПОЗИТНЫХ ИЗДЕЛИЙ МЕТОДОМ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ НА ОСНОВЕ КОНЕЧНЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ 75
*Г.М. Алимирзоев, М.С. Муравьев, К.А. Насеткин, А.С. Пузанов, Д.А. Литовский* МОДЕЛИРОВАНИЕ УТРОИТЕЛЯ ЧАСТОТЫ НА ГЕТЕРОБАРЬЕРНОМ ВАРАКТОРЕ В 3 ММ ДИАПАЗОНЕ ДЛИН ВОЛН 79
*Н.Н. Беспалов, Ю.В. Горячкин, П.М. Дёмкин, К.Ю. Панькин* МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В СИЛОВОМ ДИОДЕ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ УДАРНОГО ТОКА В ПРОГРАММНОЙ СРЕДЕ SYNOPSYS TCAD 83
*Н.Н. Беспалов, Ю.В. Горячкин, П.М. Дёмкин, К.Ю. Панькин, Д.С. Кондрашин* МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МОЩНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ В СОСТАВНЫХ ЧАСТЯХ СТРУКТУРЫ СИЛОВОГО ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ПРИБОРА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ПРЯМОГО УДАРНОГО ТОКА 87
*Е.С. Гольцов, И.Я. Дятлов, Н.М. Труфанова* ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА ПРИ СИЛАНОВОЙ СШИВКЕ В ВОДНОЙ ВАННЕ 91
*Ю.В. Горячкин, Н.Н. Беспалов, К.Ю. Панькин, П.М. Дёмкин, Д.С. Кондрашин* МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРЯМЫХ ВОЛЬТ-АМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СИЛОВОГО ДИОДА 95
*А.А. Зайдуллин, О.Ш. Даутов* ПРЕОБРАЗОВАНИЕ СПЕКТРА РАДИОЛОКАЦИОННОГО ИМПУЛЬСА ПРИ РАСПРОСТРАНЕНИИ ЧЕРЕЗ НЕОДНОРОДНУЮ ПОГЛОЩАЮЩУЮ СРЕДУ 99
*М.А. Зубрицкий, О.Ю. Ушаков, Л.С. Сабитов* УЧЕТ ВЫСШИХ ФОРМ КОЛЕБАНИЙ ПРИ ОЦЕНКЕ СЕЙСМОСТОЙСКОСТИ СИСТЕМ НЕЛИНЕЙНЫМ СТАТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ 103
*М.А. Зубрицкий, О.Ю. Ушаков, Л.С. Сабитов* МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ СИСТЕМ ПРИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ УРОВНЯ «МАКСИМАЛЬНОЕ РАСЧЕТНОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ» 107
*А.А. Корелин, И.Я. Дятлов, Н.М. Труфанова* ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СШИВКИ ПОЛИЭТИЛЕНА В ВУЛКАНИЗАЦИОННОЙ ТРУБЕ В СРЕДЕ АЗОТА 111
*С.Л. Марулин, А.Р. Динисламов, А.П. Буйносов* ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТИЧЕСКОЙ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ЛОКОМОТИВА ПО НЕРОВНОСТЯХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ ПРИ КОЛЕБАНИЯХ ГАЛОПИРОВАНИЯ 115

*В.Ю. Мельцов, А.А. Чудинов, А.К. Крутиков* ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ АЛГОРИТМОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ КАРТОГЕНЕРАЦИИ В КОМПЬЮТЕРНЫХ ИГРАХ 119
*М.С. Муравьев, Г.М. Алимирзоев, К.А. Насеткин, А.С. Пузанов, Д.А. Литовский* КОНСТРУИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ СВЧ ДЕТЕКТОРА НА БАЗЕ БЕСКОРПУСНОГО СМЕСИТЕЛЬНО-ДЕТЕКТОРНОГО ДИОДА С БАЛОЧНЫМИ ВЫВОДАМИ 123
*К.А. Насеткин, М.С. Муравьев, Г.М. Алимирзоев, А.С. Пузанов, И.Ю. Забавичев, А.А. Потехин* МОДЕЛИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СУБМИКРОННЫХ СТРУКТУР «КРЕМНИЙ НА ИЗОЛЯТОРЕ» С УЧЕТОМ РАДИАЦИОННЫХ ЭФФЕКТОВ 127
*В.Д. Павлидис, Р.Д. Сулейменова, Д.В. Левченко* АНАЛИЗ И ОЦЕНКА ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО РИСКА РАБОТНИКОВ БУРОВОЙ ФИЛИАЛА «ОРЕНБУРГБУРЕНИЕ» ООО «ГАЗПРОМБУРЕНИЕ» 131
*К.Ю. Панькин, Н.Н. Беспалов, Ю.В. Горячкин, П.М. Дёмкин* МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В СИЛОВОМ ДИОДЕ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ ПРЯМОГО ТОКА 136
*Р.Д. Сулейменова, Д.В. Левченко* МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РИСКОВ РАЗВИТИЯ ВУЗА 140
*А.Г. Щербинин, А.Ю. Сухоруков, В.И. Горбунов, Т.Д. Белоглазова* ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПРОЦЕССОВ В СИЛОВЫХ КАБЕЛЯХ ПРИ КОРОТКОМ ЗАМЫКАНИИ 143

**05.13.19 — ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ — МЕТОДЫ И СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ, ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**

*А.В. Комарова* ОБОБЩЕННЫЕ МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ СТОЙКОСТИ СХЕМ АУТЕНТИФИКАЦИИ 146
*Н.А. Тишина, И.А. Щудро, Е.Н. Чернопрудова, Л.Ф. Тагирова* ОЦЕНКА РИСКОВ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЛАЧНЫХ СРЕД НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОГО МЕТОДА АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ 149

**АННОТАЦИИ** 153

**THE RELEASE MAINTENANCE**

*S.V. Ananikov, A.G. Kutuzov, I.V. Loginova* COMMON SOLUTION OF HEAT CONDUCTION TASK FOR END CYLINDER. COMMUNICATION 1. DEDUCTION OF COMMON SOLUTION 9

**05.13.01 — TECHNICAL SCIENCES — SYSTEM ANALYSIS, MANAGEMENT AND INFORMATION PROCESSING**

*N.A. Abyshev, A.V. Klyuchnikov, M.D. Shagimuratov* COMPENSATION OF DISBALANCE DETERMINFNION ERRORS WHICH ARE COUSED BY PHASE DISPLASEMENT OF MEASURING SIGNALS OF A CJUNTERBALANCING STAND 15
*S.V. Berezhnaya, A.A. Sachenkov, E.Z. Yakupov* STATISTICAL TREATMENT OF DATA OF MEASUREMENTS OF THE ELEMENTAL COMPOSITION OF HAIR AND EVALUATION OF THE NEUROLOGICAL STATUS OBTAINED ON A FORMALIZED BALK SCALE, IN PATIENTS WITH A CHRONIC ISCHEMIA OF THE BRAIN 19
*S.V. Berezhnaya, E.Z. Yakupov, A.A. Sachenkov* INVESTIGATION OF DISTURBANCES OF BALANCE OF MACRO AND MICROELEMENTS IN PATIENTS WITH CHRONIC ISCHEMIA OF THE BRAIN 22
*I.N. Boyarshinova, I.N. Belyaev* NAYLOR SUPPORT SYSTEM FOR DIAGNOSTIC DECISION MAKING 25
*A.P. Buinosov, D.L. Khudoyarov, I.A. Tyushev* THE RESISTANCE TO MOVEMENT OF ROLLING STOCK IN VARIOUS STATES OF THE SURFACES OF THE RAILS 28

**05.13.06 — TECHNICAL SCIENCES — AUTOMATION AND MANAGEMENT OF TECHNOLOGICAL PROCESSES AND PRODUCTION**

*Y.E. Agapitov, L.M. Karimova, T.A. Khazhimuhametov, E.Y. Meshkov, N.A. Bobyrenko* DEVELOPMENT OF A SCHEME FOR HYDROMETALLURGICAL PROCESSING OF HIGH-SULFUR COPPER SULPHIDE CONCENTRATES 32
A*.V. Volkov, S.A. Shikov, O.O. Temaeva* APPLICATION OF THE WITCHOXONE CRITERIA FOR THE IMPLEMENTATION OF THE ALGORITHMS FOR LIGHTING MANAGEMENT IN GREENHOUSES 37
*V.A. Egorov* MODERNIZED TYPICAL ADJUSTMENT -3-1-3 FOR AUTOMATIC CONTROL SYSTEM 40
*I.N. Egorov* ON NONLINEAR CORRECTION OF MANAGEMENT SYSTEMS FOR BILATERAL ACTION MANIPULATORS 44
*A.V. Zhdanov, N.S. Dovbysh* FORECASTING CHANGE OF THE EFFICIENCY OF THE RVM ON THE BASIS OF COMPARATIVE ANALYSIS OF COATED SURFACES 48
*V.F. Pegashkin, G.A. Osipenkova, M.S. Kuznetsov* SURFACE MODIFICATION OF NON-FERROUS METAL ALLOY PARTS 51

**05.13.11 — PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES — MATHEMATICAL AND SOFTWARE OF COMPUTERS, COMPLEXES AND COMPUTER NETWORKS**

*M.P. Ovchintsev* OPTIMAL RECOVERY OF BOUNDED ANALYTIC FUNCTIONS DEFINED IN A HALF PLANE BY THEIR VALUES AT A FINITE NUMBER OF POINTS 54

**05.13.11 — TECHNICAL SCIENCES — MATHEMATICAL AND SOFTWARE OF COMPUTERS, COMPLEXES AND COMPUTER NETWORKS**

*A.P. Dadenkova* DEVELOPMENT OF ALGORITHMS TO REDUCE THE LOAD AND MAKE MORE EFFICIENT RETRIEVAL OF DATA IN THE DHT-NETWORK 59

*T.A. Demenkova, A.I. Alexandrov, A.O. Indrishenok* SOFTWARE IN THE PROBLEM OF HARDWARE IMPLEMENTATION OF ALGORITHMS 63
*T.A. Demenkova, G.S. Kozhevnikov, V.S. Tomashevskaya* ANALYSIS OF MECHANISMS OF ADAPTATION FOR IMPLEMENTATION OF THE INTERFACE IN COMPUTER SYSTEMS 67
*A.M. Semenov, L.F. Tagirova, V.K. Tagirov* USE OF INDISTINCT EXPERT SYSTEMS WHEN DEVELOPING ADAPTIVE HUMAN MACHINE INTERFACES 71

**05.13.18 — TECHNICAL SCIENCES — MATHEMATICAL MODELING, NUMERICAL METHODS AND PROGRAM COMPLEXES**

*A.I. Akimov, I.A. Akimov, V.A. Urban* MATHEMATICAL MODELLING AND THE SOLUTION OF MULTILAYERED PROBLEMS OF HEAT CONDUCTIVITY IN PRODUCTION OF COMPOSITE PRODUCTS BY THE POLYMERIZATION METHOD ON THE BASIS OF FINAL INTEGRATED TRANSFORMATIONS 75
*G.M. Alimirzoyev, M.S. Muravev, K.A. Nasetkin, A.S. Puzanov, D.A. Litovsky* MODELING OF THE FREQUENER OF THE FREQUENCY AT A HETEROBARRIER WATER IN 3 MM RANGE OF WAVES LONG 79
*N.N. Bespalov ,Y.V. Goryachkin, P.M. Dyomkin, K.Y. Pankin* MODELING OF ELECTRICAL AND HEAT PROCESSES IN THE POWER DIODE UNDER THE EXPOSURE OF A SHOCK CURRENT IN A PROGRAM ENVIRONMENT SYNOPSYS TCAD 83
*N.N. Bespalov, Y.V. Goryachkin, P.M. Dyomkin, K.Y. Pankin, D.S. Kondrashin* MODELING OF THE POWER DISTRIBUTION OF ELECTRIC LOSSES IN THE COMPONENT PARTS OF THE STRUCTURE POWER SEMICONDUCTOR DEVICE UNDER EXPOSURE TO DIRECT SHOCK CURRENT 87
*E.S. Goltsov, I.Ya. Djatlov, N.M. Trufanova* NUMERICAL ANALYSIS OF HEAT AND MASS TRANSFER DURING THE PROCESS OF SILANE CROSSLINKING IN WATER BATH 91
*Y.V. Goryachkin, N.N. Bespalov, K.Y. Pankin, P.M. Dyomkin, D.S. Kondrashin* SIMULATION AND RESEARCH THE PARAMETERS OF THE DIRECT CURRENT-VOLTAGE CHARACTERISTICS OF A POWER DIODE 95
*A.A. Zaydullin, O.Sh. Dautov* CONVERSION OF THE SPECTRUM OF A RADIOLOCATION PULSE DURING SPREAD THROUGH AN INHOMOGENEOUS ABSORBING MEDIUM 99
*M.A. Zubritsky, O.Yu. Ushakov, L.S. Sabitov* THE CONSIDERATION OF HIGHER FORMS OF OSCILLATIONS IN THE EVALUATION OF SEISMIC RESISTANCE OF SYSTEMS OF NONLINEAR STATIC METHOD 103
*M.A. Zubritsky, O.Yu. Ushakov, L.S. Sabitov* METHODS OF STRESS-STRAIN STATE OF THE SYSTEM UNDER SEISMIC LOADING LEVEL "MAXIMUM CREDIBLE EARTHQUAKE» 107
*A.A. Korelin, I.Y. Djatlov, N.M. Trufanova* NUMERICAL STUDY OF CROSS-LINKING OF POLYETHYLENE IN VULCANIZATION TUBE IN A NITROGEN ENVIRONMENT 111
*S.L. Marulin, A.R. Dinislamov, A.P. Buinosov* DETERMINATION OF CRITICAL SPEED OF THE LOCOMOTIVE ON THE RAILWAY TRACK IRREGULARITIES IN THE VIBRATIONS OF GALERANI 115
*V.Yu. Meltsov, A.A. Chudinov, A.K. Krutikov* FORECASTING OUTCOMES OF SPORTING EVENTS USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS USED FOR REGRESSION PROBLEMS AND CLASSIFICATION 119

*M.S. Muravyev, G.A. Alimirzoev, K.A. Nassetkin, A.S. Puzanov, D.A. Litovsky* DESIGN AND CALCULATION OF THE DIODE MICROWAVE DETECTOR ON THE BASIS OF A PACKAGELESS MIXING-DETECTOR DIODE WITCH BEAM CONCLUSIONS 123
*K.A. Nasetkin, M.S. Muravyev, G.A. Alimirzoev, A.S. Puzanov, I.Y. Zabavichev, A.A. Poteckhin* MODELING OF SUBMICRON SOI MOSFET CHARACTERISTICS TAKING INTO ACCOUNT RADIATION EFFECTS 127
*V.D. Pavlidis, R.D. Suleimenova, D.V. Levchenko* ANALYSIS AND ASSESSMENT OF THE PROFESSIONAL RISK OF EMPLOYEES OF THE DRILLING BRANCH «ORENBURGBURGENY» LLC «GAZPROMBURENIE». 131
*K.Y. Pankin, N.N. Bespalov, Y.V. Goryachkin, P.M. Dyomkin* SIMULATION OF TRANSIENT THERMAL PROCESSES IN A POWER DIODE WITH PROLONGED EXPOSURE TO DIRECT CURRENT 136
*R.D. Suleimenova, D.V. Levchenko* MATHEMATICAL MODELING OF THE RISKS OF UNIVERSITY DEVELOPMENT 140
*A.G. Shcherbinin, A.Y. Suhorukov, V.I. Gorbunov, T.D. Beloglazova* MATHEMATICAL MODELLING OF ELECTROMAGNETIC PROCESSES IN POWER CABLES AT SHORT CIRCUIT 143

**05.13.19 — PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES — METHODS AND SYSTEMS OF INFORMATION SECURITY, INFORMATION SECURITY**

*A.V. Komarova* GENERALIZED METHODS OF INCREASING THE RESISTANCE OF AUTHENTICATION SCHEMES 146
*N.A. Tishina, I.A. Shudro, E.N. Chernoprudova, L.F. Tagirova* INFORMATION SECURITY RISK ASSESSMENT OF CLOUD ENVIRONMENTS BASED ON A FUZZY METHOD FOR ANALYSIS OF HIERARCHIES 149

**ABSTRACTS** 153

*05.13.18*

**С.В. Анаников д-р техн. наук, А.Г. Кутузов д-р техн. наук,
И.В. Логинова канд. хим. наук**

Казанский национальный исследовательский технологический университет,
Кафедра химической кибернетики,
Казань, ananikovsv@rambler.ru

# ОБОБЩЕННОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ДЛЯ КОНЕЧНОГО ЦИЛИНДРА. СООБЩЕНИЕ 1. ВЫВОД ОБОБЩЕННОГО РЕШЕНИЯ

*В работе решается задача нестационарной теплопроводности для конечного цилиндра при заданных наиболее общих переменных граничных условиях первого и второго родов. Решение находится последовательным применением конечного интегрального косинус-преобразования Фурье и конечного интегрального преобразования Ханкеля. Полученное обобщенное решение является базой для нахождения большого количества частных решений для разнообразных сочетаний граничных условий.*

Ключевые слова: *теплопроводность, граничные условия, тепловой поток, преобразование Фурье, преобразование Ханкеля.*

Задача о теплопроводности в конечном цилиндре часто используется в качестве математической модели при температурных измерениях цилиндрическими датчиками температур [1], при теплоотдаче от цилиндрических стержней, используемых в качестве источников тепла, в различных реакторах химической и атомной промышленности [2], при расчетах ряда теплотехнических устройств [3], при решении обратных задач теплопроводности [1] и в ряде других случаев [4].

Поэтому, желательно располагать набором соответствующих теоретических решений, позволяющих охватить всевозможные начальные и граничные условия.

В данной работе дается обобщенное решение задачи о теплопроводности в конечном цилиндре, которое, при необходимости, позволяет получить большое количество возможных вариантов таких частных теоретических решений. Для этого необходимо лишь выполнить интегрирование при конкретно выбранных зависимостях, входящих в краевые и начальные условия.

***Физическая постановка задачи***

Дан конечный цилиндр радиуса $R$ и длиной $l$, который подвергается нагреву произвольным тепловым потоком $q(r,\tau)$. Тепловой поток направлен перпендикулярно одной из торцевых поверхностей цилиндра, т.е. вдоль оси $z$. Противоположная торцевая сторона, то есть другая торцевая поверхность цилиндра, теплоизолирована.

Начальная температура цилиндра является функцией радиальной и осевой координат. Граничная температура цилиндрической части области зависит от осевой координаты $z$и времени $\tau$.

Требуется найти температурное поле $T(r,z,\tau)$ в конечном цилиндре.

***Математическая постановка задачи***

$$\frac{\partial T(r,z,\tau)}{\partial \tau} = a^2\left[\frac{\partial^2 T(r,z,\tau)}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial T(r,z,\tau)}{\partial r} + \frac{\partial^2 T(\tau,z,\tau)}{\partial z^2}\right], \quad (1)$$

$$0 \leqslant r \leqslant R,\ 0 \leqslant z \leqslant l,\ \tau > 0,$$

$$T(r,z,0) = f(r,z),\ 0 \leqslant r \leqslant R,\ 0 \leqslant z \leqslant l, \quad (2)$$

$$-\lambda\frac{\partial T(r,l,T)}{\partial z} + q(r,\tau) = 0, 0 \leqslant r \leqslant R, \tau > 0, \quad (3)$$

$$\frac{\partial T(r,0,\tau)}{\partial z} = 0, 0 \leqslant r \leqslant R, \tau > 0, \quad (4)$$

$$T(R,z,\tau) = T_{ст}(z,\tau), \ 0 \leqslant z \leqslant l, \ \tau > 0, \quad (5)$$

$$\frac{\partial T(0,z,\tau)}{\partial r} = 0, \ 0 \leqslant z \leqslant l, \tau > 0, \quad (6)$$

$$T(0,z,\tau) \neq \infty, \ 0 \leqslant z \leqslant l, \ \tau > 0. \quad (7)$$

Задача (1) – (7) преобразуется с помощью замены

$$\theta(r,z,\tau) = T(r,z,\tau) - T_{ст}(z,\tau). \quad (8)$$

Тогда будет

$$\frac{\partial \theta(r,z,\tau)}{\partial \tau} + \frac{\partial T_{ст}(z,\tau)}{\partial \tau} == a^2 \frac{\partial^2 \theta(r,z,\tau)}{\partial r^2} + \frac{a^2}{r}\frac{\partial \theta(r,z,\tau)}{\partial r} + a^2 \frac{\partial^2 \theta(r,z,\tau)}{\partial z^2} + a^2 \frac{\partial T_{ст}(z,\tau)}{\partial z^2}, \quad (9)$$

$$\theta(r,z,0) = f(r,z) - T_{ст}(z,0), \ 0 \leqslant r \leqslant R, \ 0 \leqslant z \leqslant l, \quad (10)$$

$$\frac{\partial \theta(r,l,\tau)}{\partial z} = \frac{q(r,\tau)}{\lambda} - \frac{\partial T_{ст}(l,\tau)}{\partial z}, 0 \leqslant r \leqslant R, \tau > 0, \quad (11)$$

$$\frac{\partial \theta(r,0,\tau)}{\partial z} = -\frac{\partial T_{ст}(0,\tau)}{\partial \tau}, \ 0 \leqslant r \leqslant R, \tau > 0, \quad (12)$$

$$\theta(R,z,\tau) = 0, \ 0 \leqslant z \leqslant l, \ \tau > 0, \quad (13)$$

$$\frac{\partial \theta(0,z,\tau)}{\partial r} = 0, 0 \leqslant z \leqslant l, \tau > 0, \quad (14)$$

$$\theta(0,z,\tau) \neq \infty, 0 \leqslant z \leqslant l, \tau > 0. \quad (15)$$

К задаче (9) – (15) применяется конечное интегральное косинус-преобразование Фурье [5]

$$\theta_F(r,n,\tau) = \int_0^l \theta(r,z,\tau) \cos\frac{\pi n z}{l} dz, \quad n = 0,1,2 \ldots, \quad (16)$$

$$\frac{\partial \theta_F(r,n,\tau)}{\partial \tau} + \int_0^l \frac{\partial T_{ст}(z,\tau)}{\partial \tau} \cos\frac{\pi n z}{l} dz = a^2 \frac{\partial^2 \theta_F(r,n,\tau)}{\partial r^2} + \frac{a^2}{r}\frac{\partial \theta(r,n,\tau)}{\partial r} + a^2 \int_0^l \frac{\partial^2 \theta(r,z,\tau)}{\partial z^2} \cos\frac{\pi n z}{l} dz + a^2 \int_0^l \frac{\partial^2 T_{ст}(z,\tau)}{\partial z^2} \cos\frac{\pi n z}{l} dz. \quad (17)$$

Двойное интегрирование дает

$$\int_0^l \frac{\partial^2 \theta(r,z,\tau)}{\partial z^2} \cos\frac{\pi n z}{l} dz = (-1)^n \frac{\partial \theta(r,l,\tau)}{\partial z} - \frac{\partial \theta(r,0,\tau)}{\partial z} - \frac{\pi^2 n^2}{l^2}\theta_F(r,n,\tau);$$

$$a^2 \int_0^l \frac{\partial^2 \theta(r,z,\tau)}{\partial z^2} \cos\frac{\pi n z}{l} dz = a^2 (-1)^n \left[\frac{q(r,\tau)}{\lambda} - \frac{\partial T_{ст}(l,\tau)}{\partial z}\right] + a^2 \frac{\partial T_{ст}(0,\tau)}{\partial z} - \frac{\pi^2 a^2 n^2}{l^2}\theta_F(r,n,\tau). \quad (18)$$

На основании (17) –(18) и преобразования граничных условий (13) – (15) будет

$$\frac{\partial \theta_F(r,n,\tau)}{\partial \tau} = a^2 \frac{\partial^2 \theta_F(r,n,\tau)}{\partial r^2} + \frac{a^2}{r} \cdot \frac{\partial \theta_F(r,n,\tau)}{\partial r} - \frac{\pi^2 a^2 n^2}{l^2}\theta_F(r,n,\tau) + a^2 \int_0^l \frac{\partial^2 T_{ст}(z,\tau)}{\partial z^2} \cos\frac{\pi n z}{l} dz + (-1)^n \frac{a^2 q(r,\tau)}{\lambda} - (-1)^n a^2 \frac{\partial T_{ст}(l,\tau)}{\partial z} + a^2 \frac{\partial T_{ст}(0,\tau)}{\partial z} - \int_0^l \frac{\partial T_{ст}(z,\tau)}{\partial \tau} \cos\frac{\pi n z}{l} dz, \quad (19)$$

$$\theta_F(r,n,0) = \int_0^l [f(r,z) - T_{ст}(z,0)] \cos\frac{\pi n z}{l} dz, \quad (20)$$

$$\theta_F(R,n,\tau) = 0, \quad (21)$$

$$\frac{\partial\theta_F(0,n,\tau)}{\partial r}=0, \tag{22}$$

$$\theta_F(0,n,\tau)\neq\infty. \tag{23}$$

Задача (19) – (23) решается при помощи конечного интегрального преобразования Ханкеля [5]

$$\theta_{F,H}(p,n,\tau)=\int_0^R r\theta_F(r,n,\tau)\mathcal{J}_0(pr)dr\,. \tag{24}$$

Вначале преобразуется исходное уравнение (19). Преобразование отдельных членов этого уравнения дает

$$\int_0^R\left[a^2\frac{\partial^2\theta_F(r,n,\tau)}{\partial r^2}+\frac{a^2}{r}\frac{\partial\theta_F(r,n,\tau)}{\partial r}\right]r\mathcal{J}_0(p_m r)dr=$$

$$=a^2\int_0^R\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left[r\frac{\partial\theta_F(r,n,\tau)}{\partial r}\right]r\mathcal{J}_0(p_m r)dr=-a^2{p_m}^2\theta_{F,H}(p_m,n,\tau). \tag{25}$$

$$\int_0^R\frac{\partial\theta_F(r,n,\tau)}{\partial\tau}r\mathcal{J}_0(p_m r)dr=\frac{\partial}{\partial\tau}\int_0^R\theta_F(r,n,\tau)r\mathcal{J}_0(p_m r)dr=\frac{\partial\theta_{F,H}(p_m,n,\tau)}{\partial\tau}. \tag{26}$$

$$-\frac{a^2\pi^2n^2}{l^2}\int_0^R\theta_F(r,n,\tau)r\mathcal{J}_0(p_m r)dr=-\frac{a^2\pi^2n^2}{l^2}\theta_{F,H}(p_m,n,\tau). \tag{27}$$

В результате (19) с учетом граничных условий (21), (22) приводится к виду

$$\frac{\partial\theta_{F,H}(p_m,n,\tau)}{\partial\tau}+a^2\left(\frac{\pi^2n^2}{l^2}+{p_m}^2\right)\theta_{F,H}(p_m,n,\tau)=$$

$$=a^2\int_0^R\left[\int_0^l\frac{\partial^2T_{\text{ст}}(z,\tau)}{\partial z^2}cos\frac{\pi nz}{l}dz\right]r\mathcal{J}_0(p_m r)dr+\frac{(-1)^na^2}{\lambda}\int_0^R q(r,\tau)r\mathcal{J}_0(p_m r)dr-$$

$$-(-1)^na^2\frac{\partial T_{\text{ст}}(l,\tau)}{\partial z}\int_0^R r\mathcal{J}_0(p_m r)dr+a^2\frac{\partial T_{\text{ст}}(0,\tau)}{\partial z}\int_0^R r\mathcal{J}_0(p_m r)dr-$$

$$-\left[\int_0^l\frac{\partial T_{\text{ст}}(z,\tau)}{\partial\tau}cos\frac{\pi nz}{l}dz\right]\int_0^R r\mathcal{J}_0(p_m r)dr.$$

Дальнейшее преобразование полученного выражения приводит к соотношениям

$$\int_0^R r\mathcal{J}_0(p_m r)dr=\frac{1}{{p_m}^2}\int_0^R p_m r\mathcal{J}_0(p_m r)d(p_m r)=\frac{1}{{p_m}^2}[p_m R\mathcal{J}_1(p_m R)-0\cdot p_m\mathcal{J}_1(p_m\cdot 0)]=$$

$$=\frac{R\mathcal{J}_1(p_m R)}{p_m}=\frac{R\mathcal{J}_1(\mu_m)}{p_m},\text{ т. к. }p_m=\frac{\mu_m}{R};$$

.

$$-(-1)^na^2\frac{\partial\text{T}_{\text{ст}}(l,\tau)}{\partial z}\int_0^R r\mathcal{J}_0(p_m r)dr+a^2\frac{\partial\text{T}_{\text{ст}}(0,\tau)}{\partial z}\int_0^R r\mathcal{J}_0(p_m r)dr-$$

$$-\left[\int_0^l \frac{\partial T_{\text{ст}}(z,\tau)}{\partial\tau}\cos\frac{\pi nz}{l}\,dz\right]\int_0^R r\mathcal{J}_0(p_m r)dr =$$

$$=\left\{-a^2(-1)^n\frac{\partial T_{\text{ст}}(l,\tau)}{\partial z}+a^2\frac{\partial T_{\text{ст}}(0,\tau)}{\partial z}-\left[\int_0^l \frac{\partial T_{\text{ст}}(z,\tau)}{\partial\tau}\cos\frac{\pi nz}{l}\,dz\right]\right\}\frac{R\mathcal{J}_1(p_m R)}{p_m};$$

$$a^2\int_0^R\left[\int_0^l \frac{\partial^2 T_{\text{ст}}(z,\tau)}{\partial z^2}\cos\frac{\pi nz}{l}\,dz\right]r\mathcal{J}_0(p_m r)dr = = a^2\left[\int_0^l \frac{\partial^2 T_{\text{ст}}(z,\tau)}{\partial z^2}\cos\frac{\pi nz}{l}\,dz\right]\int_0^R r\mathcal{J}_0(p_m r)dr =$$

$$= a^2\left[\int_0^l \frac{\partial^2 T_{\text{ст}}(z,\tau)}{\partial z^2}\cos\frac{\pi nz}{l}\,dz\right]\frac{R\mathcal{J}_1(p_m R)}{p_m}.$$

В итоге получается

$$\frac{\partial\theta_{F,H}(p_m,n,\tau)}{\partial\tau}+a^2\left(\frac{\pi^2 n^2}{l^2}+{p_m}^2\right)\theta_{F,H}(p_m,n,\tau) =$$

$$=\left[-(-1)^n a^2\frac{\partial T_{\text{ст}}(l,\tau)}{\partial z}+a^2\frac{\partial T_{\text{ст}}(0,\tau)}{\partial z}-\int_0^l \frac{\partial T_{\text{ст}}(z,\tau)}{\partial\tau}\cos\frac{\pi nz}{l}\,dz+\right.$$

$$\left.+a^2\int_0^l \frac{\partial^2 T_{\text{ст}}(z,\tau)}{\partial z^2}\cos\frac{\pi nz}{l}\,dz\right]\frac{R\mathcal{J}_1(p_m R)}{p_m}+\frac{(-1)^n a^2}{\lambda}\int_0^R q(r,\tau)r\mathcal{J}_0(p_m r)dr. \quad (28)$$

Преобразование начального условия (20) дает

$$\theta_{F,H}(p_m,n,0)=\int_0^R\left\{\int_0^l[f(r,z)-T_{\text{ст}}(z,0)]\cos\frac{\pi nz}{l}\,dz\right\}r\mathcal{J}_0(p_m r)dr\,. \quad (29)$$

Решается задача (28), (29). Вводятся обозначения

$$\frac{\partial\theta_{F,H}(p_m,n,\tau)}{\partial\tau}+a^2\left(\frac{\pi^2 n^2}{l^2}+{P_m}^2\right)\theta_{F,H}(p_m,n,\tau)=Q(\tau),$$

где $Q(\tau)$ - правая часть (28).

Решением задачи (28), (29) будет

$$\theta_{F,H}(p_m,n,\tau)=\varphi(n,\tau)\int_0^R\left\{\int_0^l[f(r,z)-T_{\text{ст}}(z,0)]\cos\frac{\pi nz}{l}\,dz\right\}r\mathcal{J}_0(p_m r)dr+$$

$$+\varphi(n,\tau)\int_0^\tau\left\{\left[-a^2(-1)^n\frac{\partial T_{\text{ст}}(l,\tau)}{\partial z}+a^2\frac{\partial T_{\text{ст}}(0,\tau)}{\partial z}-\right.\right.$$

$$\left.-\int_0^l \frac{\partial T_{\text{ст}}(z,\tau)}{\partial\tau}\cos\frac{\pi nz}{l}\,dz+a^2\int_0^l \frac{\partial^2 T_{\text{ст}}(z,\tau)}{\partial z^2}\cos\frac{\pi nz}{l}\,dz\right]\frac{R\mathcal{J}_1(p_m R)}{p_m}+$$

$$\left.+\frac{(-1)^n a^2}{\lambda}\int_0^R q(r,\tau)r\mathcal{J}_0(p_m r)dr\right\}\varphi(n,\tau)d\tau, \quad (30)$$

где $\varphi(n,\tau)=e^{-a^2\left(\frac{\pi^2 n^2}{l^2}+{p_m}^2\right)\tau}$.

Теперь следует перейти к оригиналу в преобразовании Ханкеля по соотношению [5]

$$\theta_F(r,n,\tau)=\frac{2}{R^2}\sum_{m=1}^{\infty}\frac{\mathcal{J}_0(p_m r)}{\mathcal{J}_1^2(p_m R)}\theta_{F,H}(p_m,n,\tau). \quad (31)$$

Это позволяет получить

$$\theta_F(r,n,\tau)=\frac{2}{R^2}\sum_{m=1}^{\infty}\frac{\mathcal{J}_0(p_m r)}{\mathcal{J}_1^2(p_m R)}\,\varphi(n,\tau)\times$$

$$\times\int_0^R\left\{\int_0^l[f(r,z)-T_{\text{ст}}(z,0)]\cos\frac{\pi nz}{l}dz\right\}r\mathcal{J}_0(p_mr)dr+$$

$$+\frac{2}{R^2}\sum_{m=1}^{\infty}\frac{\mathcal{J}_0(p_mr)}{\mathcal{J}_1^2(p_mR)}\varphi(n,\tau)\int_0^{\tau}\left\{\left[-a^2(-1)^n\frac{\partial T_{\text{ст}}(l,\tau)}{\partial z}+a^2\frac{\partial T_{\text{ст}}(0,\tau)}{\partial z}-\right.\right.$$

$$-\int_0^l\frac{\partial T_{\text{ст}}(z,\tau)}{\partial\tau}\cos\frac{\pi nz}{l}dz+a^2\int_0^l\frac{\partial^2T_{\text{ст}}(z,\tau)}{\partial z^2}\cos\frac{\pi nz}{l}dz\left.\right]\frac{R\mathcal{J}_1(p_mR)}{p_m}+$$

$$\left.+\frac{(-1)^na^2}{\lambda}\int_0^Rq(r,\tau)r\mathcal{J}_0(p_mr)dr\right\}\varphi(n,\tau)d\tau. \tag{32}$$

Переход в пространство оригиналов из пространства изображений в конечном интегральном косинус - преобразовании Фурье производится по выражению [5]

$$\theta(r,z,\tau)=\frac{1}{l}\theta_F(r,0,\tau)+\frac{2}{l}\sum_{m=1}^{\infty}\theta_F(r,n,\tau)\cos\frac{\pi nz}{l}. \tag{33}$$

Предварительно находится $\theta_F(r,0,\tau)$.

$$\theta_F(r,0,\tau)=\frac{2}{R^2}\sum_{m=1}^{\infty}\frac{\mathcal{J}_0(p_mr)}{\mathcal{J}_1^2(p_mR)}\varphi(0,\tau)\int_0^R\left\{\int_0^l[f(r,z)-T_{\text{ст}}(z,0)]\,dz\right\}r\mathcal{J}_0(p_mr)dr+$$

$$+\frac{2}{R^2}\sum_{m=1}^{\infty}\frac{\mathcal{J}_0(p_mr)}{\mathcal{J}_1^2(p_mR)}\varphi(0,\tau)\int_0^{\tau}\left\{\left[-a^2\frac{\partial T_{\text{ст}}(l,\tau)}{\partial z}+a^2\frac{\partial T_{\text{ст}}(0,\tau)}{\partial z}-\int_0^l\frac{\partial T_{\text{ст}}(z,\tau)}{\partial\tau}dz+\right.\right.$$

$$\left.\left.+a^2\int_0^l\frac{\partial^2T_{\text{ст}}(z,\tau)}{\partial z^2}dz\right]\frac{R\mathcal{J}_1(p_mR)}{p_m}+\frac{a^2}{\lambda}\int_0^Rq(r,\tau)r\mathcal{J}_0(p_mr)dr\right\}\varphi(0,\tau)d\tau \tag{34}$$

Применением (33) к (32) с учетом (34) и выражения $\varphi(0,\tau)$ получено

$$T(r,z,\tau)=T_{\text{ст}}(z,\tau)+\frac{1}{lR^2}\sum_{m=1}^{\infty}\frac{2\mathcal{J}_0\left(\mu_m\frac{r}{R}\right)}{\mathcal{J}_1^2(\mu_m)}e^{\frac{-a^2\mu_m^2}{R^2}\tau}\times$$

$$\times\int_0^R\left\{\int_0^l[f(r,z)-T_{\text{ст}}(z,0)]\,dz\right\}r\mathcal{J}_0\left(\mu_m\frac{r}{R}\right)dr+$$

$$+\frac{1}{l}\sum_{m=1}^{\infty}\frac{2\mathcal{J}_0\left(\mu_m\frac{r}{R}\right)}{\mu_m\mathcal{J}_1(\mu_m)}\int_0^{\tau}\left\{\left[-a^2\frac{\partial T_{\text{ст}}(l,t)}{\partial z}+a^2\frac{\partial T_{\text{ст}}(0,t)}{\partial z}-\int_0^l\frac{\partial T_{\text{ст}}(z,t)}{\partial t}dz+\right.\right.$$

$$\left.+a^2\int_0^l\frac{\partial^2T_{\text{ст}}(z,t)}{\partial z^2}dz\right]e^{\frac{-a^2\mu_m^2}{R^2}(\tau-t)}dt+$$

$$+\frac{a^2}{\lambda lR^2}\sum_{m=1}^{\infty}\frac{2\mathcal{J}_0\left(\mu_m\frac{r}{R}\right)}{\mathcal{J}_1^2(\mu_m)}\int_0^{\tau}\left[\int_0^Rq(r,\mathrm{t})r\mathcal{J}_0\left(\mu_m\frac{r}{R}\right)dr\right]e^{\frac{-a^2\mu_m^2}{R^2}(\tau-t)}dt+$$

$$+\frac{2}{lR^2}\sum_{n=1}^{\infty}\sum_{m=1}^{\infty}\frac{2\mathcal{J}_0\left(\mu_m\frac{r}{R}\right)}{\mathcal{J}_1^2(\mu_m)}\cos\frac{\pi nz}{l}e^{-a^2\left(\frac{\pi^2\mathrm{n}^2}{l^2}+\frac{\mu_m^2}{R^2}\right)\tau}\times$$

$$\times\int_0^R\left\{\int_0^l[f(r,z)-T_{\text{ст}}(z,0)]\cos\frac{\pi nz}{l}dz\right\}r\mathcal{J}_0\left(\mu_m\frac{r}{R}\right)dr+$$

$$+\frac{2}{l}\sum_{n=1}^{\infty}\sum_{m=1}^{\infty}\frac{2\mathcal{J}_0\left(\mu_m\frac{r}{R}\right)}{\mu_m\mathcal{J}_1(\mu_m)}\cos\frac{\pi nz}{l}\int_0^{\tau}\left[-a^2(-1)^n\frac{\partial T_{\text{ст}}(l,\tau)}{\partial z}+a^2\frac{\partial T_{\text{ст}}(0,t)}{\partial z}-\right.$$

$$-\int_0^l \frac{\partial T_{ст}(z,t)}{\partial t} cos\frac{\pi nz}{l} dz + a^2 \int_0^l \frac{\partial^2 T_{ст}(z,t)}{\partial z^2} cos\frac{\pi nz}{l} dz \Bigg] e^{-a^2\left(\frac{\pi^2 n^2}{l^2}+\frac{\mu_m^2}{R^2}\right)(\tau-t)} dt +$$

$$+\frac{2a^2}{\lambda l R^2} \sum_{n=1}^{\infty}\sum_{m=1}^{\infty} \frac{2(-1)^n J_0\left(\mu_m \frac{r}{R}\right)}{J_1^2(\mu_m)} cos\frac{\pi nz}{l} \times$$

$$\times \int_0^{\tau} \left[\int_0^R q(r,t) r J_0\left(\mu_m \frac{r}{R}\right) dr\right] e^{-a^2\left(\frac{\pi^2 n^2}{l^2}+\frac{\mu_m^2}{R^2}\right)(\tau-t)} dt. \quad (35)$$

Решение (35) является обобщенным решением задачи для температурного поля *T(r,z,τ)* в конечном цилиндре. Оно позволяет получить в завершенном виде большое число частных решений при различных сочетаниях граничных условий и видов зависимостей *T(r,z,τ), f(r,z) и q(r, τ).*

### *Список литературы*

1. *Бек Дж.*Некорретные обратные задачи теплопроводности: пер.с англ. / Дж. Бек, Б. Блакуэлл, Ч. Сент-Клэр. – М.: Мир, 1989. – 312 с.

2. *Лыков А.В.*Тепломассообмен (справочник) / А.В. Лыков. – М.: Энергия, 1972. – 499 с.

3. *Кутателадзе С.С.* Теплопередача и гидродинамическое сопротивление (справочное пособие) / С.С. Кутателадзе. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 367 с.

4. *Карташов Э.М.* Аналитическая теория теплопроводности и прикладной термоупругости / Э.М. Карташов, В.А. Кудинов. – М.: Книжный дом Либроком, 2012. – 656 с.

5. *Лыков А.В.* Теория теплопроводности / А.В. Лыков. – М.: Высшая школа, 1967. – 599 с.

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ (05.13.01)

*05.13.01*

**Н.А. Абышев, А.В. Ключников канд. техн. наук, М.Д. Шагимуратов**

Российский федеральный ядерный центр –
Всероссийский научно-исследовательский институт технической физики
имени академика Е.И. Забабахина,
Снежинск, a.klyuchnikov@bk.ru

# КОМПЕНСАЦИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДИСБАЛАНСОВ, ВЫЗВАННЫХ ФАЗОВЫМИ СДВИГАМИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИГНАЛОВ БАЛАНСИРОВОЧНОГО СТЕНДА

*Обсуждён вопрос экспериментального определения и устранения ошибок фазовых сдвигов дисбалансов в процессе балансировки роторов на динамическом вертикальном балансировочном стенде с газостатическими подшипниками.*

Ключевые слова: *динамический балансировочный стенд, дисбаланс, датчик, измерительный сигнал, погрешность измерений.*

В работе [1] и других источниках показано, что наиболее привлекательным для прецизионного определения поперечного смещения центра масс и угла отклонения продольной главной центральной оси инерции (ГЦОИ) роторного объекта относительно его геометрической оси является использование диагностических комплексов, построенных на базе балансировочного оборудования.

Измерительная система, построенная на базе вновь спроектированного динамического вертикального низкочастотного балансировочного стенда с жёсткими опорами, выполненными в виде конических газостатических подшипников (ГСП), и средств вычислительной техники, предназначена для контроля указанных параметров массо-инерционной асимметрии длинномерных тел вращения конической формы [1]. Определение искомых параметров массо-инерционной асимметрии контролируемого ротора выполняют расчётным путём по результатам измерений дисбалансов, действующих в плоскостях коррекции [2, 3].

Измерительная система стенда включает в свой состав два пьезоэлектрических датчика силы генераторного типа, и фотоэлектрический датчик-отметчик фазы дисбалансов (далее – ФД), также используемый для измерения частоты вращения сборного ротора [1, 2]. На рисунке 1 приведён вид сверху балансировочного стенда, показана конструкция верхней опоры и схема размещения датчиков.

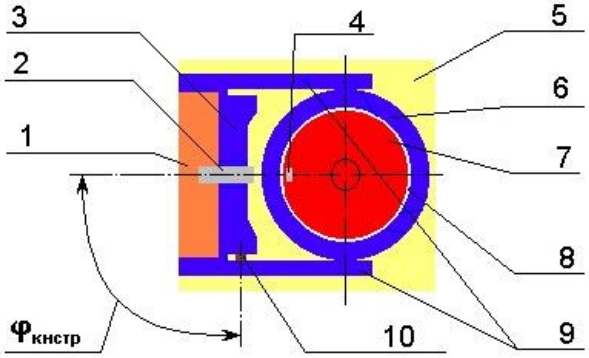



Рис. 1. Балансировочный стенд. Вид сверху: 1 – вертикальная стойка; 2 – ФД; 3 – основание; 4 – светоотражающее зеркало; 5 – фундамент стенда; 6 – ГСП; 7 – сборный ротор; 8 – воздушный зазор между сопрягаемыми поверхностями; 9 – упругие пластины; 10 – силоизмерительный датчик

Силоизмерительные датчики, обеспечивающие регистрацию вибраций опор, вызванных неуравновешенностью вращающегося в опорах сборного ротора, установлены в упругих элементах соответственно верхней и нижней опоры таким образом, что измерительная ось каждого датчика, расположена в горизонтальной плоскости, проходящей через середину опоры, и параллельна направлению вибрации опоры, т.е. совпадает с направлением силы, воздействующей на датчик в результате малых перемещений упругих пластин, удерживающих ГСП на вертикальной стойке стенда. ФД закреплён на вертикальной стойке, при этом прямой и отраженный лучи света распространяются вдоль прямой, направленной к оси вращения ротора и перпендикулярной этой оси. Светоотражающее зеркало, совмещенное с началом угловой разметки технологического переходника, закрепляется на боковой поверхности технологического переходника в плоскости распространения излучения ФД.

Начало регистрации временных реализаций вибросигналов инициируется сигналом от ФД при достижении рабочей частоты вращения на выбеге сборного ротора. В процессе последующей обработки реализаций выделяются дискретные составляющие с частотой, равной рабочей частоте вращения и несущие в себе информацию о действующих дисбалансах. Амплитуды и фазы выделенных дискретных составляющих – пропорциональны значениям и углам соответствующих дисбалансов, действующих в верхней (в дальнейшем обозначенной индексом «в») и нижней (в дальнейшем обозначенной индексом «н») плоскостях коррекции. Очевидно, что точность измерений указанных параметров определяется точностью применяемой измерительной аппаратуры, а также точностью определения фазовых сдвигов измерительных сигналов. Величина фазовых сдвигов определяется наличием известных конструктивных особенностей балансировочного стенда, а также применением в измерительной системе пьезоэлектрических датчиков, что обусловлено их малыми габаритами, надежностью в работе, высоким постоянством пьезоэффекта и высокой точностью преобразования механического напряжения в электрический сигнал в широком частотном диапазоне [4]. Согласование высокого выходного сопротивления пьезоэлектрических датчиков с низкоомными входами регистрирующей аппаратуры обеспечивают предварительные усилители, выполненные по схеме усилителя напряжения. Эквивалентная схема измерительного тракта, включающего пьезодатчик, соединенный кабелем с предусилителем, представлена на рисунке 2 с использованием следующих обозначений: $C_д$ – емкость датчика; $C_к$ – емкость кабеля между жилой и экраном; $C_у$ – входная емкость усилителя; $R_д$ – сопротивление датчика; $R_к$ – сопротивление изоляции кабеля; $R_у$ – входное сопротивление предусилителя.

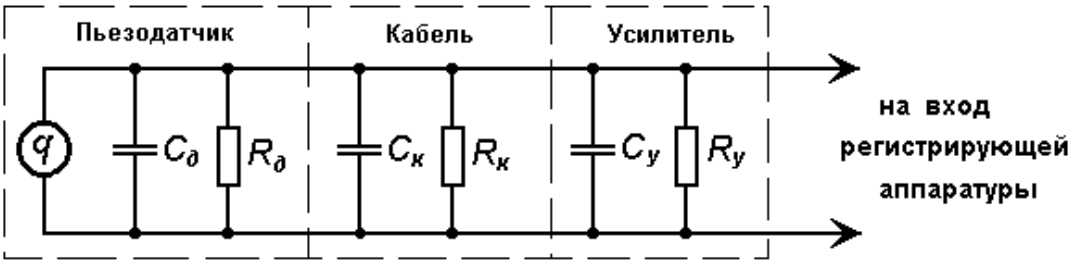



Рис. 2. Эквивалентная электрическая схема измерительного тракта

Теоретически систематическая погрешность, вызванная сдвигом фаз между напряжением и измеряемой силой, зависит от *RC*-параметров в цепи «верхнего» и «нижнего» измерительного тракта и от угловой скорости ротора $\omega$ и для каждого измерительного тракта, и может быть рассчитана по формуле [4]:

$$\varphi_{фс} = \pi / 2 + arctg\omega RC + \varphi_{кнстр}, \quad (1)$$

где $\varphi_{кнстр} = 90^{\circ}$ – угол между направлением измеряемой силы и направлением отраженного зеркалом пучка света (в соответствии с рисунком 1), определяемый конструкцией балансировочного стенда; $R$ – сопротивление, равное сопротивлению

параллельного соединения $R_д$, $R_к$ и $R_y$ в цепи измерительного тракта; $C = C_д + C_к + C_y$; $\omega = 2\pi f_{раб}$. Это позволяет вычислить фазы векторов вибраций верхней и нижней опор, равные углам искомых векторов дисбалансов в системе координат вращающего ротора, по формулам

$$\varphi_B = \varphi_{Визм} - \varphi_{Вфс}; \quad (2)$$

$$\varphi_H = \varphi_{Низм} - \varphi_{Нфс}, \quad (3)$$

где $\varphi_{Визм}$, $\varphi_{Низм}$ – фазы сигналов дисбалансов, поступающих от верхнего и нижнего датчиков силы, содержащие в себе соответственно фазовые сдвиги $\varphi_{Вфс}$ и $\varphi_{Нфс}$ между выходным напряжением усилителя соответствующего датчика силы и измеряемой этим датчиком силой.

Таким образом, выражение (1) демонстрирует, что при неизменном значении $f_{раб}$ (а также при использовании регистрирующей аппаратуры с достаточно высокой частотой дискретизации) точность определения углов $\varphi_B$ и $\varphi_H$ фактически зависит от точности измерения параметров *RC*-цепи измерительного тракта. Однако при достаточно высокой стабильности ёмкости пьезокварцевого датчика $C_д$ емкость кабеля $C_к$ (даже при его неизменном пространственном положении) может существенно изменяться в зависимости от таких внешних факторов, как температура и влажность окружающей среды, внося тем самым дополнительную погрешность в результаты расчета $\varphi_{Вфс}$ и $\varphi_{Нфс}$, а также $\varphi_B$ и $\varphi_H$. Эксперименты показали, что значения фазовых сдвигов $\varphi_{Вфс}$ и $\varphi_{Нфс}$, измеренные, например, на частоте вращения ~2 Гц, могут отличаться от значений, рассчитанных по формуле (1), до 6˚–7˚ [5], что требует экспериментального определения фазовых сдвигов сигналов дисбалансов в ходе балансировочного эксперимента.

Фазовые сдвиги сигналов дисбалансов могут быть определены в процессе настройки измерительной системы стенда с использованием нескольких пусков. В первом пуске измеряют амплитуды $A_B$, $A_H$ и фазы $\varphi_{Визм}$, $\varphi_{Низм}$ колебаний обеих опор для сборного ротора в исходном состоянии. Затем на известном угле $\varphi_{Вуст}$ в верхней плоскости коррекции устанавливают пробный груз известной массы и измеряют параметры колебаний верхней опоры $A_{Втв}$, $\varphi_{Втв}$. Третий пуск ротора производят с пробным грузом, прикрепленным на известном угле $\varphi_{Нуст}$ в нижней плоскости коррекции, измеряют параметры колебаний нижней опоры $A_{Нтн}$, $\varphi_{Нтн}$. Далее выделяют составляющие векторов вибраций опор «только от пробных грузов» $A_B^{тв}$, $\varphi_B^{тв}$ и $A_H^{тн}$, $\varphi_H^{тн}$ путем геометрического вычитания в контролируемых плоскостях коррекции векторов вибраций опор, полученных в опыте с ротором в исходном состоянии, из соответствующих векторов вибраций опор, полученных в опытах с пробными грузами, по формулам: $\vec{A}_B^{тв} = \vec{A}_{Втв} - \vec{A}_B$ и $\vec{A}_H^{тн} = \vec{A}_{Нтн} - \vec{A}_H$. Затем определяют фазовые сдвиги сигналов соответственно по формулам: $\varphi_{Вфс} = \varphi_B^{тв} - \varphi_{Вуст}$ и $\varphi_{Нфс} = \varphi_{НВ}^{тн} - \varphi_{Нуст}$, где $\varphi_B^{тв}$ и $\varphi_{НВ}^{тн}$ – фазы составляющих вибраций опор «только от пробных грузов». Компенсация фазовых сдвигов с использованием выражений (2) и (3) позволяет определить действительные значения фаз сигналов дисбалансов в плоскостях коррекции.

Рассмотренная методика определения и компенсации погрешностей, фазовых сдвигов измерительных сигналов позволяет повысить точность контроля параметров массо-инерционной асимметрии. Эффективность методики экспериментально подтверждена на динамическом балансировочном стенде [1] и защищена патентом РФ 2453818 [6].

***Список литературы***

1. *Ключников А.В., Шагимуратов М.Д.* Принципы построения и структура системы диагностики асимметричности в распределении масс летательного аппарата // Научно-технический вестник Поволжья, 2015. – №2. – С. 141–143.
2. *Ключников А.В., Михайлов Е.Ф., Чертков М.С.* Диагностика характеристик асимметрии масс скоростных ЛА методом динамической балансировки // Научно-технический вестник Поволжья, 2013. – №3. – С. 169–172.
3. Патент РФ на изобретение №2292534. Способ балансировки ротора / Глазырина Л.М., Карповицкий М.С., Ключников А.В., Мальгин А.И., Смирнов Г.Г., Фомин Ю.П.// Опубл. в БИ №3, 2007. Приоритет от 27.04.2004.
4. *Левшина Е.С., Новицкий П.В.* Электрические измерения физических величин. – Л.: Энергоатомиздат, 1983. – 320 с.
5. *Ilyinykh V.V., Klyuchnikov A.V., Chertkov M.S., Shalashov S.V.* Method of disbalance phase angle errors elimination // Materials of the II International scientific-practical conference «Innovative Information Technologies» (Prague, April 22–26, 2013). – Moscow: HSE, 2013. – Part 3. – P. 179–184.
6. Патент РФ на изобретение №2453818. Способ настройки балансировочного стенда для определения параметров массо-инерционной асимметрии роторов / *Ключников А.В.* // Опубл. в БИ №17, .2012. Приоритет от 11.01.2011.

*05.13.01*

**[1]С.В. Бережная, [2]А.А. Саченков канд. физ.-мат. наук, [3]Э.З. Якупов д-р мед. наук**

[1]ГАУЗ «Городская поликлиника №8»,
[2]Казанский (Приволжский) федеральный университет,
институт математики и механики, кафедра теоретической механики,
[3]Казанский государственный медицинский университет,
кафедра неврологии, нейрохирургии и медицинской генетики,
Казань, svetlana.berezhn@mail.ru

# СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДАННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ВОЛОС И ОЦЕНКИ НЕВРОЛОГИЧЕСКОГО СТАТУСА, ПОЛУЧЕННОЙ ПО ФОРМАЛИЗОВАННЫМ БАЛЬНЫМ ШКАЛАМ, У ПАЦИЕНТОВ С ХРОНИЧЕСКОЙ ИШЕМИЕЙ МОЗГА

*В работе представлены методы статистической обработки данных, полученных в результате оценки неврологического статуса пациентов и количественного микроэлементного состава их волос. Исходные данные по каждому пациенту записывались в учетных карточках и размещались полистно в одном из файлов программного пакета Microsoft Excel XP, содержащем первичную документацию диссертационной работы.*

Ключевые слова: *микроэлементный баланс, статистическая обработка данных, хроническая ишемия мозга.*

Для оценки неврологического статуса обследуемых пациентов до и после каждого курса лечения оценивалась динамика субъективных жалоб объективных показателей, психоэмоционального состояния (HADS), когнитивных расстройств (MMSE).

При рассмотрении динамики субъективных жалоб использовалась формализованная четырехбалльная шкала по девяти ведущим клиническим симптомам: головная боль, метеочувствительность, шум, звон в голове, повышенная утомляемость, эмоциональная лабильность, снижение памяти, головокружения, неустойчивость при ходьбе, нарушение сна. Выраженность объективных неврологических симптомов определялась при помощи модифицированного опросника Когана О.Г. по пятибалльной рейтинговой шкале [1]. Динамика когнитивных расстройств оценивалась с помощью краткой шкалы оценки психического статуса (MMSE) [2, 3], а адаптационный профиль больных с хронической ишемией мозга (ХИМ) определялся по психоэмоциональному состоянию (госпитальная шкала тревоги и депрессии HADS) [4].

При выборе биологического субстрата для характеристики элементного статуса человека предпочтение отдается обычно волосам. Элементный состав волос отражает устойчивые тенденции, сформировавшиеся за достаточно большой промежуток времени (недели, месяцы, годы), он не подвержен значительным колебаниям в зависимости от приема пищи и времени суток. Благодаря работам [5, 6] была сформирована обширная информационная база объективных данных многоэлементного состава волос человека. Это позволило обозначить референтные значения содержания химических элементов в волосах человека и разработать концепцию коррекции элементного статуса человека.

В основу исследований были положены результаты амбулаторно-поликлинического наблюдения, диагностики и лечения 84 пациентов в возрасте (64.7±8.5) лет с диагнозом «Хроническая ишемия мозга», состоявших на учете в ГАУЗ «Городская поликлиника №6» г. Казани и прошедших полное диагностическое обследование и амбулаторное лечение.

В зависимости от задач исследования были сформированы две группы пациентов. В первую группу были включены пациенты с различными этиологическими и клинико-патогенетическими формами ХИМ I и II стадии с целью выявления особенностей

элементного статуса при данной патологии. Вторая группа включала в себя пациентов с ХИМ I и II стадии и была сформирована с целью выяснения возможности повышения эффективности лечения ХИМ путем применения нейропротективных средств, обладающих потенциальной способностью влиять на элементный гомеостаз. Пациенты этой группы были разделены на две группы 2А и 2Б слепым случайным методом. Пациентам группы 2А проводилась нейропротективная терапия с использованием препаратов, потенциально влияющих на элементный гомеостаз, пациентам группы 2Б – препаратами, не влияющими на элементный гомеостаз. Кроме того, в соответствии с тяжестью клинического течения пациенты каждой группы были отнесены к ХИМ I или II стадии [7-9].

Статистическую обработку проводили с использованием программных пакетов Microsoft Excel XP.

В исследовании для количественной оценки неврологических симптомов при клиническом обследовании использовались шкалы, в которых показатель выраженности того или иного симптома оценивается в баллах. Число пациентов, участвующих в каждом отдельном исследовании, составляло 7-26 человек (выборки умеренной численности). Эти обстоятельства являются достаточным основанием для выбора непараметрических методов анализа полученных результатов [10].

Для сопоставления показателей, измеренных в двух разных условиях на одной и той же выборке испытуемых, применялся критерий Вилкоксона, для оценки различий по уровню какого-либо признака между двумя независимыми выборками использовался критерий Манна-Уитни.

На рисунках 1 и 2 приведены примеры расположения данных первичной документации на листе учетной карточки одного из пациентов с ХИМ, полученных в результате оценки неврологического статуса пациентов, и количественные данные микроэлементного состава волос.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Ф.И.О. | | | |
| 2 | возраст | | | |
| 3 | группа | 2А | | |
| 4 | стадия химической ишемии мозга | ХИМ II | | |
| 5 | динамика субъективных жалоб | до лечения | после I курса лечения | после II курса лечения |
| | головная боль | 2 | 2 | 2 |
| | метеочувствительность | 3 | 2 | 2 |
| | шум, звон в голове | 3 | 2 | 2 |
| | повышенная утомляемость | 3 | 2 | 1 |
| | эмоциональная лабильность | 3 | 3 | 3 |
| | снижение памяти | 3 | 2 | 2 |
| | головокружение | 2 | 2 | 2 |
| | неустойчивость при ходьбе | 3 | 2 | 2 |
| | нарушение сна | 3 | 3 | 3 |
| 6 | динамика объективных показателей | до лечения | после I курса лечения | после II курса лечения |
| | повышение мышечного тонуса | 1 | 1 | 1 |
| | расстройство динамической координации | 2 | 2 | 1 |
| | расстройства статической координации | 3 | 3 | 2 |
| | глазодвигательные расстройства | 1 | 1 | 1 |
| | дизартрия | 1 | 1 | 0 |
| 7 | HADS | 9 | 8 | 7 |
| | MMSE | 27 | 28 | 28 |

Рис.1 – Пример оценки неврологического статуса пациентов

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Ф.И.О. | | | |
| 2 | возраст | | | |
| 3 | группа | 2А | | |
| 4 | стадия химической ишемии мозга | ХИМ II | | |
| 5 | микроэлементный состав волос | до лечения [мкг/г] | после лечения [мкг/г] | референтные показатели [мкг/г] |
| | Zn (цинк) | 156.35 | 161.60 | 155-206 |
| | V (ванадий) | 0.066 | 0.05 | 0.005-0.5 |
| | Mn (марганец) | 0.64 | 0.60 | 0.32-1.13 |
| | Mg (магний) | 40.46 | 48.58 | 39-137 |
| | Fe (железо) | 16.39 | 14.42 | 11-24 |
| | Cu (медь) | 13.01 | 12.36 | 9-14 |
| | Al (алюминий) | 16.31 | 14.52 | 6-18 |
| | K (калий) | 142.99 | 139.27 | 29-159 |
| | Na (натрий) | 741.36 | 611.33 | 73-331 |
| | Ca (кальций) | 407.68 | 379.14 | 494-1619 |
| | Li (литий) | 0.022 | 0.02 | 0.00-0.02 |
| | Ni (никель) | 0.41 | 0.41 | 0.14-0.53 |
| | Cr (хром) | 1.91 | 2.31 | 0.32-0.96 |

Рис.2 – Пример данных микроэлементного состава волос

Алгоритм статистической обработки данных по оценкам неврологического и микроэлементного статуса пациентов ХИМ по данным из их учетных карточек выглядит следующим образом (для примера, определяется среднее арифметическое оценки психического статуса (MMSE) пациентов группы 2А с ХИМ II до лечения, после I курса лечения, после II курса лечения):

- определяются номера и количество листов в файле программного пакета Microsoft Excel XP для пациентов группы 2А – листы с 38-го по 63-ий, 26 листов;
- определяются номера и количество листов в файле программного пакета Microsoft Excel XP для пациентов группы 2А с ХИМ II – листы с 46-го по 63-ий, 18 листов;
- суммируются данные соответствующих ячеек (C36 - для оценки психического статуса (MMSE) пациентов до лечения, D36 - после I курса лечения, E36 - после II курса лечения) для листов с 46-го по 63-ий и делятся на количество пациентов соответствующей группы (на 18);
- в результате определяется среднее арифметическое оценки психического статуса (MMSE) пациентов группы 2А с ХИМ II до лечения – 26.71, после I курса лечения – 27.64, после II курса лечения – 28.00).

Алгоритм для статистической обработки каждого показателя представлен в виде отдельного кода в ячейках, для реализации которого необходимо задать группу (или сравниваемые по критериям Вилкоксона или Манна-Уитни группы) пациентов и определяемый статистический показатель.

Можно отметить, что размещение исходных данных по каждому пациенту в учетных карточках полистно в файле программного пакета Microsoft Excel XP представляет информацию по каждому пациенту в удобном для восприятия виде и позволяет в полуавтоматическом режиме проводить статистическую обработку данных, полученных в результате оценки неврологического статуса пациентов и количественного микроэлементного состава их волос.

***Список литературы***

1. *Коган О.Г., Шмидт И.Р., Заславский Е.С., Петров Б.Г., Безбородова В.А., Бобровникова Т.И.* - Методические рекомендации для врачей-курсантов. - Новокузнецк, 1981.
2. *Белова А.Н.* Шкалы, тесты и опросники в неврологии и нейрохирургии. - М: Самарский дом печати, 2004. - 432с.
3. *Folstein M.F., Filstein S.E., McHugh P.R.* Mini-Mental State: a practical guide for grading the mental state of patients for the clinician. // J. Psychiat. Res. - 1975. - V.12. - P.189-198.
4. *Zigmond A.S., Snaith R.P.* The Hospital Anxiety and Depression scale. // Acta Psychiatr. Scand. - 1983. - V. 67. - P. 361-370.
5. *Серебрянский Е.П., Скальный А.В., Чечеватова О.Ю., Скальная М.Г., Демидов В.А.* Комплексный подход к элементному анализу волос с использованием методов ИСП-АЭС и ИСП-МС // Микроэлементы в медицине. – 2003. – Том. 4. - № 1. - С. 41-46.
6. *Bertran H.P.* Spurenelemente. Analitic, Okotoxikologische und medizinisch-rlinische Bedentung. - Munchen, Wien, Baltimore: Urban und Schwarzenberg, 1992. – 207 p.
7. *Дамулин И.В., Парфенов В.А., Скоромец А.А., Яхно Н.Н.* Нарушения кровообращения в головном и спинном мозге // Болезни нервной системы. Руководство для врачей.– Москва, 2003. - С.231–302.
8. *Бойко А.Н., Сидоренко Т.В., Кабанов А.А.* Хроническая ишемия мозга (дисциркуляторная энцефалопатия) // Consilium Medicum. – 2004. – Т. 6, № 8. – С.598-601.
9. *Силина Е.В., Румянцева С.А., Орлова А.С.* Нарушение памяти и астения. - Москва: Тактик-Студио, 2015.- 180с.
10. *Сидоренко Е.В.* Методы математической обработки в психологии - СПб.: ООО «Речь». - 2007. - 347 с.

*05.13.01*

**[1]С.В. Бережная, [2]Э.З. Якупов д-р мед. наук, [3]А.А. Саченков канд. физ.-мат. наук**

[1]ГАУЗ «Городская поликлиника №8»,
[2]Казанский государственный медицинский университет,
кафедра неврологии, нейрохирургии и медицинской генетики,
[3]Казанский (Приволжский) федеральный университет,
институт математики и механики, кафедра теоретической механики,
Казань, svetlana.berezhn@mail.ru

# ИССЛЕДОВАНИЕ НАРУШЕНИЙ БАЛАНСА МАКРО- И МИКРОЭЛЕМЕНТОВ У ПАЦИЕНТОВ С ХРОНИЧЕСКОЙ ИШЕМИЕЙ МОЗГА

*Представлены результаты исследования элементного баланса у пациентов с хронической ишемией мозга в амбулаторной практике. Определены особенности биоэлементного портрета пациентов с хронической ишемией мозга I и II стадии.*

Ключевые слова: *микро- и макроэлементный баланс, хроническая ишемия мозга*.

Цереброваскулярные заболевания являются важной медико-социальной проблемой современной неврологии, поскольку дают самые высокие показатели по заболеваемости, смертности и инвалидности практически во всех странах мира [1].

В последние годы все больше внимания в клинических исследованиях уделяется вопросам влияния нарушений макроэлементного (МаЭ) и микроэлементного (МЭ) баланса на патогенез ЦВЗ [2]. Хорошо известно, что избыток или недостаток в организме отдельных химических элементов или их соединений нередко приводит к возникновению патологических состояний [3].

При выборе биологического субстрата для характеристики элементного статуса человека при хронических заболеваниях предпочтение отдается обычно волосам. Элементный состав волос отражает устойчивые тенденции, сформировавшиеся за достаточно большой промежуток времени (недели, месяцы, годы), он не подвержен значительным колебаниям в зависимости от приема пищи и времени суток. Содержание МаЭ и МЭ в волосах позволяет изучить элементный статус организма в целом, и пробы волос являются интегральным показателем минерального обмена. Благодаря работам H.P. Bertram, А.В. Скального и других исследователей [4-6] была сформирована обширная информационная база объективных данных многоэлементного состава волос человека. Это позволило обозначить референтные значения содержания химических элементов в волосах человека и разработать концепцию коррекции элементного дисбаланса. Согласно этой концепции отклонение содержания элементов в волосах за пределы референтных значений (или за пределы интервала 25-75 центилей при использовании центильной шкалы) ассоциируются с клиническими проявлениями специфических для микроэлементозов синдромов и симптомов. Анализ исследуемых образцов волос осуществлялся в лаборатории ЦКП ФХИ Казанского федерального университета на масс-спектрометре с индуктивно-связанной плазмой ELAN модели DRC II (Perkin Elmer, США) [7].

Статистическую обработку проводили с использованием программных пакетов Microsoft Excel XP. При статистической обработке результатов медико-биологических исследований, как правило, используются непараметрические критерии. Это связано с тем, что применение параметрических статистических методов подразумевает принадлежность рабочей выборки одному из известных законов распределения (например, нормальному). Предполагать нормальность распределения результатов медико-биологических наблюдений априори нет оснований. Для достаточно надежного установления нормальности требуется весьма большое число наблюдений. В большинстве медико-биологических исследований в силу

недостаточного количества наблюдений проверить выполнение критериев нормальности распределения затруднено. Непараметрические методы не требуют конкретных предположений о законе распределения.

В работе для количественной оценки неврологических симптомов при клиническом обследовании использовались шкалы, в которых показатель выраженности того или иного симптома оценивается в баллах. Число пациентов, участвующих в каждом отдельном исследовании, составляло 12-37 человек (выборки умеренной численности). Эти обстоятельства являются достаточным основанием для выбора непараметрических методов анализа полученных результатов [8].

Для оценки различий по уровню какого-либо признака между двумя независимыми выборками использовался критерий Манна-Уитни.

На рисунках 1 и 2 приведены примеры изменения содержания некоторых химических элементов в группе обследованных пациентов с ХИМ, иллюстрирующие различия в их распределении относительно границ референтного диапазона.

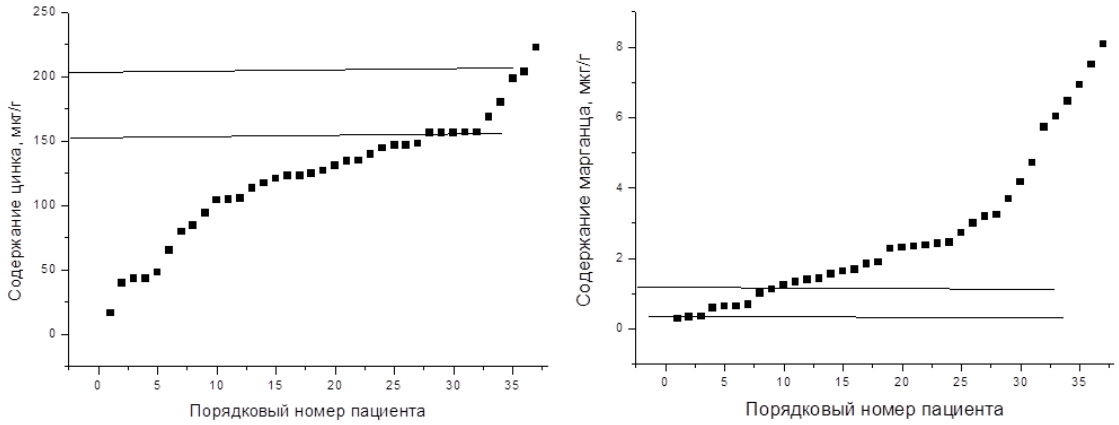



Рис.1 - Содержание цинка и марганца в группе обследованных пациентов с ХИМ относительно границ референтного диапазона

Данные о содержании МаЭ и МЭ в волосах пациентов с ХИМ и в группе контроля в сравнении с референтными показателями (то есть нормальными физиологическими границами для здоровых людей) представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Концентрация химических элементов в волосах пациентов с ХИМ (группа 1), мкг/г

| Хим. элементы | Средние значения в группе пациентов с ХИМ | Средние значения в группе контроля | Референтные показатели |
|---|---|---|---|
| Цинк | 123.00 ± 40.15 | 182.25 ± 25.13 | 155-206 |
| Ванадий | 0.11 ± 0.03 | 0.14 ± 0.05 | 0.005-0.5 |
| Марганец | 2.39 ± 1.52 | 0.67 ± 0.21 | 0.32-1.13 |
| Магний | 144.99 ± 101.04 | 82.26 ± 35.81 | 39-137 |
| Железо | 24.41 ± 7.25 | 20.30 ± 3.33 | 11-24 |
| Медь | 13.42 ± 4.00 | 11.72 ± 2.51 | 9-14 |
| Алюминий | 10.15 ± 4.54 | 9.34 ± 3.45 | 6-18 |
| Калий | 158.86 ± 116.33 | 95.68 ± 18.85 | 29-159 |
| Натрий | 1065.03 ± 577.6 | 211.48 ± 69.14 | 73-331 |
| Кальций | 1523.75 ± 807.02 | 1067.76 ± 208.37 | 494-1619 |
| Литий | 0.03 ± 0.01 | 0.010 ± 0.002 | 0.00-0.02 |
| Никель | 0.66 ± 0.15 | 0.31 ± 0.08 | 0.14-0.53 |
| Хром | 2.01 ± 0.28 | 0.65 ± 0.13 | 0.32-0.96 |
| Серебро | 0.10 ± 0.07 | 0.102 ± 0.010 | 0.005-0.2 |

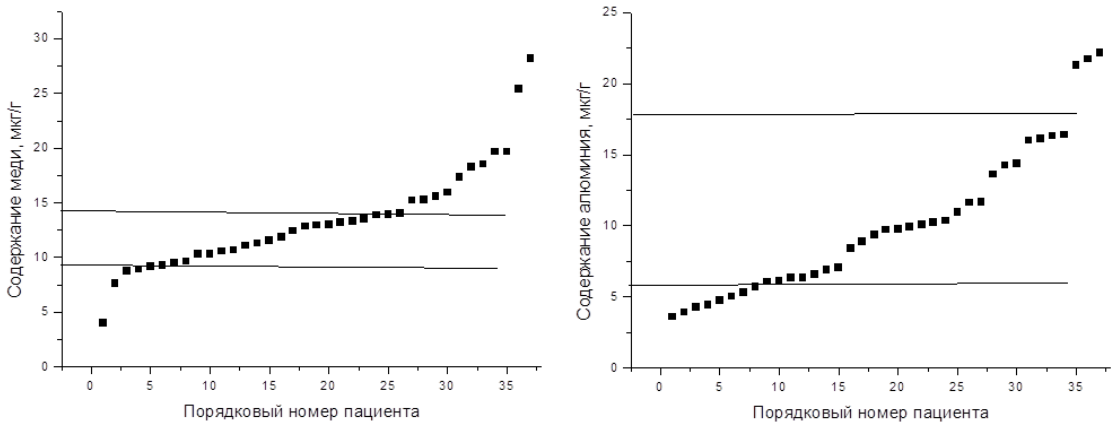



Рис.2 - Содержание меди и алюминия в группе обследованных пациентов с ХИМ относительно границ референтного диапазона.

Анализ элементного состава волос указывает на наличие дисбаланса у пациентов с ХИМ (таблица 1). Средние значения содержания химических элементов для группы контроля укладываются в диапазон референтных значений.

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы. Определен биоэлементный портрет пациентов ХИМ I и II стадии, который имел следующие особенности: достоверное (с уровнем значимости $p \leq 0.05$) превышение нормального уровня для марганца (на 111%), натрия (на 220%), хрома (на 109%), лития (на 50%) и никеля (на 24.5%) и понижение содержание цинка (на 20.6%) в этой группе обследованных лиц.

### *Список литературы*

1. *Живолупов С.А., Самарцев И.Н.* Современный клинический анализ цереброваскулярных заболеваний: узловые вопросы дифференциальной диагностики и патогенетического лечения // Фарматека – 2012. - № 7. - С. 87-94.

2. *Новикова Л.Б., Громова О.А., Курамшина Д.Б.* Роль микроэлементов при ишемическом инсульте // Медицинский вестник Башкортостана. – 2010. - Т. 5. - № 4. - С. 56-160.

3. *Авцын А.П., Жаворонков А.А., Риш М.А., Строчкова Л.С.* Микроэлементозы человека. - М.: Медицина. - 1991. – 496 с.

4. *Скальная М.Г., Демидов В.А., Скальный А.В.* О пределах физиологического (нормального) содержания Ca, Mg, P, Fe, Zn и Cu в волосах человека. // Микроэлементы в медицине. – 2003. – Т. 4; № 2. – С.5-10.

5. *Скальный А.В.* Референтные значения концентрации химических элементов в волосах, полученные методом ИСП-АЭС. // Микроэлементы в медицине. - 2003.-Том 4; №.1. - С.55-56.

6. *Bertran H.P.* Spurenelemente. Analitic, Okotoxikologische und medizinisch-rlinische Bedentung. - Munchen, Wien, Baltimore: Urban und Schwarzenberg, 1992. – 207 p.

7. *Бережная С.В., Якупов Э.З., Захаров Ю.А.* Изменения содержания химических элементов в волосах больных хронической ишемией головного мозга // Земский врач. - 2013. - Т. 19. - №2. - С. 29-33.

8. *Сидоренко Е.В.* Методы математической обработки в психологии - СПб.: ООО «Речь». - 2007. - 347 с.

*05.13.01*

**И.Н. Бояршинова канд. техн. наук, И.Н. Беляев**

Пермский Национальный Исследовательский Политехнический Университет,
факультет прикладной математики и механики,
кафедра вычислительной математики, механики и биомеханики,
Пермь, irina.boyarshinova@gmail.com

# НЕЙЛОРОВСКАЯ СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

*В работе рассматриваются результаты применения разработанной нейлоровской диагностической экспертной системы для выявления общих заболеваний на основе данных клинических исследований увеитов. Описаны особенности нейлоровских экспертных систем. Рассмотрена архитектура разработанной нейлоровской экспертной системы.*

Ключевые слова: *система поддержки принятия решений, теорема Байеса, нейлоровские экспертные системы*.

В настоящее время человечество стремится использовать компьютеры и компьютерные системы во все более сложных видах деятельности человека. Одной из них является работа врача, главная задача которого состоит в принятии диагностических решений. Для применения в таких целях разрабатываются системы поддержки принятия решений, а именно экспертные системы (ЭС) – программные изделия, способные накапливать, обрабатывать и применять на практике экспертные знания в определенной предметной области.

Воспалительная патология глаз является одной из актуальных тем российского здравоохранения, поскольку она часто приводит к ухудшению зрения или даже его потере.

В данной работе рассматриваются разработка и результаты применения нейлоровской диагностической экспертной системы для выявления общих заболеваний на основе данных клинических исследований увеитов. Увеитом называют воспаление сосудистой оболочки, покрывающей внутреннюю часть глазного яблока.

Концепция построения нейлоровских ЭС была разработана К. Нейлором [1]. В ее основе лежит вероятностный подход, заключающийся в использовании формулы Байеса. Формулу Байеса можно интерпретировать простым образом как формулу для нахождения условной вероятности: вероятности возникновения события **A** при условии возникновения события **B.** При этом для удобства используют такие понятия, как «гипотеза» – некое выдвинутое предположение, и «свидетельство» – некоторый признак. Поэтому можно сказать, что формула Байеса (1) позволяет рассчитать вероятность выполнения гипотезы при условии, что выполняется свидетельство [2].

$$P(H/E) = \frac{P(E/H)*P(H)}{P(E/H)*P(H)+P(E/\bar{H})*P(\bar{H})} (1),$$

- где $P(H)$ – априорная вероятность гипотезы;
- $P(E/H)$ – вероятность свидетельства при выполнении гипотезы;
- $P(E/\bar{H})$ – вероятность свидетельства при невыполнении гипотезы;
- $P(\bar{H})$ – вероятность невыполнения гипотезы, равная $1 - P(H)$.

Еще одной важной характерной чертой подобных систем является цепочка рассуждений, определяющая сценарий диалога с пользователем. Хорошо известно, что в продукционных ЭС используются прямой и обратный алгоритмы логического вывода. Но ведение диалога по таким сценариям вызывает две проблемы: неприемлемые временные затраты на процесс экспертизы и нелогичная последовательность задаваемых вопросов. В целях устранения этих значимых недостатков в нейлоровских ЭС используется цепочка рассуждений, условно называемая косвенной. Подход заключается во введении цен свидетельств, отражающих их

важность в контексте каждого задаваемого вопроса пользователю. После каждого ответа на вопрос цены свидетельств пересчитываются, и выбирается тот вопрос, которому соответствует свидетельство с наибольшей ценой [3]. Цена свидетельства рассчитывается по формуле (2):

$$C(E) = \sum_{i=1}^{n} |P(H_i/E) - P(H_i/\bar{E})| \quad (2),$$

- где $P(H_i/E)$ рассчитывается по формуле (1);
- $P(H_i/E) = \frac{(1-P(E/H))*P(H)}{1-(P(E/H)*P(H)+P(E/\bar{H})*P(\bar{H}))}$.

В процессе диалога с пользователем имеет место неопределенность ответов последнего. В нейлоровских ЭС можно учесть этот момент, тем самым сделав процесс экспертизы более гибким, дружественным для пользователя и объективным. Для этого требуется ранжировать шкалу ответов на вопрос, где за начало можно принять величину $P(E/\bar{H})$ (ответ, свидетельствующий против гипотезы), за середину шкалы – вероятность $P(H)$ (нейтральный ответ не свидетельствует «против» или «в пользу» гипотезы, поэтому не предполагает изменения исходной априорной вероятности), а за конец шкалы – величину $P(H/E)$, которой соответствует ответ, свидетельствующий в пользу гипотезы. Вероятности, соответствующие промежуточным значениям шкалы, можно восстановить с помощью линейной интерполяции [3].

Из вышесказанного можно сделать вывод, что работа таких систем представляет собой итеративный процесс. На рисунке 1 приведена блок-схема, изображающая общий алгоритм работы механизма логического вывода (МЛВ) нейлоровских ЭС.

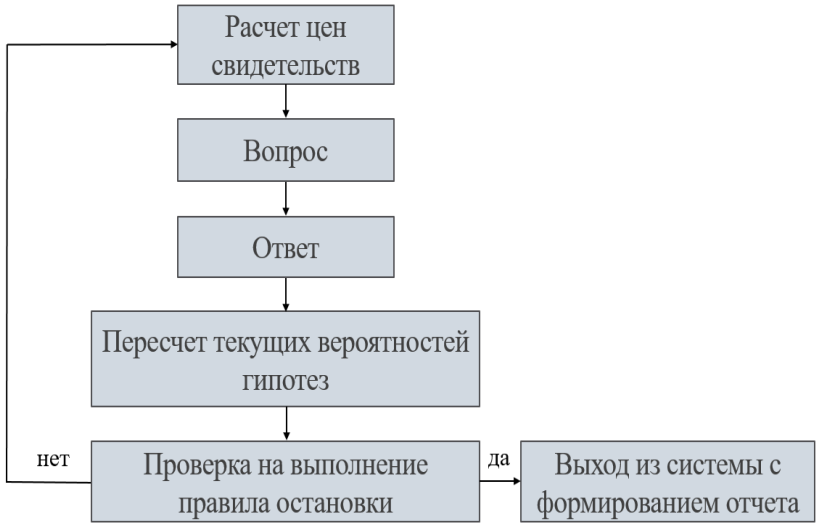



Рис. 1 – Общий алгоритм работы МЛВ нейлоровских ЭС

Последним усложнением для экспертных систем такого типа является использование порогов для вероятностей гипотез. Для этого вводятся следующие характеристики:

- *P(H)* – априорная вероятность;
- *PMAX(H)* – максимальная достижимая вероятность;
- *M2(H)* – нижний порог;
- *M1(H)* – верхний порог;
- *Pmax(H)* – текущая максимальная достижимая вероятность;
- *Pmin(H)* – текущая минимальная достижимая вероятность.

Основываясь на значениях параметров гипотез, приведенных выше, можно использовать правила остановки после обработки ответа пользователя. Подробное рассмотрение правил остановки приведено в [3].

На рисунке 2 приведена архитектура разработанной авторами нейлоровской ЭС. Архитектура в целом соответствует объектно-ориентированной структуре классов, разрабатываемой ЭС.

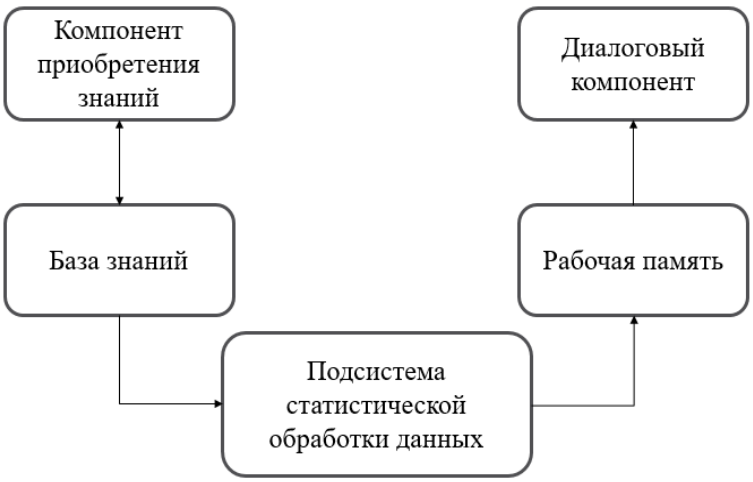



Рис. 2 – Архитектура разработанной экспертной системы

Кратко рассмотрим компоненты архитектуры:

- компонент приобретения знаний позволяет удобным способом расширять знания системы;
- база знаний содержит в себе экспертные знания предметной области;
- подсистема статистической обработки данных выполняет математические расчеты;
- рабочая память хранит текущее состояние системы (выведенные факты и т.д.);
- диалоговый компонент обеспечивает общение системы с пользователем.

Хранение экспертных знаний реализовано с помощью использования базы данных, разработанной на базе системы управления базами данных *MySQL*. В качестве сущностей были выделены гипотезы, свидетельства и вопросы. Вопрос объединяет в себе несколько свидетельств, благодаря чему пользователь сможет одновременно ответить на несколько вопросов. Кроме утвердительных ответов пользователя система автоматически обработает остальные ответы по формуле (3). Такая автоматическая обработка ответов в отдельных случаях поможет существенно ускорить время, затрачиваемое на экспертизу.

$$P(H/\bar{E}) = \frac{(1 - P(E/H)) * P(H)}{1 - \left(P(E/H) * P(H) + P(E/\bar{H}) * P(\bar{H})\right)} \quad (3)$$

В базу знаний системы были заложены данные клинических исследований 100 пациентов, с несколькими диагнозами: болезнь Бехтерева, ревматоидный артрит, туберкулез, вирусное заболевание, фокальная инфекция, сифилис. Среди них были пациенты с не выявленной этиологией.

Тестирование разработанной системы, проведенное на 5 пациентах, не входящих в статистическую выборку, показало адекватность её выводов диагнозам, поставленным врачом-экспертом.

***Список литературы***

1. *Нейлор, К.* Как построить свою экспертную систему [Текст] / *К. Нейлор.* – Москва: Энергоатомиздат, 1991. – 286 с.

2. Теорема Байеса [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Теорема_Байеса, свободный.

3. *Черноруцкий, И.Г.* Методы принятия решений [Текст]/ *И.Г. Черноруцкий* – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 416 с.

*05.13.01*

**А.П. Буйносов д-р техн. наук, Д.Л. Худояров канд. техн. наук, И.А. Тюшев**

Уральский государственный университет путей сообщения,
кафедра «Электрическая тяга»,
Екатеринбург, byinosov@mail.ru, khudojarovd@mail.ru, boyka95box59@mail.ru

# СОПРОТИВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЮ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СОСТОЯНИЯХ ПОВЕРХНОСТЕЙ РЕЛЬСОВ

*В статье приводится результаты испытания по определению сопротивления движению локомотива и вагонов по железнодорожным рельсам с различным состоянием их поверхностей. Получены зависимости удельного сопротивления движения подвижного состава в зависимости от скорости.*

Ключевые слова: *подвижной состав, рельс, поверхность, состояние, различие, движение, сопротивление.*

Учеными УрГУПС в 2018 г. были закончены испытания по определению сопротивления движению локомотива и вагонов по железнодорожным рельсам с различными вариантами состоянием их наружных поверхностей: 1) без покрытия; 2) при нанесенном на боковую поверхность головки наружного рельса покрытия содержащего триботехнический состав (ТС) НИОД [1]; 3) при нанесенном на боковую грань головки наружного рельса и верхнюю поверхность внутреннего рельса покрытия из НИОД.

Испытания по определению уменьшения сопротивления движению от использования покрытия на рельсы проводились как сравнительные, т. е. одни и те же опыты выполнялись на рельсах без нанесения НИОД и с нанесенным ТС. Используя трибометр выполнялись измерения коэффициента трения на наружных поверхностях рельсов. Коэффициенты трения на рельсах без покрытия составил 0,32–0,33, а после нанесения НИОД на верхнюю поверхность внутреннего и боковую грань наружного рельса – 0,06–0,08. Испытания выполнялись в 2018 г. на участке Демьянка–Сургут на полигоне Свердловской ж.д. в круговых кривых радиусами ($R$) 305, 620 и 1000 м, а так же на прямолинейном участке пути. Для испытаний по методике [2] были выбраны: одна секция тепловоза 2ТЭ116 № 1224, порожний четырехосный полувагон и динамометрический вагон (с установленной измерительной аппаратуры) в диапазоне скоростей от 0 до 90 км/ч с градацией 10 км/ч.

Расчетное уравнение для определения удельного сопротивления в кривой можно записать [3]:

– для тепловозов

$$\omega_x + \omega_r = \frac{1000(1+\gamma)}{g} \cdot \frac{dv_{вк}}{dt} - i; \quad (1)$$

– для вагонов

$$\omega_0'' + \omega_r = \frac{1000(1+\gamma)}{g} \cdot \frac{dv_{вк}}{dt} - i, \quad (2)$$

где $dv_{нак}/dt$ – ускорение, м/с$^2$; $i$ – уклон, ‰; $\gamma$ – безразмерный коэффициент, учитывающий влияние инерции вращающихся масс, который определяется из опытных данных различных поездок по «накатыванию» и «скатыванию» в прямолинейном участке пути; $g$ – ускорение свободного падения; $\omega_x$ и $\omega''_0$ – основные удельные сопротивления для тепловоза и вагона, которые определяются на холостом ходу методом «накатывание–скатывание» [4].

В результате испытаний определялись зависимости $v=f(t)_{нак}$ и $v=f(t)_{ск}$, по которым подсчитывались $dv_{нак}/dt$ и $dv_{ск}/dt$ и строились зависимости ускорений при накатывании и скатывании от скорости движения $dv_{нак}/dt=f(v)$ и $dv_{ск}/dt=f(v)$. После определения $\omega_x=f(v)$ определялось удельное сопротивление и $(\omega_x+\omega_r)= f(v)$ в криволинейных участках пути.

Зависимость дополнительного сопротивления от кривой $\omega_r = f(v)$ полувагона определялась в два этапа. Сначала, используя метод «накатывание–скатывание», определялись зависимости сопротивления движения от скорости одного динамометрического вагона: в прямой с некоторым $i$ $\omega''_{0_дин}=f(v)$ и в кривых – $(\omega''_0+\omega_r)_{дин}=f(v)$. В этом случае дополнительное сопротивление движению от кривой $\omega_{r_дин}=f(v)$ одного динамометрического вагона можно определить как разность удельных сопротивлений при равных скоростях $(\omega''_0+\omega_r)_{дин}-\omega''_{0_дин}=\omega_{r_дин}$. Затем определялись зависимости сопротивления движения от скорости сплотка из двух вагонов – полувагона и динамометрического вагона также на прямом участке с некоторым $i$, после – в кривых [5]. В первом случае получили зависимость $\omega''_{0_общ}=(\omega''_{0_гр}+\omega''_{0_дин})=f(v)$, во втором – $\omega''_{0_общ}+\omega_{r_общ}=f(v)$. Зная сопротивление сплотка (общее) и отдельно динамометрического вагона, сопротивление одного полувагона (на прямолинейном и криволинейном участках пути) определяем по соотношению долей массы одного из вагонов в общей массе. При массе порожнего полувагона 20 т и динамометрического вагона 50 т на прямолинейном участке пути получаем зависимость:

$$\omega''_{0_общ} = \omega''_{0_гр} + \omega''_{0_дин} = \frac{20}{70}\omega''_{0_гр} + \frac{50}{70}\omega''_{0_дин}, \quad (3)$$

из которой определяем $\omega''_{0_гр}=f(v)$ на прямолинейном участке.

Аналогично в криволинейных участках пути:

$$\omega''_{0_общ} + \omega_{r_общ} = \frac{20}{70}\left(\omega''_0 + \omega_r\right)_{гр} + \frac{50}{70}\left(\omega''_0 + \omega_r\right)_{дин}, \quad (4)$$

из которой определяем $(\omega''_0+\omega_r)_{гр}=f(v)$.

Сопротивление движению $\omega_x=f(v)$ определялось на прямолинейном участке пути при $i$=10,83 ‰. На рис. 1 приведена зависимость (*1*) основного сопротивления движению тепловоза, рассчитанная по ПТР. На рис. 1 так же приведены полученные опытные зависимости основного удельного сопротивления движению тепловоза ТЭ116-1224Б в зависимости от скорости движения по рельсам без покрытия (*2*) и с покрытием из ТС НИОД (*3*). Нанесение НИОД на обе боковые грани рельсов снижает основное удельное сопротивление движению тепловоза 2ТЭ116-1224Б на холостом ходу на прямом участке пути в среднем на 7,2 %.

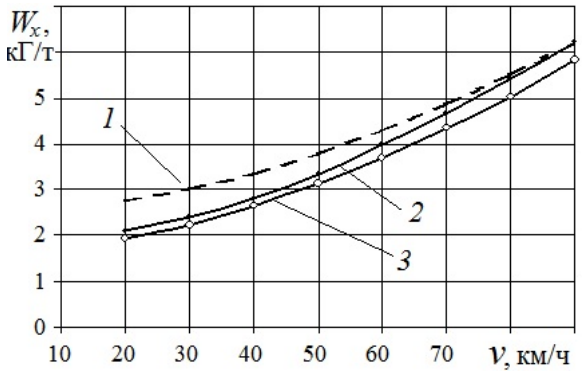



Рис. 1. Основное удельное сопротивление движению $W_x$ тепловоза в зависимости от скорости движения

Основное удельное сопротивление движению сплотка $\omega''_{0_общ}$ изменялось в пределах от 1,29 до 5,31 кГ/т в диапазоне скоростей 20–70 км/ч, в этом же диапазоне скоростей основное удельное сопротивление динамометрического вагона $\omega''_{0_дин}$ изменяется от 1,01 до 5,19 кГ/т. Основное сопротивление движения полувагона и динамометрического вагона от нанесения покрытия, содержащего НИОД не уменьшилось, что можно объяснить отсутствием «шальной» тележки []. Для тепловоза 2ТЭ116 в криволинейном участке пути радиусом $R$=1000 м общее сопротивление движению снизилось в среднем на 7,5 % при наличии на внутренних боковых граней обеих головок рельсов НИОД. В кривой $R$=305 м это снижение при состоянии рельсов по 2-му варианту составило в среднем 28 %, а после обработки одновременно двух поверхностей ТС НИОД – 34,5 % (рис. 2); в криволинейном участке пути

радиусом $R$=620 м снижение общего сопротивления движению составило соответственно для состояния рельсов по 2-му и 3-ему вариантам – 12,35 и 22,6 %, соответственно (рис. 3).

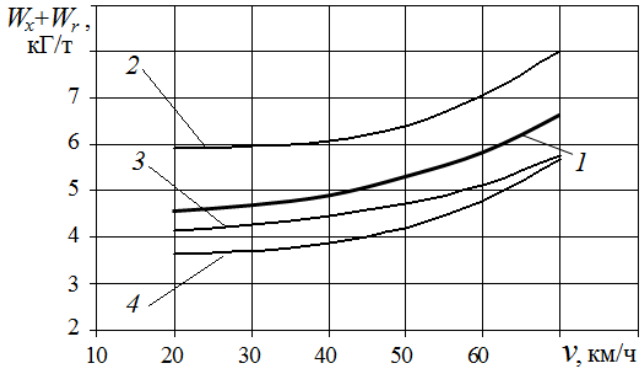



Рис. 2. Удельное сопротивление движения в кривой $R$=305 м тепловоза в зависимости от скорости движения: *1* – рассчитанная по ПТР; *2* – на рельсах без покрытия; *3* – после обработки боковой грани наружного рельса; *4* – после обработки верхней поверхностей внутреннего и боковой наружного рельса

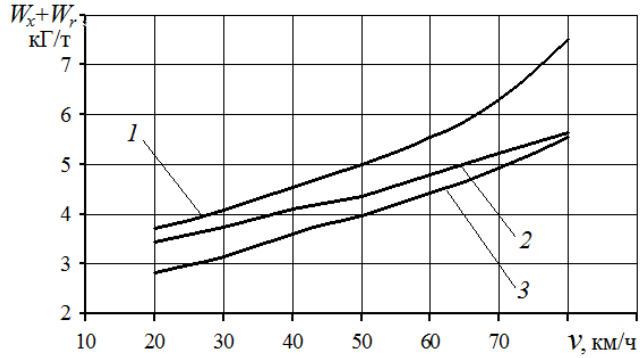



Рис. 3. Удельное сопротивление движению в кривой радиусом $R$=620 м тепловоза в зависимости от скорости движения: *1* – на рельсах без покрытия; *2* – после обработки боковой грани наружного рельса; *3* – после обработки верхней поверхностей внутреннего и боковой наружного рельса

Для динамометрического вагона снижение общего сопротивления движения после одновременной обработки НИОД боковой грани наружного рельса и верхней поверхности внутреннего рельса (3-ий вариант состояния) составило в кривой $R$=305 м в среднем 7,3 %, в кривой радиусом $R$=620 м – 7,6 %. Для незагруженного полувагона снижение общего сопротивления движению после одновременной обработки НИОД боковой грани наружного рельса и верхней поверхности внутреннего рельса (3-ий вариант состояния) составило в кривой $R$=305 м – 5,7 %, в кривой $R$=620 м – 5,6 %.

Испытания показали, что при нанесении ТС НИОД одновременно на боковую грань наружного рельса и на верхнюю поверхность внутреннего рельса для экипажей с трехосными тележками общее снижение основного и дополнительного сопротивления составляет от 22,6 % в криволинейном участке пути $R$=620 м, а в криволинейном участке $R$=305 м – до 34,5 %. Для экипажей с двухосными тележками общее снижение основного и дополнительного сопротивления в круговых кривых для груженых вагонов составляет около 7,5 %, для порожних вагонов – 5,7 %.

Результаты определения сопротивления движению тепловоза в криволинейном участке пути $R$=300 м экспериментальным путем и используя расчеты по ПТР практически полностью совпадают. Так, для рельсов без покрытия при $v$=60 км/ч сопротивление движению составляет 6,5 кГ/т по расчету ПТР – 7 кГ/т.

***Список литературы***

1. *Буйносов А.П., Стаценко К.А., Тихонов В.А.* Влияние применения триботехнического состава НИОД на ресурс колесных пар электроподвижного состава // Вестник транспорта Поволжья. 2011. № 1(25). С. 30а-35.

2. *Буйносов А.П.* Основные причины интенсивного износа бандажей колесных пар подвижного состава и методы их устранения : монография. – Уральский гос. ун-т путей сообщ.. Екатеринбург, 2009. 224 с.

3. *Буйносов А.П.* Алгоритм построения уравнений трансляционной динамики движения колесной пары в рельсовой колее // Научно-технический вестник Поволжья. 2016. № 3. С. 87-90.

4. *Буйносов А.П., Худояров Д.Л., Балдин В.Л.* Математическая модель повышения ресурса бандажей колесных пар электровозов // Ремонт, восстановление, модернизация. 2011. № 4. С. 43-48.

5. *Буйносов А.П., Марулин С.Л., Яковлев К.Н., Хваловский А.В.* Алгоритм построения уравнений вращательной динамики колесной пары подвижного состава в рельсовой колее // Научно-технический вестник Поволжья. 2019. № 6. С. 92-94.

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ (05.13.06)

*05.13.06*

**[1]Я.Е. Агапитов, [2]Л.М. Каримова канд. хим. наук, [1]Т.А. Хажимухаметов, [3]Е.Ю. Мешков, [3]Н.А. Бобыренко канд. хим. наук**

[1]ТОО «Корпорация Казахмыс»,
[2]ТОО «КазГидроМедь» НИЦИТ,
Караганда,
[3]АО «ВНИПИпромтехнологии»,
Москва, onlywow@mail.ru

# РАЗРАБОТКА СХЕМЫ ГИДРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ВЫСОКОСЕРНИСТЫХ МЕДНЫХ СУЛЬФИДНЫХ КОНЦЕНТРАТОВ

*В результате проведенных исследований разработана принципиальная схема азотнокислотного выщелачивания высокосернистых концентратов КОФ при атмосферном давлении, осуществляемого в режиме двухстадиального ступенчатого противотока с использованием на стадии выщелачивания продуктов абсорбции окислов азота в виде нитрозилсерной кислоты, нитрит-нитратных щелоков, оборотных растворов. Использование данного способа выщелачивания сульфидного концентрата меди позволяет сократить расход азотной кислоты с 4,5 до 0,5 г/г концентрата при сохранении степени извлечения меди, цинка, железа, мышьяка на уровне 99,5-99,8%. Остаточная кислотность продуктивного раствора при этом снижается с 4,5÷5 до 0,2-0,3 г·экв/дм$^3$ а ОВП с ≥850 до ≈ 600 мВ. Продуктивный раствор был использован для получения товарной продукции: катодная медь, высокочистый железный концентрат и катодный цинк, была разработана принципиальная схема переработки продуктивного раствора.*

Ключевые слова: *выщелачивание, высокосернистый медный концентрат, окислы азота, азотная кислота, нитрозные газы, сорбция.*

Одним из направлений технологии гидрометаллургической переработки сульфидного рудного сырья, содержащего цветные, редкие и благородные металлы является использование на стадии атмосферного выщелачивания в качестве окислителя азотной кислоты. Азотнокислотный способ позволяет эффективно переводить в раствор ценные компоненты, содержащиеся в сульфидном сырье, такие как медь, железо, цинк[1].

Перспективность использования в качестве выщелачивающего реагента азотной кислоты определяется следующими факторами: энергетическая эффективность протекающих химических реакций; высокий окислительный потенциал системы; возможность утилизации отходящих нитрозных газов с регенерацией азотной кислоты [2].

Оценка параметров атмосферного азотнокислотного выщелачивания высокосульфидных медных концентратов, содержащих золото, серебро, мышьяк, медь, цинк проводилась на примере концентрата Карагайлинской обогатительной фабрики (КОФ), Республики Казахстан.

Основной минералогический состав концентрата КОФ, представлен сульфидными минералами железа, меди, цинка. Исследование состава концентрата КОФ, показало, что в нем содержатся ZnS, (26,9%); $FeS_2$, (22%); $CuFeS_2$, (19,9%); $SiO_2$, (13,9%); PbS, (1,73%); окисленные формы железа типа $Fe_2O_3$ (12%).

В таблице 1 приведен химический состав концентрата Карагайлинской обогатительной фабрики.

Таблица 1- Химический состав концентрата КОФ, %

| Cu | Ag, г/т | Au, г/т | Fe | Ca | Zn | Pb | S | As | Si | Al |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5,96 | 136,50 | 2,46 | 26,25 | 0,45 | 14,04 | 1,37 | 27,0 | 0,46 | 4,13 | 0,98 |

Ранее проведенные исследования [3, 4] атмосферного выщелачивания высокосульфидного концентрата КОФ с использованием в качестве окислителя азотной кислоты позволили определить оптимальные условия проведения процесса: $C(HNO_3)$ = 635-650 г/дм$^3$ (расход $HNO_3$ ≈4,5 г/г концентрата); время выщелачивания - τ = 2-3 часа; температура – Т = 80-90ºС; Ж:Т = 7:1; ОВП = 870-880 мВ.

Степень извлечения меди, железа, цинка и мышьяка при проведении выщелачивания в указанных выше условиях составила E(Cu)=99,85%, E(Fe) = 98,88%, E(Zn) =99,96%, E(As) = 97,91%.

Необходимо отметить высокий расход азотной кислоты, составляющий до 4,5 г/г исходного концентрата КОФ. Кроме того, образующиеся растворы выщелачивания обладают высокими значениями ОВП и остаточной кислотности – $C(H^+)$ = 4,5÷5 г·экв/дм$^3$.

Для снижения расхода азотной кислоты на стадии выщелачивания было предложено использование продуктов абсорбции нитрозных газов, полученных при проведении укрупненных испытаний азотнокислотного выщелачивания высокосернистых концентратов при атмосферном давлении – растворы нитрозилсерной кислоты, нитритно-нитратных щелоков, оборотного раствора (разбавленный раствор азотной кислоты, образующийся при абсорбции окислов азота технической водой). Выщелачивание медного концентрата проводили в 2 стадии [3, 4].

1 стадия – мягкое выщелачивание – исходный концентрат контактирует с раствором выщелачивания со второй стадии; продуктивный раствор направляется на дальнейшую переработку;

2 стадия – жесткое выщелачивание – кек с первой стадии контактирует выщелачивающими агентами (нитритно-нитратный щелок, нитрозилсерная кислота, оборотный раствор, азотная кислота); кек выщелачивания отправляется на дальнейшую переработку либо утилизируется. Раствор направляется на первую стадию выщелачивания. На рисунке 1 приведена принципиальная схема двухстадиального противоточного выщелачивания концентрата КОФ.

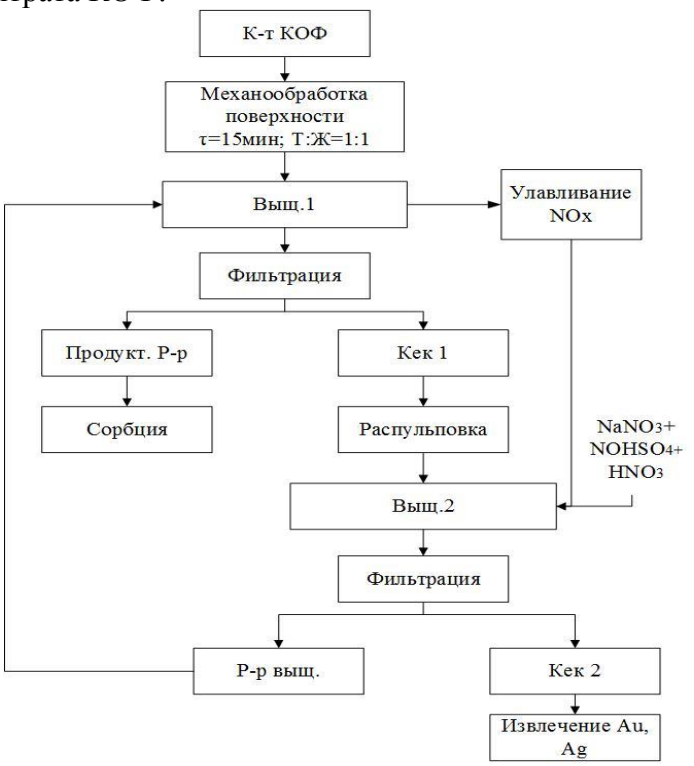



Рис.1- Двухстадиальная схема противоточного выщелачивания концентрата КОФ

Для проведения исследований по двухстадиальному выщелачиванию предварительно был наработан раствор выщелачивания, состав которого приведен в таблице 2. Данный раствор (проба $ПР_{уср}$) получен при выщелачивании концентрата КОФ концентрированной азотной кислотой без добавления продуктов улавливания окислов азота.

Таблица 2– Усредненный состав раствора выщелачивания, г/дм$^3$

| Cu | $Fe^{3+}$ | Al | Zn | Pb | As | Au, мг/дм$^3$ | Ag, мг/дм$^3$ | $H^+$, г·экв/дм$^3$ | ОВП, мВ | $NO_2^-$ | $NO_3^-$ | $Cl^-$ | $SO_4^{2-}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 8,6 | 35,1 | 0,45 | 17,48 | 0,40 | 0,44 | 0,067 | <1 | 4,8 | 819 | 0,85 | 335,2 | 2,19 | 138,5 |

Исследования 1-ой стадии выщелачивания медного концентрата показали, что при подборе оптимальных условий выщелачивания удается получить растворы с остаточной кислотностью 0,2-0,3 г·экв/дм$^3$ при этом степень извлечения меди составляет 70-80%. Химический состав продуктивного раствора представлен в таблице 3. Кек после 1-ой стадии выщелачивания направлялся на стадию жесткого выщелачивания для доизвлечения ценных компонентов. Расход азотной кислоты на жесткой стадии выщелачивания составил 0,5 г/г концентрата.

Таблица 3 – Усредненный состав продуктивного раствора, г/дм$^3$

| Cu | $Fe^{3+}$ | Al | Zn | Pb | As | Au, мг/дм$^3$ | Ag, мг/дм$^3$ | $H^+$, г·экв / дм$^3$ | ОВП, мВ | $NO_2^-$ | $NO_3^-$ | $Cl^-$ | $SO_4^{2-}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 10,13 | 41,3 | 0,53 | 20,56 | 0,48 | 0,48 | 0,079 | <1 | 0,2 | 607 | 1,09 | 7,85 | 1,39 | 138,5 |

Таким образом, азотнокислотное выщелачивания высокосернистых концентратов КОФ при атмосферном давлении, осуществляемое в режиме двухстадиального ступенчатого противотока с использованием на стадии выщелачивания продуктов абсорбции азота в виде нитрозилсерной кислоты, нитрит-нитратных щелоков, оборотных растворов позволяет сократить расход азотной кислоты с 4,5 до 0,5 г/г концентрата при сохранении степени извлечения меди, цинка, железа, мышьяка на уровне 99,5-99,8%. Остаточная кислотность продуктивного раствора при этом, снижается с 4,5÷5 до 0,2-0,3 г·экв/дм$^3$ а ОВП с ≥850 до ≈ 600 мВ.

Продуктивный раствор (таблица 3) направляли на получение товарной продукции: катодная медь, высокочистый железный концентрат, катодный цинк. На рисунке 2 представлена принципиальная схема переработки продуктивного раствора.

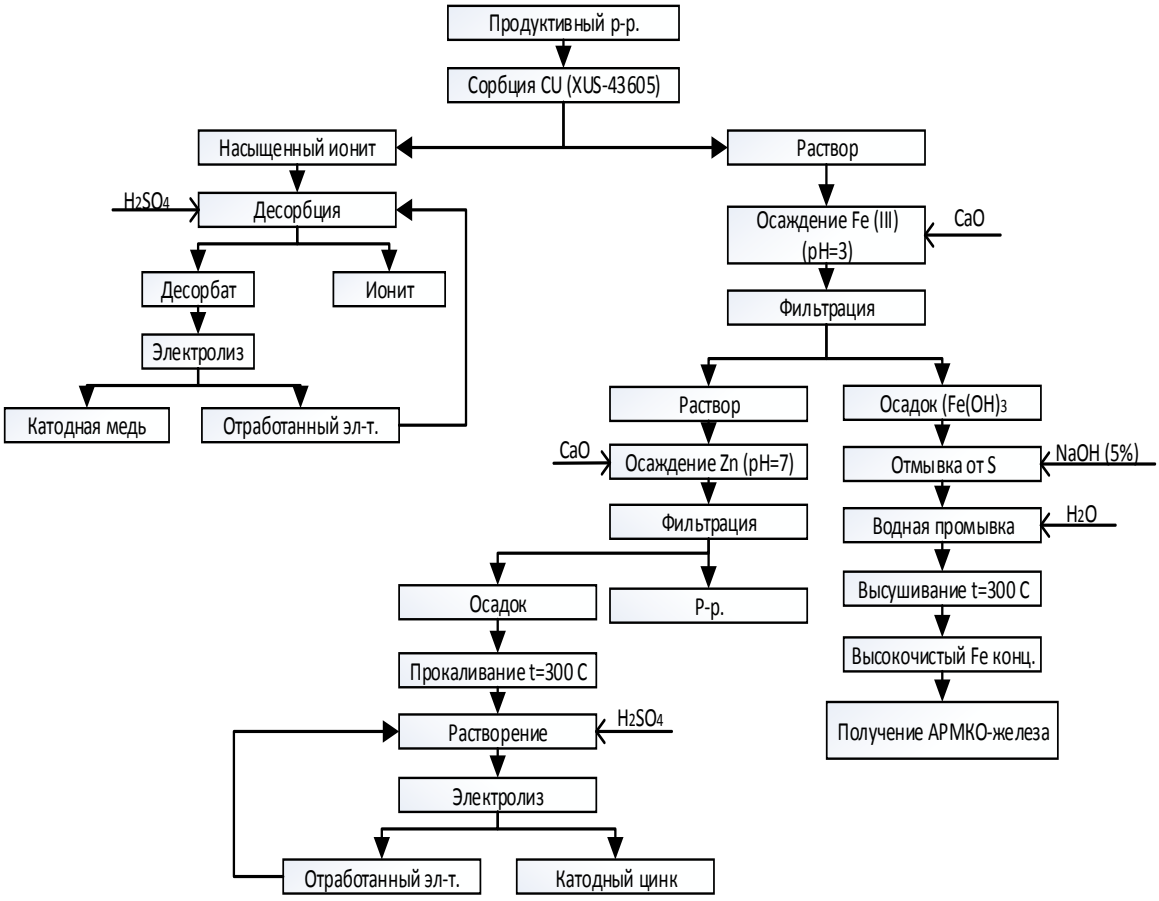



Рис. 2- Принципиальная схема переработки продуктивного раствора

1) Получение катодной меди марки М00К

Для извлечения меди из продуктивного раствора, состав которого приведен в таблице 3, использовали ионообменную смолу DOW XUS-43605 с N- (2-гидроксипропил) пиколиламиновой (HPPA) функциональной группой [5]. Сорбцию проводили в динамических условиях, в колонне с неподвижным слоем. После насыщения ионита провели десорбцию меди 20 % раствором серной кислоты. При достижении концентрации меди в десорбате 50 г/дм$^3$, раствор доукрепили концентрированной серной кислотой и направили на электролиз. Содержание меди в катодном металле составило 99,99 %, что отвечает требованиям, предъявляемым к катодной меди марки М00К. Содержание основных компонентов в растворе после сорбции меди приведено в таблице 5.

Таблица 5- Состав раствора после сорбции меди, г/дм$^3$

| Cu | $Fe^{3+}$ | Al | Zn | Pb |
|---|---|---|---|---|
| 0,003 | 41,3 | 0,40 | 20,56 | 0,48 |

2) Получение высокочистого железного концентрата

В раствор после сорбции меди при постоянном перемешивании дозировали содудо достижения значения pH=3, при таком значении pH образуется осадок гидроксида железа (III), а цинк остается в растворе. По истечении 1 часа осадок отделили на нутч-фильтре, промыли водой от маточного раствора и прокалили при t=350 ºС. Химический состав осадка и фильтрата приведен в таблицах 6 и 7 соответственно.

Таблица 6 - Состав железосодержащего осадка, %

| Cu | Fe | S | Zn |
|---|---|---|---|
| 0,06 | 57,6 | 6.07 | 0.07 |

Таблица 7- Состав фильтрата, г/дм$^3$

| Cu | $Fe^{3+}$ | Al | Zn | Pb |
|---|---|---|---|---|
| 0,001 | 0,003 | 0,16 | 17,56 | 0,002 |

Для удаления серы железосодержащий осадок промыли в 5 % р-ре NaOH. Химический состав железного концентрата после промывки и высушивания при t=300 ºС приведен в таблице 8.

Таблица 8 - Состав железного концентрата, %

| Материал | Fe | Cu | S | Zn |
|---|---|---|---|---|
| Исходный концентрат | 57,6 | 0,06 | 6.07 | 0.09 |
| Отмытый концентрат | 68,9 | 0,06 | 0,04 | 0,07 |

Железный концентрат после щелочной промывки, по своему составу соответствует высокочистому и является пригодным для выплавки высококачественных ферросплавов таких как, АРМКО-железо.

3) Получение катодного цинка

В цинксодержащий фильтрат (таблица 7), полученный на стадии осаждения железа (III), дозировали $Na_2CO_3$ до значения pH=7, при котором образуется осадок карбоната цинка. Далее осадок отделили на нутч-фильтре. После промывки и прокаливания при *t*=300º С содержание цинка, железа и меди в осадке составило 63,4 % 0,3 % и 0,03 % соответственно. Для получения цинкового электролита карбонат цинка растворили в растворе $H_2SO_4$ при pH=4-6. Состав цинкового электролита представлен в таблице 9.

Таблица 9 - Состав цинкового электролита, г/дм$^3$

| Cu | Fe | Al | Zn | Pb | Cd, мг/ дм$^3$ | Mn | $Cl^-$, мг/ дм$^3$ | Sb, м г/ дм$^3$ | $H_2SO_4$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0,002 | 0,001 | 0,006 | 40 | 0.001 | 0,8 | 0,9 | 300 | 0,03 | 120 |

Далее цинковый электролит направили на электролиз, для получения катодного цинка. Содержание цинка в катодном металле составило 99,975 %, что отвечает требованиям, предъявляемым к цинку марки Ц0.

### *Выводы*

В результате проведенных исследований разработана и опробована принципиальная схема азотнокислотного выщелачивания высокосернистых концентратов КОФ при атмосферном давлении, осуществляемое в режиме двухстадиального ступенчатого противотока с использованием на стадии выщелачивания продуктов абсорбции азота в виде нитрозилсерной кислоты, нитрит-нитратных щелоков, оборотных растворов. Показано, что использование данного способа выщелачивания сульфидного концентрата меди позволяет сократить расход азотной кислоты с 4,5 до 0,5 г/г концентрата при сохранении степени извлечения меди, цинка, железа, мышьяка на уровне 99,5-99,8%. Остаточная кислотность продуктивного раствора при этом снижается с 4,5÷5 до 0,2-0,3 г·экв/дм$^3$, а ОВП с ≥850 до ≈ 600 мВ, что в свою очередь, позволяет уменьшить расход CaO на стадии осаждения гидроксида железа (III). Для получения товарной продукции (катодная медь, высокочистый железный концентрат и катодный цинк) разработана принципиальная схема переработки продуктивного раствора.

### *Список литературы*

1. *Набойченко С.С., Смирнов В.И.* Гидрометаллургия меди. Москва, Изд.: Металлургия, 1974. - 272 с.

2. *Рогожников Д.А., Карелов С.В., Мамяченков С.В., Анисимова О.С.* Способы утилизации отходящих нитрозных газов // Современные проблемы науки и образования. – 2011. – № 6.

3. *Мешков Е.Ю., Бобыренко Н.А. и др.* Улавливание окислов азота при атмосферном азотнокислотном выщелачивании черновых сульфидных медных концентратов. // VIII научно-практическая конференция молодых ученых и специалистов атомной отрасли: «Повышение доли на международных рынках в условиях цифровой трансформации отрасли» (29 мая-1июня, г. Санкт-Петербург): Сборник тезисов. – СПб.: Медиапапир, 2019. С.68-70.

4. *Соловьев А.А., Мешков Е.Ю. и др.* Укрупненные испытания технологической схемы регенерации азотной кислоты при гидрометаллургической переработке черновых медных концентратов. // Материалы научно-практической конференции «Интенсификация гидрометаллургических процессов переработки природного и техногенного сырья. Технологии и оборудование», Санкт-Петербург.: СПбГТИ, 2018 – С. 51-52.

5. Патент 2465355 РФ. Способ выделения меди и/или никеля из растворов содержащих кобальт. // Марстон Ч.Р., Роджерс М.Л. 2011.05.25

*05.13.06*

**А.В. Волков, С.А. Шиков, О.О. Темаева**

Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарѐва,
Институт электроники и светотехники,
кафедра электроники и наноэлектроники,
Саранск, elsoldador@rambler.ru

# ПРИМЕНЕНИЕ КРИТЕРИЯ УИЛКОКСОНА ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ ОСВЕЩЕНИЕМ В ТЕПЛИЦАХ

*Критерий Уилкоксона был использован для оценки двух не зависимых измерений зависящих от процессов, происходящих в теплице на основе дифференциальных уравнений. В работе также использовали алгоритм оценки сходимости временных рядов по определённому количественному признаку. Затем данный метод протестировали на предприятии АО «Тепличное» для оценки влияния параметров освещённости, а также функционирования фотосинтезирующего хлорофиллового аппарата зелёных растений. Полученные результаты моделирования совпадают с результатами эксперимента.*

Ключевые слова: *фотосинтез, математическая модель, экспериментальное исследование.*

При проектировании автоматизированной системы контроля облучательных установок встает вопрос об оптимизации ее работы с целью повышения эффективности данной системы. Одним из возможных способов усовершенствования режимов облучения для выращивания растений в условиях защищённого грунта представляется применение критерия Уилкоксона. Данный подход поможет значительно увеличить эффективность применения энергоресурсов и повысить урожайность выращиваемых культур. В работах [1,2] рассматривались процессы фотосинтеза на основе системы кинетических дифференциальных уравнений, описывающих структуру и функционирование фотосинтезирующего хлорофиллового аппарата зеленых растений. Основной задачей данных уравнений является нахождение оптимального распределения лучистой энергии во времени с целью получения максимального интегрального фотосинтеза и создание на основе полученных результатов автоматизированной системы контроля облучательными установками. Однако использование подхода, основанного на решении только дифференциальных уравнений, не позволяет в полной мере решить задачу автоматического управления. Данная особенность обусловлена значительным превосходством количества переменных, используемых в системе уравнений, над количеством экспериментальных данных.

Как уже отмечалось, алгоритм управления параметрами освещения основывается на анализе параметров временных рядов, генерируемых системой контроля, и заключается в сглаживании временного ряда, построении моделей временного ряда, определении параметров этих моделей, установление допусков (доверительных интервалов) для определяемых параметров моделей. Долговременный контроль производится по историческим трендам, полученным со станции архивирования [3,4]. Для реализации алгоритма поиска процессов, происходящих в теплице, определим начальное значение вектора данных полученных из архива измеренных параметров освещенности и концентрацию углекислого газа.

Зададим начальные значения вектора оценок параметров модели и вектора данных:

$$\hat{\theta}(0) = 0; \mathbf{P}(0) = \alpha \mathbf{I}; \quad (1)$$

Затем производится измерение выходного сигналов объекта, и формируется исходный вектор данных $\Psi(k)$.

Далее вычисляется текущее значение входного сигнала:

$$\hat{v}(k) = y(k) - \mathbf{\Psi}^{\mathbf{T}}(k)\boldsymbol{\theta}(k-1); \quad (2)$$

После того как формируется новый вектор данных

$$\mathbf{\Psi}^{T}(k+1) = [-y(k),\ldots - y(k-n),\hat{v}(k),\ldots\hat{v}(k-m)]; \quad (3)$$

вычисляется вектор коррекции (4).

$$\gamma(k) = \frac{\mathbf{P}(k)\Psi(k+1)}{\Psi^{T}(k+1)\mathbf{P}(k)\Psi(k+1)+1}; \quad (4)$$

Находится новая оценка параметров модели, описанных в статье [1].

$$\hat{\theta}(k+1) = \hat{\theta}(k) + \gamma(k)[y(k+1) - \Psi^{T}(k+1)\hat{\theta}(k)]; \quad (5)$$

После чего вычисляется новый вектор данных.

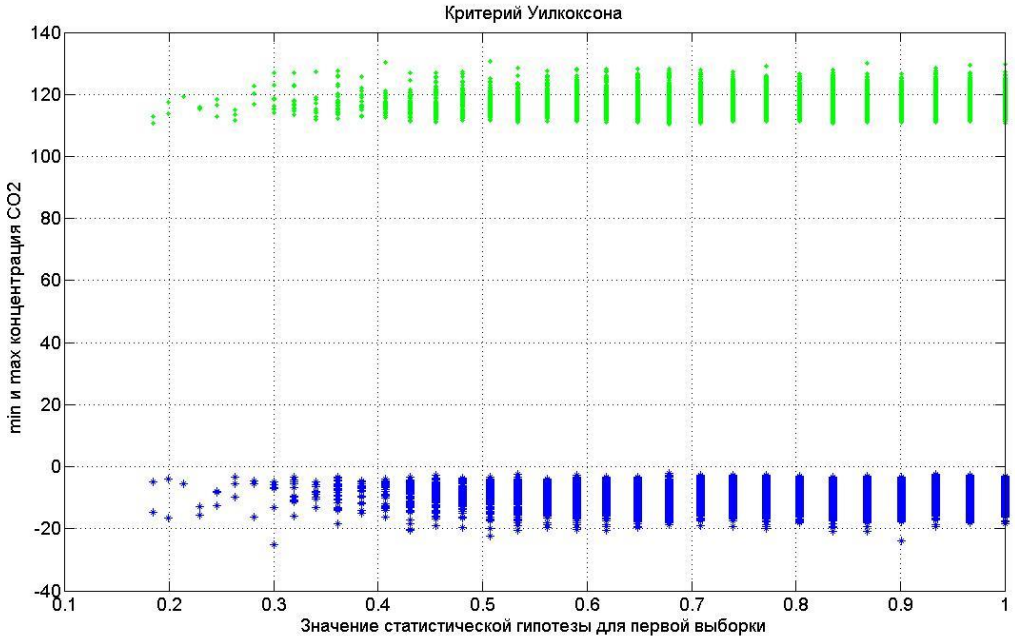
$$\mathbf{P}(k+1) = [\mathbf{I} - \gamma(k)\,\Psi^{T}(k+1)]\mathbf{P}(k); \quad (6)$$

И далее процесс вычислений повторяется. Поученные параметры подвергаем допусковому контролю с границами поля допуска равного [+σ –σ], где σ – среднеквадратичное отклонение.

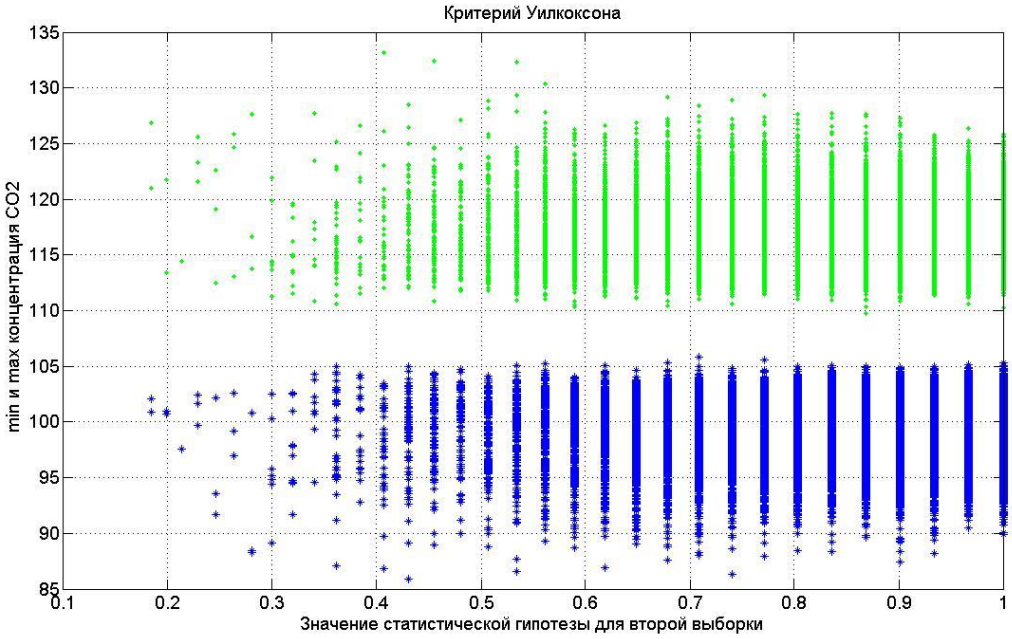
Практика контроля по данному параметру показала недостаточную достоверность результатов контроля. С целью повышения достоверности контроля была предложена проверка статистической гипотезы – относятся ли измеряемые значения получаемых параметров освещённости и концентрации к одной и той же генеральной совокупности.

Для такой проверки использовался критерий Уилкоксона – непараметрический статистический критерий, используемый для оценки различий между двумя небольшими выборками, взятыми из закона распределения, отличного от нормального. Данный критерий оптимально подходит для рассматриваемой системы контроля, поскольку контролируются две выборки каждая объёмом в 15 единиц, с законом распределения, отличным от нормального.

С целью проверки критерия были сформированы две экспериментальные выборки измеренных значений концентрации углекислого газа, а также количество освещенности каждая объёмом в 101147 единиц. Из выборки последовательно формировались две подвыборки, каждая объёмом в 15 единиц, что соответствует числу измерений, проводившихся в теплице, по изменению количеству углекислого газа.




а) – первая выборка




б) – вторая выборка

Рис. 1 – Оценка эффективности критерия Уилкоксона

Осуществлялась проверка статистической гипотезы о принадлежности этих подвыборок к одной генеральной совокупности по критерию Уилкоксона. Одновременно регистрировались максимальные и минимальные значения в подвыборках. Результаты расчётов приведены на рисунках 1 а и б. Если принять, что проверяемая статистическая гипотеза принимается при значении критерия больше 0,5, а границы поля допуска равны max=130ppm, min=95ppm, то рисунки демонстрируют случаи, когда допусковый контроль положителен, а тест Уилкоксона отрицателен и наоборот. Однако число таких случаев для первого варианта не превышает нескольких сотен, а для второго варианта равно 6 и ими можно пренебречь с учетом общего объёма выборки, превышающим 100 тысяч.

### *Список литературы*

1. *Шиков С.А.* К вопросу моделирования эффективности облучательных установок / С.А. Шиков, С.Н. Ивлиев // Вестник Чувашской государственной сельскохозяйственной академии. –2018. –№ 2 (5). –С. 120-125.

2. *Шиков С.А.* К вопросу об эффективности светодиодов в тепличных хозяйствах / С.А. Шиков, С.Н. Ивлиев, Е.Г. Алексеев, Е.М. Мигачева. // В сборнике: XLVII Огарёвские чтения Материалы научной конференции. В 3-х частях. Составитель А. В. Столяров. Ответственный за выпуск П.В. Сенин. – 2019. – С. 98-102.

3. *Волков А.В.* Автоматизация системы отбраковки ламп высокого давления / А.В. Волков, А.В. Троянский // В сборнике: Системы проектирования, моделирования, подготовки производства и управление проектами CAD/CAM/CAE/PDM. Сборник статей XI Международной научно-практической конференции. – 2017. – С. 44-48.

4. *Семенов А.Д.* Экспериментальная апробация математической модели натриевых ламп высокого давления / А.Д. Семенов, А.В.Волков // Научно-технический вестник Поволжья. – 2018. – № 1. – С. 136-139.

*05.13.06*

**В.А. Егоров канд. техн. наук**

Комсомольский-на-Амуре государственный университет,
электротехнический факультет,
кафедра электропривода и автоматизации промышленных установок,
Комсомольск-на-Амуре, egoroff_v@list.ru

# МОДЕРНИЗИРОВАННАЯ ТИПОВАЯ НАСТРОЙКА -3-1-3 ДЛЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

*Автоматическая система с настройкой -3-1-3обладает предельно допустимой колебательностью. Предлагается модернизированная «типовая» настройка -3-1-3, позволяющая задавать требуемый коэффициент колебательности замкнутой системы. Приведён пример использования настройки для расчета регулятора положения сервосистемы.*

Ключевые слова: *типовая настройка, система автоматического управления, регулятор, сервосистема.*

Желаемая передаточная функция разомкнутой системы, при настройке -3-1-3 имеет вид [2]

$$W_{\text{жр}}(\text{p}) = \frac{(T_1 p + 1)^2}{(T_1 p)^2} \frac{1}{T_2 p} \frac{1}{(T_3 p + 1)^2} \quad (1)$$

где $T_1$=16$T\mu$; $T_2$=4$T\mu$; $T_3$=$T\mu$; $T_\mu$-эквивалентная малая постоянная времени системы;

Запас по фазе для передаточной функции (1) определяется выражением

$$\mu = 2 \cdot \arctan(T_1) - \frac{3}{2}\pi - 2 \cdot \arctan(T_3) + \pi = 2 \cdot \arctan\left(\frac{(T_1 - T_3)\omega}{1 + T_1 T_3 \omega^2}\right) - \frac{\pi}{2} \quad (2)$$

Ширина среднечастотной части логарифмической амплитудно-частотной характеристики разомкнутой системы, при настройке -3-1-3

$$H = \frac{T_1}{T_3}, \text{откуда } T_1 = H \cdot T_3$$

Тогда, уравнение (2) примет вид

$$\mu = 2 \cdot \arctan\left(\frac{(H-1)T_3\omega}{1 + H{T_3}^2\omega^2}\right) - \frac{\pi}{2} \quad (3)$$

Для придания настройке максимально возможной устойчивости, исследуем функцию (3) на максимум.

$$\frac{d\mu}{d\omega} = 2\left[\frac{1}{1 + \left(\frac{(H-1)T_3\omega}{1 + H{T_3}^2\omega^2}\right)} \frac{(H-1)T_3 \cdot \left(1 + H{T_3}^2\omega^2\right) - (H-1)T_3\omega \cdot 2H{T_3}^2\omega}{(1 + H{T_3}^2\omega^2)^2}\right] = \\ = 2\left[\frac{1}{1 + \left(\frac{(H-1)T_3\omega}{1 + H{T_3}^2\omega^2}\right)} \frac{(H-1)T_3 \cdot \left(1 - H{T_3}^2\omega^2\right)}{(1 + H{T_3}^2\omega^2)^2}\right] = 0 \quad (4)$$

Выражение (4) равно нулю, если числитель полученной дроби равен нулю, тогда

$$1 - H{T_3}^2\omega^2 = 0, \text{откуда } \omega_{max} = \frac{1}{\sqrt{H}T_3} = \frac{1}{\sqrt{H}T_\mu}, \quad (5)$$

где $\omega_{max}$ – частота, для которой запас по фазе максимален.

После подстановки (5) в (3) получаем

$$\mu = 2 \cdot \arctan\left(\frac{H-1}{2\sqrt{H}}\right) - \frac{\pi}{2} \quad (6)$$

Запас по фазе для разомкнутой системы, согласно [3]

$$\mu = \arccos\left(\frac{A^2 + \frac{M^2}{M^2-1}}{2A\frac{M^2}{M^2-1}}\right), \quad (7)$$

где А - модуль амплитудно -фазо -частотной характеристики разомкнутой системы; М - показатель колебательности замкнутой системы.

На частоте среза системы А=1, тогда

$$\mu = \arccos\left(\frac{2M_{\omega ср}^2 - 1}{2M_{\omega ср}^2}\right), \quad (8)$$

где $M_{\omega ср}$ – колебательность замкнутой системы на частоте среза.

Приравнивая выражения (6) и (8) можно получить

$$\frac{H-1}{2\sqrt{H}} = 2 \cdot \tan\left(\frac{1}{2}(\arccos\left(\frac{2M_{\omega ср}^2 - 1}{2M_{\omega ср}^2}\right) + \frac{\pi}{2})\right) \quad (9)$$

Выражение (9) позволяет получить частоты излома желаемой асимптотической логарифмической амплитудно-частотной характеристики разомкнутой системы, в зависимости от показателя колебательности замкнутой системы на частоте среза. Эти частоты определяются соотношениями

$$\omega_1 = \frac{1}{HT_\mu}, \omega_2 = \omega_{ср} = \frac{1}{\sqrt{H}T_\mu}, \omega_3 = \frac{1}{T_\mu}. \quad (10)$$

С учётом (10), передаточная функция (1), соответствующая модифицированной настройке -3-1-3, примет вид

$$W_{жр}(\mathrm{p}) = \frac{(HT_\mu p + 1)^2}{(HT_\mu p)^2}\frac{1}{\sqrt{H}T_\mu p}\frac{1}{(T_\mu p + 1)^2} \quad (11)$$

Методика расчёта системы заключается в:

- получении ширины среднечастотной части желаемой логарифмической амплитудно-частотной характеристики разомкнутой системы *H* в зависимости от требуемого коэффициенте колебательности замкнутой системы $M_{\omega ср}$, при помощи соотношения (9);
- определении передаточной функции регулятора, с использованием желаемой передаточной функции (11).

Результаты решения трасцендентного уравнения (9) сведены в таблицу 1

Таблица 1 – Точки зависимости $H=f(M_{\omega ср})$

| Колебательность замкнутой системы на частоте среза ($M_{\omega ср}$) | Ширина среднечастотной части желаемой ЛАЧХ разомкнутой системы (*H*) | $(\sqrt{H})$ |
|---|---|---|
| 1.05 | 47.20 | 6.87 |
| 1.10 | 40.02 | 6.33 |
| 1.15 | 34.85 | 5.90 |
| 1.20 | 30.96 | 5.56 |
| 1.25 | 27.95 | 5.29 |
| 1.30 | 25.55 | 5.05 |
| 1.35 | 23.60 | 4.86 |
| 1.40 | 21.99 | 4.69 |
| 1.45 | 20.64 | 4.54 |
| 1.50 | 19.49 | 4.41 |
| 1.55 | 18.49 | 4.30 |
| 1.60 | 17.63 | 4.20 |
| 1.65 | 16.88 | 4.11 |
| 1.70 | 16.21 | 4.03 |

Применим описанную настройку для синтеза регулятора контура положения контурной сервосистемы.

Передаточная функция объекта, как правило, имеет вид

$$W_{\text{о}}(\text{р}) = \frac{1}{Tp^2}\frac{1}{(T_\mu p + 1)}$$

Пусть необходимый показатель колебательности замкнутой системы равен 1.2, тогда желаемая передаточная функция разомкнутой системы

$$W_{\text{жр}}(\text{р}) = \frac{(31T_\mu p + 1)^2}{(31T_\mu p)^2}\frac{1}{5.56T_\mu p}\frac{1}{(T_\mu p + 1)^2}$$

Передаточная функция регулятора положения, при последовательном способе коррекции

$$W_{\text{рп}}(\text{р}) = \frac{W_{\text{жр}}(\text{р})}{W_{\text{о}}(\text{р})} = \frac{(31T_\mu p + 1)^2}{(31T_\mu p)^2}\frac{1}{5.56T_\mu p}\frac{1}{(T_\mu p + 1)^2}\frac{Tp^2(T_\mu p + 1)}{1}$$
$$= \frac{T}{5.56^3 T_\mu{}^2}\frac{31T_\mu p + 1}{31T_\mu p}\frac{31T_\mu p + 1}{T_\mu p + 1}$$

В результате преобразований, получен пропорционально-интегрально-дифференциальный регулятор положения.

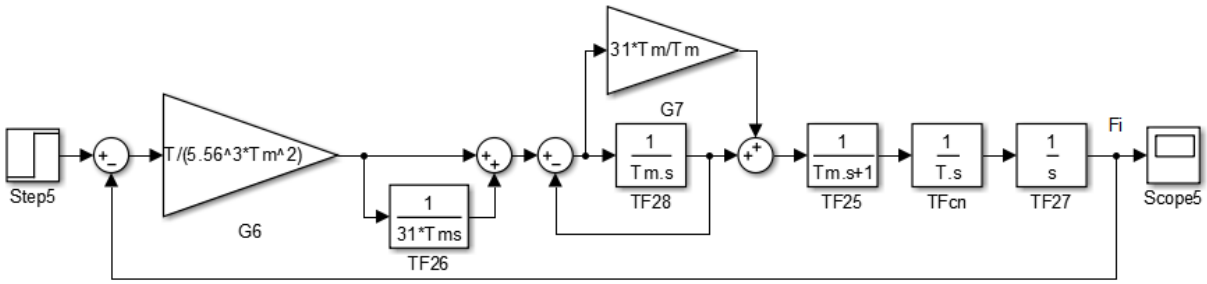



Рис. 1 – Модель контура положения

Моделирование рассчитанной системы выполнялось с использованием структурной схемы (рисунок 1). Были использованы следующие параметры объекта - $T_\mu = 1, T = 10$ .

Результатом моделирования является переходная характеристика сервосистемы, приведённая на рисунке 2.

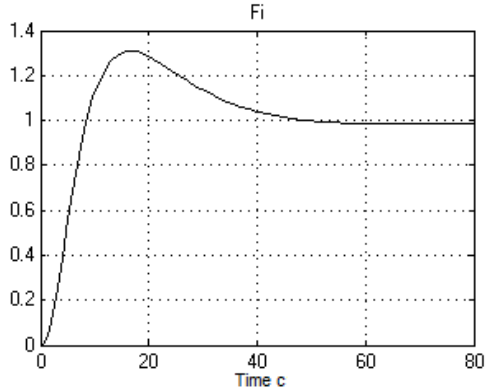



Рис. 2 – Переходная характеристика сервосистемы, при использовании модифицированной настройки -3-1-3

По сравнению с исходной настройкой -3-1-3[ 2], перерегулирование уменьшилось с 53% до 31%.

Логарифмические частотные характеристики разомкнутой системы (рисунок 1) представлены на рисунке 3.

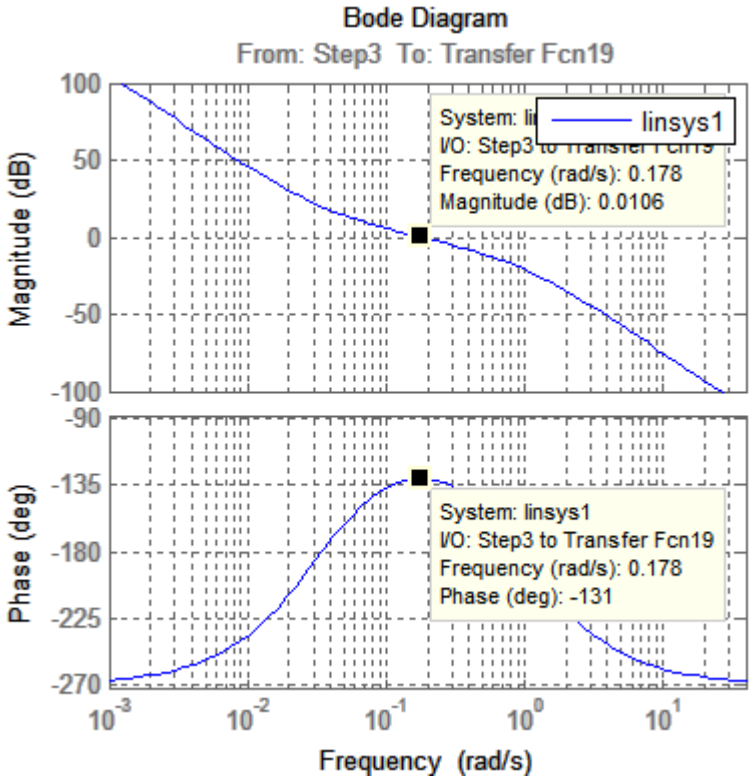



Рис. 3 – Логарифмические частотные характеристики разомкнутой системы (рисунок 1)

Из рисунка 3 следует, что частота среза системы составляет 0.178 (рад/с). Показатель колебательность замкнутой системы на этой частоте составляет $M_{\omega\text{ср}} = 10^{\frac{1.57}{20}} = 1.1981 \approx 1.2$ (рисунок 4).

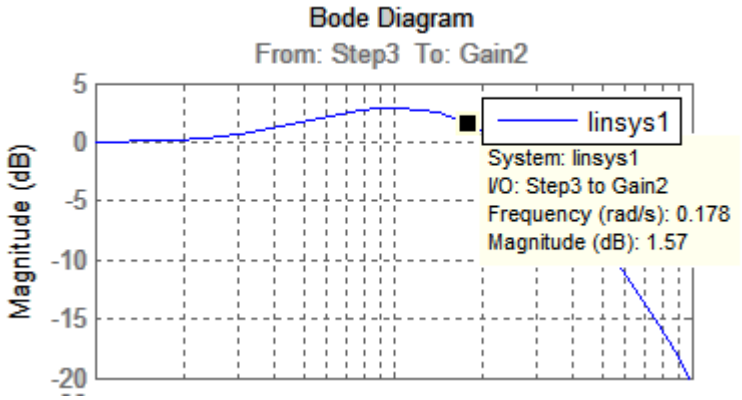



Рис. 4 – Показатель колебательность замкнутой системы (рисунок 1) на частоте среза

Показатель колебательности, полученный в результате моделирования совпадает с заданным, что подтверждает справедливость соотношений (9) и (11).

### *Список литературы*

1. *Башарин А.В., Новиков В.А., Соколовский Г.Г.* Управление электроприводами: Учебное пособие для вузов./ А.В. Башарин, В.А. Новиков, Г.Г. Соколовский - Ленинград: Энергоиздат, Ленинградское отделение, 1982. - 392 с.

2. *Егоров В.А.* Типовая настройка для системы автоматического управления / В.А. Егоров // Научно-технический вестник Поволжья № 5, 2019. с.64- 66. http://ntvp.ru/archive-vypuskov Выпуск №5 2019

3. *Бесекерский В.А.,Попов Е.Р.* Теория систем автоматического управления. Изд. 4-е перераб. и доп./ В.А.Бесекерский, Е.Р.Попов – СПб: Профессия, 2003. - 752 с.

*05.13.06*

**И.Н. Егоров д-р техн. наук**

Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых,
институт машиностроения и автомобильного транспорта,
кафедра автоматизации технологических процессов,
Владимир, egorovmtf@mail.ru

# О НЕЛИНЕЙНОЙ КОРРЕКЦИИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ МАНИПУЛЯТОРОВ ДВУСТОРОННЕГО ДЕЙСТВИЯ

*Представлено структурно-алгоритмическое обеспечение нелинейной коррекции систем управления манипуляционных роботов, основанной на применении логико-динамических алгоритмов управления и координатно-параметрических силовых связей.*

Ключевые слова: *коррекция, манипулятор, робот, система, оператор, управление.*

В настоящее время при выполнении технологических операций на объектах атомной энергетики в условиях действия радиоактивности и невозможности нахождения человека в опасных рабочих зонах, применяются механические (М-58, ММК-10-2, ММК-25) и электромеханические (МЭМ-10, МЭМ-10 СДГ) копирующие манипуляторы (КМ), производимые в ГНЦ РФ «Институт физики высоких энергий (ИФВЭ)». Многолетний опыт применения перечисленных моделей механических и электромеханических КМ показал некоторые особенности их эксплуатации: повышенная утомляемость оператора ввиду ощущения им кроме сил нагрузки сил трения и инерции подвижных элементов как ЗО так и ИО; снижение эффективности выполнения точных монтажно-сборочных операций как вследствие люфтов в кинематических цепях ЗО и ИО, так и фиксированных передаточных отношениях между ними; невозможность автоматизации операций, выполняемых с помощью манипуляторов данного типа.

Для уменьшения влияния моментов сопротивления на работу оператора в обратимых системах ДСД рассматриваемого вида применяются системы компенсации на силовых элементах упругого вала, или системы моментной разгрузки и масштабирования [1, 2] с различной степенью компенсации сопротивления движению на дополнительных вентильных или двухфазных асинхронных двигателях.

При разработке электромеханических КМ на базе электроприводов (ЭП) постоянного и переменного тока ввиду двусторонности силовых взаимодействий РО с ОР целесообразно силомоментное очувствление манипуляторов с помощью силомоментных датчиков и наблюдателей силы и применение систем позиционно-силового управления [1-5]. С точки зрения направления передачи перемещения системы дистанционного управления ЭП манипуляторов ДСД выполняются в виде обратимых симметричных или несимметричных, необратимых, и в случае необходимости – двухрежимных [1-3] систем ДСД. Применение обратимых систем ДСД позволяет передавать перемещение как от ЗО к ИО, так и от ИО к ЗО. В необратимых системах перемещение возможно только от ЗО к ИО.

Решить задачу создания высокоэффективных манипуляторов с широкими функциональными возможностями применением динамической коррекции, основанной на введении различных корректирующих звеньев не всегда возможно. Поэтому целесообразно осуществлять нелинейную коррекцию [1, 3, 4], применение которой приводит к изменению принципа естественного, свойственного человеку-оператору, ручного биотехнического управления МР. Нелинейная коррекция несимметричных систем ДСД (рис. 1) возможна как в канале отражения сил (КОС), так и управления положением (КУП). Нелинейная коррекция КОС на основе функциональных и логических законов управления, реализуемых

регуляторами моментного загружателя ЗО, применяется для компенсации влияния нелинейностей, повышения устойчивости системы, точности и быстродействия отражения сил.

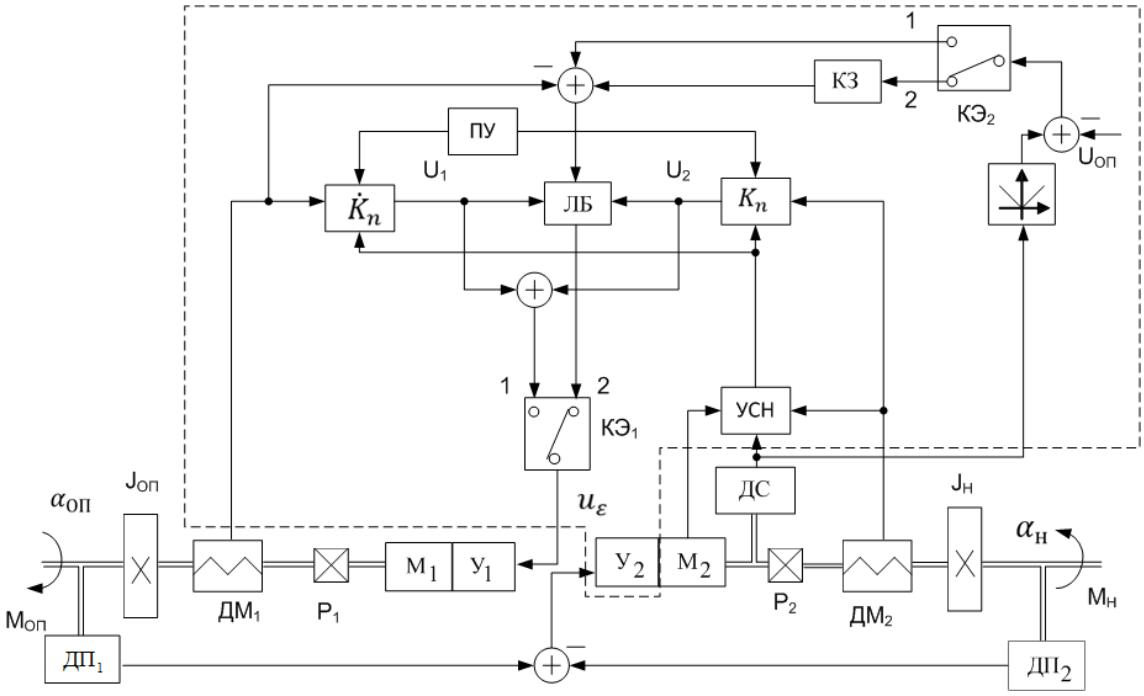



Рис. 1 - Несимметричная система ДСД с динамической коррекцией и параметрическим отражением моментов: ЛБ- логический блок; ПУ - пульт управления; $М_1$, $М_2$ - электродвигатели; $У_1$, $У_2$ - усилители; УСН - устройство самонастройки; $ДП_1$, $ДП_2$, ДС- датчики положения и скорости; $ДМ_1$, $ДМ_2$ - датчики или наблюдатели момента; $Р_1$, $Р_2$ - редукторы; $КЭ_1$, $КЭ_2$ - ключевые элементы

Возможности обратимых систем ДСД могут быть существенно расширены применением параметрических законов отражения сил [1,3,4]. В этом случае сигнал ошибки Uε формируется логическим блоком ЛБ (рис.1) и определяется, например, следующими функциями:

$$U\varepsilon = \begin{cases} (U_1 - U_2) \ \forall \ |U_1| \le \vee > |U_2| \equiv |\dot{\alpha}_{on}| \ne 0; \\ 0 \ \forall \ |\dot{\alpha}_{on}| = 0; \end{cases} \quad (1)$$

$$U\varepsilon = \begin{cases} (U_1 - U_2) \forall \dot{\alpha}_{on} \le \dot{\alpha}_{\min}; \\ U_1 \forall \dot{\alpha}_{on} > \dot{\alpha}_{\min}; \end{cases} \quad (2)$$

$$U\varepsilon = \begin{cases} (U_1 - U_2) \ \forall \ U_1U_2 < 0 \ \wedge \ \dot{\alpha}_{on} \le \ \vee \ > \dot{\alpha} \ \vee \ U_1U_2 > 0 \ \wedge \ \dot{\alpha}_{on} \le \dot{\alpha}_{\min}; \\ U_1 \ \forall \ U_1U_2 > 0 \ \wedge \ \dot{\alpha}_{on} > \dot{\alpha}_{\min}; \end{cases} \quad (3)$$

где $U_1 = k_{дм1}(M_{оп} + J_{оп}p^2\alpha_{оп}); \qquad U_2 = k_{дм2}(M_н + J_нp^2\alpha_н).$

Минимальное значение скорости перемещения ЗУ $\dot{\alpha}_{min}$ устанавливается оператором. При реализации функции (1), во избежании аварийных ситуаций фиксируется положение ЗО при нулевом значении скорости его перемещения. В остальных случаях оператор ощущает как сопутствующие, так и противодействующие моменты.

Нетрудно видеть, что при реализации управляющими устройствами логической функции (2) оператор ощущает как сопутствующие, так и противодействующие моменты: если скорость движения ЗО меньше или равна некоторому минимальному значению $\dot{\alpha}_{\min.}$ При перемещении ЗО со скоростями, превышающими $\dot{\alpha}_{min}$ оператор не ощущает отраженных

моментов. Если реализуется функция (3), то оператор ощущает отраженные противодействующие моменты только при малых скоростях и выполняет операции типа "опускание груза" без ощущения отраженных моментов при больших скоростях.

При малой скорости перемещения ИО ($\dot{\alpha}_{on} < \dot{\alpha}_{min}$) сигнал с $ДМ_2$ поступает непосредственно на вход КОС. Если скорость РО превышает заданное минимальное значение $\dot{\alpha}_{\min}$, определяемое значением опорного напряжения $U_{оп}$, то ключевой элемент $КЭ_2$ включает в цепь обратной связи корректирующее звено КЗ, например в виде инерционного динамического звена. Если потребуется изменить масштаб отражения, то КЗ реализуется в виде пропорционального звена с переменным коэффициентом передачи *n*.

Если система управления манипулятором имеет постоянный масштаб отражения сил и моментов (*Kn = const, К̇n = const*), то при длительной работе с большими нагрузками это создает оператору определенные неудобства, а при работе с малыми нагрузками снижается точность отражения усилий и моментов. При оперативной коррекции оператор с помощью пульта управления ПУ (рис. 1) блоками переключения коэффициентов *Kn* и *К̇n* выбирает диапазон работы КОС таким образом, чтобы он обеспечивал повышение точности отражения нагрузки в одном случае и повышение удобства работы и снижение утомляемости оператора - в другом. Коэффициенты *Kn* и *К̇n* могут изменяться автоматически с помощью устройства самонастройки УСН.

В ряде случаев, когда со стороны объекта работ возникает силовое воздействие, превышающее силовые возможности оператора, свойство обратимости может привести к травме оператора. Наиболее простым путем повышения эффективности работы КМ при выполнении операций с длительным удержанием ОР в неподвижном положении или активном действии со стороны ОР, является применение в качестве редукторов $Р_1$, $Р_2$ самотормозящихся механических передач (СМП), выполняющих роль нелинейных корректирующих устройств с использованием неизменяемой части системы путем перестройки ее структуры. Несимметричные системы ДСД с СМП в КОС и КУП относятся к необратимым системам.

Однако, при силомоментном воздействии нагрузки на РО возможно нарушение необратимости системы, вследствие потери СМП свойства самоторможения, ограниченности жесткости кинематических звеньев ИО и наличия зазоров как в этих звеньях, так и в измерительной системе манипулятора. Поэтому необходимым условием создания необратимых систем ДСД является применение не только СМП, но и нелинейного корректирующего устройства, формирующего с помощью логического блока ЛБ (рис.1) нелинейный (логический) закон отражения сил и моментов

$$U\varepsilon = \Psi(U_1, U_2) = \begin{cases} (U_1 - U_2) \ \forall \ |U_1| > |U_2| \ \wedge \ 0 < U_1 U_2 < 0; \\ 0 \ \forall \ |U_1| \le |U_2|. \end{cases} \quad (4)$$

Нелинейное корректирующее устройство в этом случае представляет собой элемент с переменной зоной нечуствительности, ширина и знак которой определяются сигналом $U_2$ с наблюдателя моментов [5] $ДМ_2$, расположенного вне горячей камеры (рис.1, штриховая линия).

Действительно, как КОС указанным элементом, так и СМП обеспечивают движение ЗУ только при условии, что момент на входе больше момента на выходе. В противном случае движение прекращается.

Отражение сопутствующих ($\dot{\alpha}_{оп} М_н > 0$) моментов создает определенные неудобства при выполнении операций типа опускания груза, а в случае аварийных ситуаций, связанных с выходом из строя КОС, приводит к заклиниванию ИО с СМП. Вывести его из этого положения, особенно при наличии препятствий в рабочем пространстве, без применения вспомогательных муфт, разрывающих механическую связь, практически невозможно. Поэтому более целесообразно создавать необратимые системы ДСД с активным отражением только противодействующих ($\dot{\alpha}_{оп} М_н < 0$) моментов, что достигается применением в

несимметричной системе логического блока ЛБ, формирующего нелинейных закон отражения моментов.

$$U\varepsilon = \Psi(U_1, U_2) = \begin{cases} (U_1 - U_2) \ \forall \ |U_1| > |U_2| \ \equiv \ U_1 U_2 < 0; \\ U_1 \ \forall \ |U_1| > |U_2| \equiv \ U_1 U_2 > 0; \\ 0 \ \forall \ |U_1| \le |U_2|. \end{cases} \quad (5)$$

При выполнении работ в частично или полностью неопределенной обстановке возникает необходимость в использовании двухрежимных или комбинированных систем ДСД, сочетающих в себе свойства обратимых и необратимых систем. Логический блок ЛБ (рис. 1) при автоматическом или ручном переключении структуры с помощью ключевого элемента $КЭ_1$ обеспечивает работу системы ДСД как двухрежимной системы. В первом режиме, когда реализуется обратимая система, обеспечивается алгебраическое суммирование сигналов $U_1$ и $U_2$, а во втором режиме - реализуются логические функции вида (4) и (5).

Реализация рассмотренных алгоритмов нелинейной коррекции в системах дистанционного (копирующим, полуавтоматическим), автоматического и дистанционно-автоматического управления манипуляционных роботов возможна при условии применения вентильных и асинхронных электродвигателей с размещением силовых преобразователей и устройств управления вне горячей камеры (рис. 1, штриховая линия). Один из вариантов реализации концепции полуавтоматического управления роботом-манипулятором робототехнического комплекса МР-48 приведен в работах [7, 8]. Оператор при помощи трехстепенного левого и четырехстепенного правого джойстиков, расположенных на пульте управления, используя математический аппарат для решения обратной кинематической задачи и человеко-машинный интерфейс программного обеспечения, формирует управляющие воздействия в виде уставок угловой скорости или углового положения звеньев и РО манипулятора.

### *Список литературы*

1. *Егоров, И.Н.* Проектирование следящих систем двустороннего действия/ *И.Н. Егоров, Б.А. Жигалов, В.С. Кулешов и др.//Под ред. В.С.Кулешова*.- М.: Машиностроение. 1980. 300 С.
2. *Петров, Б. А.* Манипуляторы/*Б.А.Петров*.- Л.: Машиностроение, 1984- 238 С.
3. *Кулешов, В.С.* Дистанционно управляемые роботы и манипуляторы/ *В.С. Кулешов, Н.А. Лакота, В.А. Андрюхин, И.Н.Егоров и др.// Под ред. В.С. Кулешова, Н.А. Лакоты.* - М.: Машиностроение.-1986.-328 С.
4. *Егоров, И.Н.* Позиционно-силовое управление робототехническими и мехатронными устройствами/*И.Н.Егоров*//Монография. – Владимир: Изд-во ВлГУ им. А.Г. и Н.Г. Столетовых, 2010.-198 С.
5. *Юревич ,Е.И.* Сенсорные системы в робототехнике : учеб. пособие / *Е.И. Юревич.*- СПб.- Изд-во Политехн. ун-та, 2013. — 100 С.
6. *Зуев, А.В.* Особенности создания комбинированных позиционно-силовых систем управления манипуляторами/ *А.В.Зуев, В.Ф. Филаретов*// Известия РАН. Теория и системы управления, 2002, №1.- С.154-163.
7. *Войнов, И.В.* Радиационно-стойкие манипуляторы и методы расширения их функциональных возможностей / *И.В. Войнов, А.М. Казанцев, Б.А. Морозов, М.В. Носиков* // «Экстремальная робототехника и конверсионные тенденции»: сб. тр. междунар. науч.-техн. конф. (Санкт-Петербург,ЦНИИ РТК, 7–8 июня 2018). – 2018. – С. 114–125.
Серия «Компьютерные технологии, управление,радиоэлектроника». – 2019. – Т. 19, № 2. – С. 38–53.
8. *Войнов, И.В.* Манипулятор МР-48 для атомной промышленности/ *И.В. Войнов, И.Ф. Круглов, Б.А. Морозов, А.М. Казанцев, М.В. Носиков*: пат. №172431 РФ, 2016г., МПК7 F42D5/04.

*05.13.06*

**А.В. Жданов канд. техн. наук, Н.С. Довбыш**

Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых,
Институт машиностроения и автомобильного транспорта,
кафедра технология машиностроения

# ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КПД РВМ НА ОСНОВЕ СРАВНИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА ПОВЕРХНОСТЕЙ С ПОКРЫТИЕМ

*В работе представлены результаты влияния материалов, смазки и типа покрытий в РВМ фрикционного типа на значения коэффициентов трения и полезного действия, необходимые для прогнозирования КПД приводов. Теоретические исследования проводились для PVD покрытий разного типа. Полученные результаты можно использовать для прогнозирования функциональных характеристик механизмов при проектировании.*

Ключевые слова: *прогнозирование, покрытия, роликовинтовые механизмы (РВМ), коэффициент полезного действия (КПД), трение.*

При автоматизированном проектировании РВМ приходится решать задачи прогнозирования его функциональных характеристик [1]. В ряде случаев, особенно для фрикционных РВМ [2] – рис.1, необходима предварительная оценка их КПД в том случае, если они выполняются из разных материалов, с различными покрытиями и смазками. В данной работе теоретически установлена степень влияния материала, типа смазки и вида покрытия на коэффициент трения и КПД. Коэффициенты трения для поверхностей без покрытий были определены из справочных данных. Материалы и стали были взяты из [3-5] применительно к РВМ. Это стали 40Х, ШХ15, У8, 08Х17Т, покрытия – $MoS_2$, (AlSiCr)C:H, AlN, TiN.

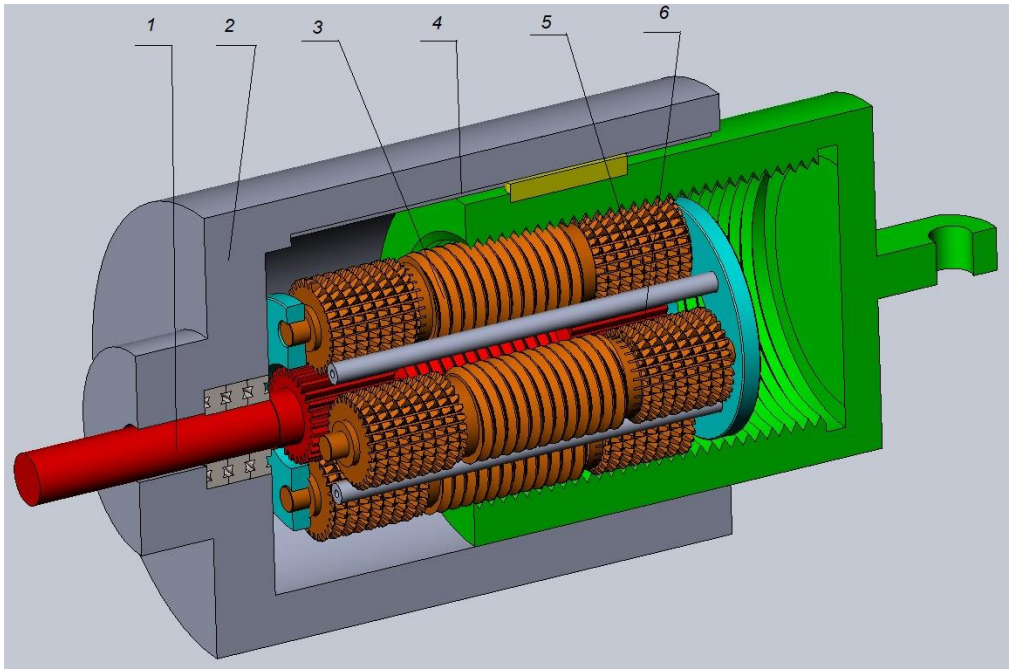



Рис. 1. РВМ фрикционного типа (Компас v15)
На рисунке обозначено: 1 – винт, 2 – корпус, 3- ролик, 4 – гайка, 5 – зубчатый венец, 6 - стойка

На первом этапе находились коэффициенты трения для сталей без покрытий при сухом взаимодействии деталей. КПД РВМ [3] находили, используя зависимости:

$$\eta_{\text{пх}} \approx \frac{1}{1+A_{\text{тр.с.}}/(A_{\text{п}}+A_{\text{тр.к.}})/(A_{\text{п}}+A_{\text{тр.о.}})/A_{\text{п}}},$$

где $A_{\text{п}}$ – полезная работа за оборот винта, $A_{\text{п}} = FS$; $A_{\text{тр.с.}}$ – работа сил трения скольжения при внеполюсном сопряжении резьб за оборот винта, при половине угла профиля $\alpha = \pi/4$.

$$\frac{A_{\text{тр.с.}}}{A_{\text{п}}} = \frac{2f}{1-f},$$

где $f$ – коэффициент трения скольжения, $A_{\text{тр.к.}}$ – потери на трение качения сопряжённых резьб в передаче:

$$\frac{A_{\text{тр.к.}}}{A_{\text{п}}} = \mu\frac{2\pi}{s}(k+1)tg\alpha,$$

где μ - коэффициент трения качения (плечо момента трения качения); $A_{\text{тр.о.}}$ – потери на трение качения в опорах передачи.

Полученные значения КПД сталей при сухом трении занесены в табл. 1.

Таблица 1- Коэффициенты трения *f и* КПД РВМ при сухом трении и жидкой смазке без покрытий

| Название стали | при сухом трении | | при жидкой смазке | |
|---|---|---|---|---|
| | *f* | КПД | *f* | КПД |
| 40Х | 0,2 | 0,66 | 0,14 | 0,74 |
| ШХ15 | 0,17 | 0,71 | 0,12 | 0,79 |
| У8 | 0,15 | 0,74 | 0,1 | 0,81 |
| 08Х17Т | 0,25 | 0,58 | 0,17 | 0,65 |

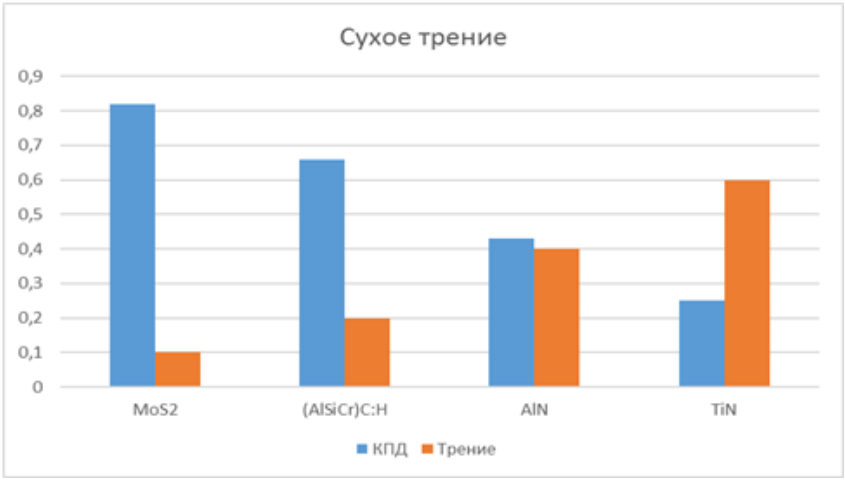
Для РВМ с жидкой смазкой КПД на 10,3…24,2 % выше чем для несмазанных передач, однако для данных типов фрикционных механизмов он все равно остается низким.

На следующем этапе определяли коэффициенты трения и КПД для РВМ с покрытиями. Тип покрытия - PVD, установка - - UniCoat 600 SL+, толщина – до 3 мкм, тип покрытия - многослойное. Трение для покрытия было получено независимо от сталей для каждого материала в отдельности. Результаты измерений занесены в табл. 2.

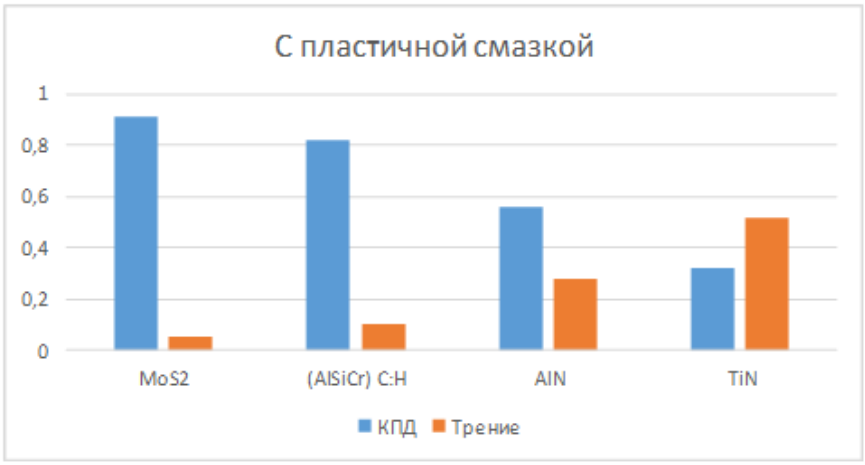
Таблица 2- Коэффициенты трения *f* и КПД при сухом трении и жидкой смазке для поверхностей с покрытиями

| | при сухом трении | | при жидкой смазке | |
|---|---|---|---|---|
| Покрытие | *f* | КПД | *f* | КПД |
| $MoS_2$ | 0,1 | 0,82 | 0,05 | 0,91 |
| (AlSiCr)C:H | 0,2 | 0,66 | 0,1 | 0,82 |
| AlN | 0,4 | 0,43 | 0,28 | 0,56 |
| TiN | 0,6 | 0,25 | 0,52 | 0,32 |

Анализ таблиц показывает, что при использовании покрытий КПД может как увеличиться, так и уменьшиться. Положительную динамику показывают покрытия со структурами $MoS_2$ и (AlSiCr)C:H. При использовании традиционных покрытий AlN и TiN, КПД может уменьшаться. Этот результат относится только к фрикционным механизмам РВМ и требует дополнительных экспериментальных подтверждений.




а)




б)

Рис. 2. Сравнение КПД и коэффициента трения в РВМ с покрытиями в условиях сухого трения (а) и с пластичной смазкой (б).

На третьем этапе сравнивались значения коэффициента трения и КПД для РВМ фрикционного типа с нанесенными покрытиями в условиях сухого трения и с пластичной смазкой как наиболее распространенного варианта эксплуатации (см. рис. 2).

Использование пластичной смазки незначительно повышает КПД на 10…13% в механизмах с покрытием. Использование пластичной смазки может привести и к негативному влиянию на КПД, что, очевидно, требует также экспериментальной проверки.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 17-20-03084офи_м_РЖД, 9.11716.2018/11.12*

***Список литературы***

1. *Жуков И.О., Иванченко А.Б., Жданов А.В.* Особенности 3-D моделирования роликовинтовых механизмов / Научно-технический вестник Поволжья, 2014. – №4. – С. 100-103. – ISSN 2079-5920

2. РВМ. Кинематические характеристики: монография / В.В. Морозов; Владим. гос. ун-т. – Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2005. – 78 с

3. *Морозов, В.В., Жданов А.В.* РВМ. Надежность и долговечность. монография. Москва, 2015 – 152 с.

4. Изучение свойств наноструктурированных PVD-покрытий на основе углерода/ Кононов Д.М., Жданов А.В., Королев А.Н. // Современные проблемы науки и образования. – 2011. – № 6; стр.130 URL: http://www.science-education.ru/100-5252 ISSN 1817-6321

5. Экспериментальные исследования физико-механических свойств многослойных наноструктурных покрытий / Букарев И.М., Жданов А.В.// Научно-технический вестник Поволжья. №6 2011г. – Казань:. – стр.116-119. ISSN 2079-5920.

*05.13.06*

**В.Ф. Пегашкин д-р техн. наук, Г.А. Осипенкова канд. техн. наук,**
**М.С. Кузнецов канд. техн. наук**

Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина,
Нижний Тагил, v.f.pegashkin@urfu.ru

# МОДИФИКАЦИИ ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛЕЙ ИЗ СПЛАВОВ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

*Рассмотрен процесс отделочной кавитационной обработки поверхностей деталей из цветных металлов в различных средах и ее влияния на упрочнение и шероховатость поверхности с применением крутильных ультразвуковых колебаний. Определены математические модели глубины и степени упрочнения, а так же высоты микронеровностей обработанной поверхности в зависимости от параметров обработки.*

Ключевые слова: *кавитационная обработка поверхности, шероховатости поверхности, ультразвуковая обработка.*

Эксплуатационные характеристики изделий, такие как сопротивление разрушению, трению и износу и другие, зависят от состояния поверхностного слоя материалов.

Наряду с традиционными методами формирования структуры в поверхностных слоях материалов или изделий, включающими химикотермическую обработку поверхности, получили признание современные методы модифицирования поверхностных слоев воздействием на материалы концентрированными потоками энергии, ионно-плазменной обработкой поверхности, воздействием на материалы токов электрических разрядов и периодического разряда в потоке жидкости [1]. Для повышения механических свойств сплавов цветных металлов применяют импульсное магнитное поле [2, 3]. Поверхностное упрочнение и полировка высокоточных, ажурных и ответственных деталей (в том числе из сплавов цветных металлов) может достигаться виброобработкой деталей [4], микродуговым оксидированием в щелочном электролите [5], кавитационной обработкой поверхности [6].

В предлагаемой работе рассмотрены исследования упрочнения и изменения шероховатости поверхности деталей из сплавов цветных металлов под влиянием вихревой кавитационной обработки. В качестве объекта исследования использовались образцы из медного марки М1 и алюминиевого сплава АД1.

Вихревые кавитационные потоки среды создаются при помощи крутильных колебаний концентратора колебаний. Под крутильными колебаниями понимают колебания инструмента в направлении совпадающим с направлениемг касательной к поверхности инструмента (концентратора).

Крутильные колебания можно получить при помощи двух колебательных систем, имеющих одинаковую резонансную частоту, соединенных со специальным концентратором, к которому крепится инструмент (рис. 1).

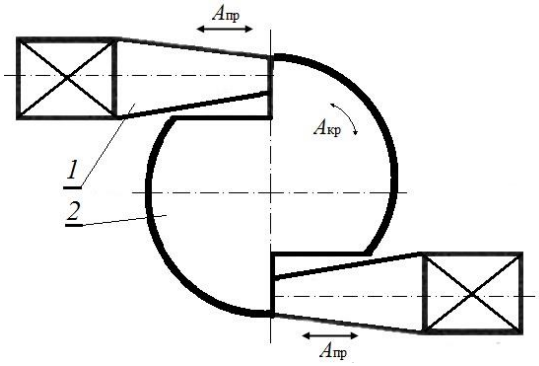



Рис. 1. Схема колебательной системы с элементами продольных и крутильных колебаний : 1 – концентратор продольных колебаний; 2 – концентратор крутильных колебаний

На основе схемы (рис. 1) разработана установка для кавитационной обработки (рис. 2). Приспособление состоит из ванны 3, соединенной с двумя концентраторами 5, которые в свою очередь связаны с магнитострикционными преобразователями 1. Преобразователи крепятся на крепежной стойке 4. В ванне с жидкостью находятся обрабатываемые детали 6, которые закреплены в держателе 2.

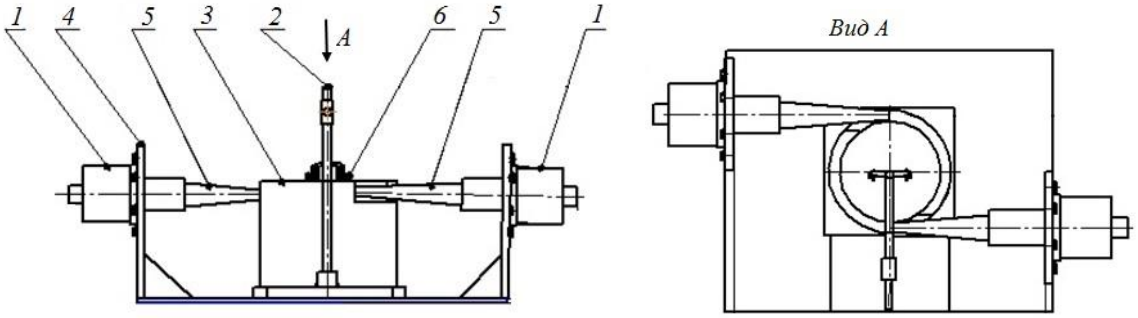



Рис. 2. Схема приспособления для УЗО
1-ПМС; 2-стойка для фиксирования заготовок; 3-ванна; 4- стойка крепежная;
5-волновод; 6-заготовка

Конструкция установки включает в себя генератор ультразвуковой УЗГЗ–4 (резонансная частота – 18 ± 1,2 кГц), преобразователь магнитострикционный ПМС–15А–18.

В качестве режимов обработки (факторов эксперимента) использовали: время обработки ($t$ = 3 – 15 мин), температуру среды ($T$ = 20 – 70 С$^{o}$), тип среды (С = 1 для среды «ПАВ», 2 для среды «силиконовое масло»), расстояние от стенки сосуда до обрабатываемой детали ($L$ = 25 – 90 мм), амплитуду колебаний волновода ($A$ = 10 – 60 мкм).

Для оценки параметров шероховатости поверхностного слоя использовался профилограф-профилометр модели TR 200. Измерения проводились по стандартной методике с использованием паспортных данных прибора. Испытания микротвердости проводились на приборе ПМТ-3. Для каждого образца были определены: глубина упрочнения, значение максимальной микротвердости и микротвердости основного металла.

На основе регресионного анализа экспериментальных данных были получены математические модели зависимости шероховатости поверхности от режимов обработки:

- для образцов из алюминиевого сплава (АД1)

$$Ra = 0{,}55\frac{C^{0{,}08}}{T^{0{,}1}t^{0{,}08}L^{0{,}01}},$$

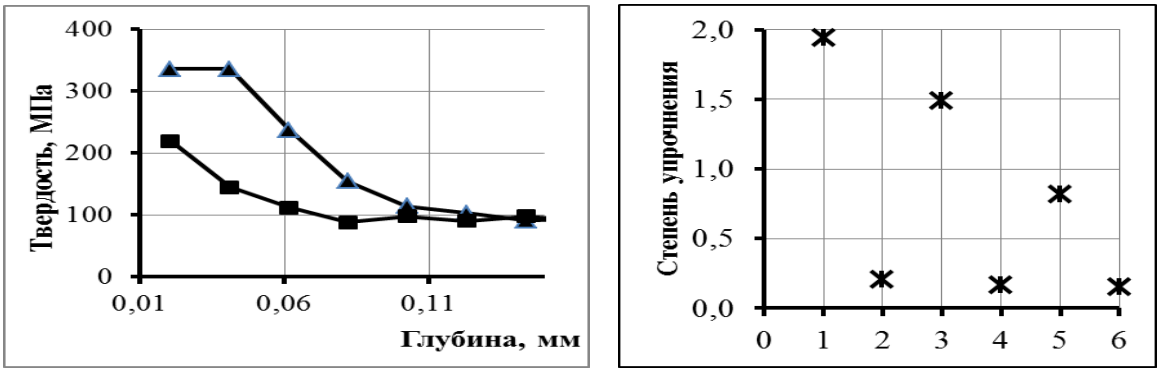
- для образцов из медного сплава (М1)

$$Ra = 1{,}43\frac{C^{0{,}11}}{T^{0{,}05}t^{0{,}09}L^{0{,}03}}.$$

Во время кавитационного воздействия происходит упрочнение поверхности детали (рис. 3,*а*). Зависимость глубины упрочнения от параметров обработки (рис. 4) имеет вид

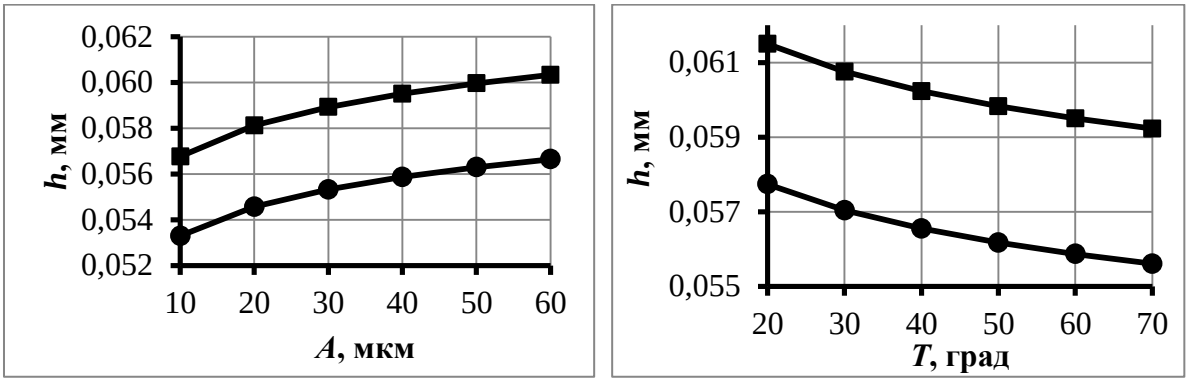
$$h = 0{,}05\frac{C^{0{,}91}A^{0{,}034}t^{0{,}04}}{T^{0{,}03}}.$$

Степень упрочнения существенно зависит от параметров обработки (рис. 3, *б*) и изменялась в условиях эксперимента от 0,15 до 1,95.




*а* *б*

Рис. 3. Изменение микротвердости материала (М1) по глубине (*а*) при режимах обработки: $T = 20$ С°, $t = 15$ мин, среда – «масло», $A = 40$ мкм (▲), $A = 20$ мкм (■) и степень упрочнения при различных сочетаниях режимов обработки (*б*)




*а* *б*

Рис. 4. Зависимость глубины упрочнения от амплитуды колебаний (*а*) и температуры среды (*б*) для среды 1 (●) и 2 (■)

Упрочнение поверхностного слоя металла ультразвуковым способом в режиме кавитации возможно к применению, как альтернативу существующим методам упрочнения, используемых в современном машиностроении.

### *Список литературы*

1. *Богданович, Б.Ю.* Модифицирование черных и цветных металловв процессе пинчевых разрядов в парах воды / Б.Ю. Богданович, Б.А. Калин, А.В. Нестерович // Перспективные материалы. – №6. – 2016. – С. 5-15.

2. *Здор, Г.Н.* Применение импульсного магнитного поля для повышения механических свойств сплавов цветных металлов / Г.Н. Здор, А.Г. Анисович, А.Г. Яскович // Проблемы машиностроения и надежности машин. – №5. – 2004. – С. 65-69.

3 .*Алифанов, А.В.* Актуальные проблемы прочности / А.В. Алифанов, В.А. Андреев, А.А. Антанович и др. – Витебск; Витебский государственный технологический университет, 2018. – 546 с.

4. *Сергеев, Ю.Г.* Приспособление планетарного типа для виброобработки деталей / Ю.Г. Сергеев, Д.Н. Дегтев, А.В.Ульянов // Научный вестник воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: высокие технологии. – №1. – 2015. – С. 309-312.

5. Пат. 2486044 Российская Федерация. Способ восстановления изношенных деталей / А.В. Коломейченко, Н.В. Титов, В.Н. Логачев и др; заявитель и патентообладатель Орловский гос. аграрный ун-т. – № 2012116489/02; заявл. 24.04.2012; опубл. 25.07.2013, Бюл. № 18.

6. *Пегашкин, В.Ф.* Шероховатость поверхности деталей из цветных металлов при кавитационной обработке / В.Ф. Пегашкин, Г.А. Осипенкова, М.С. Кузнецов // Научно-технический вестник Поволжья. – №6. – 2019. – с.60-64.

## ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ (05.13.11)

*05.13.11*

**М.П. Овчинцев канд. физ.-мат. наук**

ФГБОУ ВО НИУ «Московский государственный строительный Университет»,
Институт фундаментального образования,
кафедра прикладной математики,
6714543@rambler.ru

# ОПТИМАЛЬНОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ ОГРАНИЧЕННЫХ АНАЛИТИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ, ЗАДАННЫХ В ПОЛУПЛОСКОСТИ ПО ИХ ЗНАЧЕНИЯМ В КОНЕЧНОМ ЧИСЛЕ ТОЧЕК

*В работе находится линейный наилучший метод приближения значений в точке ограниченных аналитических функций, заданных в верхней полуплоскости по их значениям в конечном числе различных точек. Статья разбита на четыре раздела. В первом разделе (введение) приводятся некоторые результаты из работы К.Ю. Осипенко. Во втором определяется погрешность наилучшего метода и выписывается соответствующая экстремальная функция. В третьем разделе находятся коэффициенты линейного наилучшего метода. В четвертом разбираются частные случаи рассматриваемой задачи оптимального восстановления.*

Ключевые слова: *оптимальное восстановление, наилучший метод, линейный наилучший метод, погрешность наилучшего метода, экстремальные функции.*

### 1. Введение

Вначале напомним некоторые понятия из работы [1]. Пусть $X$ - комплексное линейное нормированное пространство, а $W-$ его подмножество. Далее, пусть $L, l_1, \dots, l_n -$ комплексные линейные функционалы, заданные на $X$. Если $S(t_1, \dots, t_n) -$ любая комплексная функция n комплексных переменных, то погрешностью приближения методом S функционала L по значениям функционалов $l_1, \dots, l_n$ на множестве W называется следующая величина

$$r_n(S) = \sup_{x \in W} |L(x) - S(l_1(x), \dots, l_n(x))|.$$

Метод $S_0(t_1, \dots, t_n)$ называется наилучшим методом восстановления, если

$$r_n(S_0) = \inf_S r_n(S). \quad (1)$$

Если $W-$ единичный шар, то (см. [1]) существует линейный наилучший метод приближения $S_0 = \sum_{k=1}^{n} c_k l_k(x)$ (где $c_k$ некоторые комплексные числа). Причем, погрешность наилучшего метода восстановления можно вычислить по формуле

$$r_n(S_0) = \sup_{\substack{x \in W \\ l_1(x) = \dots = l_n(x) = 0}} |L(x)|. \quad (2)$$

Обозначим через D верхнюю полуплоскость. То есть, пусть $D = \{z: Im\, z > 0\}$, а $z_0, z_1, \dots, z_n -$ различные точки, лежащие в D ( $z_0 = x_0 + iy_0$, $z_1 = x_1 + iy_1, \dots$ , $z_n = x_n + iy_n; y_k > 0, k = 0, 1, \dots, n$). Положим $L(f) = f(z_0)$, $l_1(f) = f(z_1), \dots, l_n(f) = f(z_n)$, $f(z) \in B^1(D)$,

где

$$B^1(D) = \{f(z): |f(z)| \le 1\},$$

а $f(z) -$ аналитические в D функции. Обозначим (см. (1))

$$r(z_0, z_1, \dots, z_n) = r_n(S_0).$$

Тогда (см. (2))

$$r(z_0, z_1, \dots, z_n) = \sup_{\substack{f(z)\in B^1(D) \\ f(z_1)=..=f(z_n)=0}} |f(z_0)|. \quad (3)$$

Задачи оптимального восстановления исследовались во многих работах (см., например, [1]-[3]).

В дальнейшем нам потребуются некоторые известные результаты. Обозначим через

$$K = \{\omega: |\omega| < 1\} -$$

единичный круг, а

$$B^1(K) = \{g(\omega): |g(\omega)| \le 1\} -$$

множество аналитических функций, заданных в единичном круге. Далее пусть $\omega_1, \dots, \omega_n -$ различные точки, лежащие в круге K. Обозначим через

$$E = \{g(\omega): g(\omega) \in B^1(K); g(\omega_1) = \dots = g(\omega_n) = 0\} - \quad (4)$$

семейство аналитических функций. Как известно, семейство функций E можно факторизовать. Это означает, если $g(\omega) \in E,$ то (см. [4])

$$g(\omega) = B_1(\omega)\varphi(\omega), \quad (5)$$

где $\varphi(\omega) \in B^1(K),$ а

$$B_1(\omega) = \prod_{k=1}^{n} \frac{\omega - \omega_k}{1 - \overline{\omega_k}\omega} - \quad (6)$$

конечное произведение Бляшке в единичном круге K. И, наконец, (см. [5])

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \frac{dx}{|x - z_0|^2} = \frac{\pi}{y_0} \quad (7)$$

(напомним, $z_0 = x_0 + iy_0; y_0 > 0$).

## 2. Погрешность наилучшего метода приближения

Обозначим через

$$B(z) = \prod_{k=1}^{n} \frac{z - z_k}{z - \overline{z_k}} - \quad (8)$$

конечное произведение Бляшке в верхней полуплоскости;

$$A = \{f(z): f(z) \in B^1(D); f(z_1) = \dots = f(z_n) = 0\} - \quad (9)$$

семейство аналитических функций.

**Лемма 1.** Семейство функций A можно факторизовать. А именно, $f(z) \in A$ тогда и только тогда, когда

$$f(z) = B(z)h(z), \quad (10)$$

где $h(z) \in B^1(D).$

*Доказательство*. Обозначим

$$\omega = F(z) = \frac{z - b}{z - \bar{b}},$$

где $b \in D$ (b-фиксированное число);

$$\omega_1 = F(z_1), \dots, \omega_n = F(z_n)$$

и $g(\omega) = f\left(\frac{b - \bar{b}\omega}{1 - \omega}\right).$ Так как $g(\omega) \in B^1(K)$ и $g(\omega_1) = 0, \dots, g(\omega_n) = 0,$ то $g(\omega) \in E$ (см. (4)).

Поэтому (см. (5))

$$g(\omega) = \prod_{k=1}^{n} \frac{\omega - \omega_k}{1 - \overline{\omega_k}\omega} \varphi(\omega),$$

где $\varphi(\omega) \in B^1(K).$ Так как

$$\frac{\omega-\omega_k}{1-\overline{\omega_k}\omega}=\frac{\dfrac{z-b}{z-\bar{b}}-\dfrac{z_k-b}{z_k-\bar{b}}}{1-\dfrac{\overline{z_k}-\bar{b}}{\overline{z_k}-b}\dfrac{z-b}{z-\bar{b}}}=-\frac{\overline{z_k}-b}{z_k-\bar{b}}\frac{z-z_k}{z-\overline{z_k}},$$

то

$$f(z)=g\left(\frac{z-b}{z-\bar{b}}\right)=\prod_{k=1}^{n}\frac{z-z_k}{z-\overline{z_k}}h(z)=B(z)h(z),$$

где $h(z)\in B^1(D)$. Обратно, если функция f(z) имеет вид (10), то $f(z)\in A$.

Лемма доказана.

**Теорема 1.** Погрешность наилучшего метода приближения значений $f(z_0)$ по значениям $f(z_1),\dots,f(z_n)$ $(f(z)\in B^1(D))$ вычисляется по формуле

$$r(z_0,z_1,\dots,z_n)=|B(z_0)|, \tag{11}$$

а экстремальная функция $f^*(z)$ задачи (3) имеет вид

$$f^*(z)=e^{i\delta}B(z), \tag{12}$$

где $\delta\in R$ $(\delta-$ постоянное число).

*Доказательство.* В самом деле (см. (9), (10))

$$r(z_0,z_1,\dots,z_n)=\sup_{f(z)\in A}|f(z_0)|=|B(z_0)|\sup_{h(z)\in B^1(D)}|h(z_0)|=|B(z_0)|.$$

Понятно экстремальной функцией задачи

$$\sup_{h(z)\in B^1(D)}|h(z_0)|$$

является функция $e^{i\delta}$ $(\delta\in R)$. Значит, экстремальная функция задачи (3) имеет вид (12).

### 3. Линейный наилучший метод приближения

**Теорема 2.** Линейный наилучший метод приближения $\sum_{k=1}^{n}c_kf(z_k)$ единственен, а его коэффициенты вычисляются по формуле

$$c_k=\frac{4y_0y_kB(z_0)}{(z_k-z_0)(z_k-\overline{z_0})\prod_{\substack{l=1\\l\neq k}}^{n}\dfrac{z_k-z_l}{z_k-\overline{z_l}}}, \tag{13}$$

где $k=1,\dots,n$.

*Доказательство*. Рассмотрим следующий интеграл

$$J=\frac{y_0}{\pi}\int_{-\infty}^{+\infty}\frac{B(z_0)\,f(x)}{B(x)(x-z_0)(x-\overline{z_0})}dx, \tag{14}$$

где $f(z)\in B^1(D)$ (напомним $B(z)$ −конечное произведение Бляшке; см. (8)). Сначала убедимся в том, что несобственный интеграл сходится. Действительно. Так как

$$\lim_{z\to\infty}\frac{|z-z_0|}{|z|}=\lim_{z\to\infty}\left|1-\frac{z_0}{z}\right|=1,$$

то

$$\frac{|z-z_0|}{|z|}>\frac{1}{2}$$

для всех z, удовлетворяющих условию $|z|>\delta$ $(\delta>0)$ и, значит,

$$\frac{1}{|z-z_0|^2}<\frac{4}{|z|^2}. \tag{15}$$

Так как

$$\left|\frac{f(x)}{B(x)(x-z_0)(x-\overline{z_0})}\right|\le\frac{4}{|x|^2},$$

$(x\in R)$, то отсюда и вытекает сходимость интеграла (14). После этого замечания, оценим интеграл J по модулю сверху. Имеем (см. (14), (7))

$$|J|\le\frac{y_0|B(z_0)|}{\pi}\int_{-\infty}^{+\infty}\frac{|f(x)|dx}{|B(x)||x-z_0||x-\overline{z_0}|}\le\frac{y_0|B(z_0)|}{\pi}\int_{-\infty}^{+\infty}\frac{dx}{|x-z_0|^2}=|B(z_0)|. \tag{16}$$

Вычислим интеграл J. Как известно, для того, чтобы найти несобственный интеграл (при помощи вычетов) необходимо убедиться в том, что

$$\lim_{R\to\infty}\int_{\gamma(R)} f(z)dz = 0, \tag{17}$$

где $\gamma(R)-$ полуокружность радиуса R (R>0) с центром в начале координат, лежащая в верхней полуплоскости. В самом деле. Так как (см. (8))

$$\lim_{z\to\infty} B(z) = 1,$$

то

$$\frac{1}{|B(z)|} < 2 \tag{18}$$

для всех z, удовлетворяющих условию $|z| > \delta \quad (\delta > 0)$. Далее, так как

$$\lim_{z\to\infty}\frac{(z-z_0)(z-\overline{z_0})}{z^2} = 1,$$

то существует число $\delta_1 \ (\delta_1 > 0)$ такое, что

$$\frac{1}{|z-z_0||z-\overline{z_0}|} < \frac{2}{|z|^2}$$

для всех z, удовлетворяющих условию $|z| > \delta_1$. Теперь убедимся в справедливости условия (17). Имеем (см. (15), (18))

$$\left|\int_{\gamma(R)}\frac{B(z_0)f(z)dz}{B(z)(z-z_0)(z-\overline{z_0})}\right| \le |B(z_0)|\int_{\gamma(R)}\frac{1}{|B(z)|}\frac{|dz|}{|z-z_0||z-\overline{z_0}|}$$

$$\le \frac{4|B(z_0)|}{R^2}\int_{\gamma(R)}|dz| = \frac{4\pi|B(z_0)|}{R}.$$

Отсюда и вытекает соотношение (17). После этого рассмотрим функцию

$$\Phi(z) = \frac{y_0 B(z_0)f(z)}{\pi B(z)(z-z_0)(z-\overline{z_0})}. \tag{19}$$

Функция $\Phi(z)$ имеет в верхней полуплоскости особые точки $z_0, z_1, \dots, z_n$ (простые полюсы). Подсчитаем в них вычеты:

$$\operatorname*{res}_{z=z_0}\Phi(z) = \lim_{z\to z_0}(z-z_0)\Phi(z) = \lim_{z\to z_0}\frac{y_0 B(z_0)f(z)}{\pi B(z)(z-\overline{z_0})} = \frac{f(z_0)}{2\pi i}, \tag{20}$$

$$\operatorname{res}_{z=z_k}\Phi(z) = \lim_{z\to z_k}(z-z_k)\frac{y_0 B(z_0)f(z)}{\pi B(z)(z-z_0)(z-\overline{z_0})} = \lim_{z\to z_k}\frac{(z-\overline{z_k})f(z)}{(z-z_0)(z-\overline{z_0})\prod_{\substack{l=1\\l\neq k}}^{n}\frac{z-z_k}{z-\overline{z_k}}} =$$

$$-\frac{4y_0 y_k B(z_0)}{2\pi i(z_k-z_0)(z_k-\overline{z_0})\prod_{\substack{l=1\\l\neq k}}^{n}\frac{z_k-z_l}{z_k-\overline{z_l}}}f(z_k). \tag{21}$$

Отсюда (см. (19), (20), (21))

$$J = f(z_0) - \sum_{k=1}^{n}\frac{4y_0 y_k B(z_0)}{(z_k-z_0)(z_k-\overline{z_0})\prod_{\substack{l=1\\l\neq k}}^{n}\frac{z_k-z_l}{z_k-\overline{z_l}}}f(z_k).$$

Учитывая неравенство (16), получим (см. теорему 1)

$$\left|f(z_0) - \sum_{k=1}^{n}\frac{4y_0 y_k B(z_0)}{(z_k-z_0)(z_k-\overline{z_0})\prod_{\substack{l=1\\l\neq k}}^{n}\frac{z_k-z_l}{z_k-\overline{z_l}}}f(z_k)\right| \le r(z_0, z_1, .., z_n)$$

для всех функций $f(z) \in B^1(D)$. Следовательно, числа

$$c_k = \frac{4y_0 y_k B(z_0)}{(z_k - z_0)(z_k - \overline{z_0}) \prod_{\substack{l=1 \\ l \neq k}}^{n} \frac{z_k - z_l}{z_k - \overline{z_l}}}$$

являются коэффициентами линейного наилучшего метода приближения. Единственность линейного наилучшего метода вытекает из работы [6].

**4. Частные случаи**

Рассмотрим два примера.

Пример 1. Разберем случай, когда $z_0 = iy_0, z_1 = iy_1$ $(y_0 > 0, y_1 > 0; y_0 \neq y_1)$.

Найдем $r(z_0, z_1)$ и коэффициент $c_1$.

В этом случае (см. (8))

$$B(z) = \frac{z - iy_1}{z + iy_1}. \tag{22}$$

Из формулы (11) получаем

$$r(z_0, z_1) = |B(z_0)| = |B(iy_0)| = \left|\frac{y_0 - y_1}{y_0 + y_1}\right| = \frac{|y_0 - y_1|}{y_0 + y_1},$$

а из формулы (13) вытекает (см. (22))

$$c_1 = \frac{4y_0 y_1}{(iy_1 - iy_0)(iy_1 + iy_0)} \frac{y_0 - y_1}{y_0 + y_1} = \frac{4y_0 y_1}{(y_1 + y_0)^2}.$$

Пример 2. Рассмотрим случай, когда $z_0 = iy_0, z_1 = x_1 + iy_1, z_2 = -x_1 + iy_1$ (здесь $y_0 > 0, y_1 > 0$ ). Найдем $r(z_0, z_1, z_2)$, а также коэффициенты $c_1$ и $c_2$.

Получим (см. (8))

$$B(z) = \frac{z - z_1}{z - \overline{z_1}} \frac{z - z_2}{z - \overline{z_2}},$$

а погрешность наилучшего метода приближения равна (см. (11))

$$r(z_0, z_1, z_2) = |B(z_0)| = |B(iy_0)| = \left|\frac{iy_0 - x_1 - iy_1}{iy_0 - x_1 + iy_1} \frac{iy_0 + x_1 - iy_1}{iy_0 + x_1 + iy_1}\right| = \frac{x_1^2 + (y_0 - y_1)^2}{x_1^2 + (y_0 + y_1)^2}.$$

Вычислим теперь коэффициенты $c_1, c_2$. Имеем (см. (13))

$$c_1 = 4y_0 y_1 \frac{x_1^2 + (y_0 - y_1)^2}{x_1^2 + (y_0 + y_1)^2} \frac{1}{(x_1 + iy_1 - iy_0)(x_1 + iy_1 + iy_0)} \frac{x_1 + iy_1 + x_1 + iy_1}{x_1 + iy_1 + x_1 - iy_1}$$

$$= \frac{4y_0 y_1}{x_1} \frac{x_1^2 + (y_0 - y_1)^2}{x_1^2 + (y_0 + y_1)^2} \frac{x_1 + iy_1}{(x_1 + iy_1)^2 + y_0^2};$$

$$c_2 = 4y_0 y_1 \frac{x_1^2 + (y_0 - y_1)^2}{x_1^2 + (y_0 + y_1)^2} \frac{1}{(-x_1 + iy_1 - iy_0)(-x_1 + iy_1 + iy_0)} \frac{-x_1 + iy_1 - x_1 + iy_1}{-x_1 + iy_1 - x_1 - iy_1}$$

$$= \frac{4y_0 y_1}{x_1} \frac{x_1^2 + (y_0 - y_1)^2}{x_1^2 + (y_0 + y_1)^2} \frac{x_1 - iy_1}{(x_1 - iy_1)^2 + y_0^2}.$$

***Список литературы***

1. *Осипенко К.Ю.* Наилучшее приближение аналитических функций по информации об их значениях в конечном числе точек. // Математические заметки. 1976. Т. 19. № 1. с. 29-40.

2. *Micchelli C., Rivlin T.,* 1982, «Lectures on optimal recovery- C. Micchelli, T. Rivlin Lect. Notes». v. 9, pp. 21-93.

3. *Овчинцев М.П., Гусакова Е.М.* Вычисление коэффициентов линейного наилучшего метода восстановления ограниченных аналитических функций в круге. // Вестник МГСУ. 2014. № 4. с. 44-50.

4. *Гофман К.* Банаховы пространства аналитических функций. Москва. Издательство иностранной литературы, 1963. – 311 с.

5. *Кусис П.* Введение в теорию пространств $H^p$. – Москва «Мир». 1984. – 364 с.

6. *Овчинцев М.П.,* 2015, «Конформная инвариантность задач оптимального восстановления производных от ограниченных аналитических функций». Строительство: наука и образование, № 2, с. 1.

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ (05.13.11)

*05.13.11*

**А.П. Даденкова**

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
электротехнический факультет,
кафедра автоматики и телемеханики,
Пермь, dadenkovaA@yandex.ru

# ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМА СНИЖЕНИЯ НАГРУЗКИ И ПОВЫШЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ ПОИСКА ДАННЫХ В DHT-СЕТИ

*В работе выполняется анализ влияния параметров модели протокола DHT на сетевую нагрузку, и предлагаются способы ее снижения с повышением вероятности нахождения данных в файлообменной сети.*

Ключевые слова: *имитационное моделирование, протоколы поиска данных, децентрализованные файлообменные сети, AnyLogic, DHT, P2P.*

Современный этап развития инфокоммуникационных сетей тесно связан с применением распределенных технологий (P2P). В связи с широким распространением децентрализованных технологий возрастает актуальность подробного исследования алгоритмов и протоколов, и предложению новых рекомендаций по увеличению эффективности их функционирования. В частности, одним из наиболее распространенных протоколов децентрализованного хранения и поиска данных является протокол DHT [1]. Примером использования данного протокола могут служить такие сети, как BitTorrent, I2P, ONEnet и другие.

Актуальность исследования протокола DHT обуславливается недостаточностью исследований влияния параметров сети на результативность поиска данных, на общесетевую нагрузку и возможность адаптивной работы протокола.

Особенность протокола заключается в логическом распределении узлов в сети, каждый из которых обладает данными и может свободно делиться ими с другими пользователями сети. При этом все взаимодействие узлов сети, в том числе и поиск данных, происходит без участия сервера. Данный способ взаимодействия становится возможным благодаря идентификаторам: каждый узел сети и каждый блок данных имеют свои уникальные идентификаторы (hashID и infoHash, соответственно) из общего 160-битного пространства, генерируемые при подключении к сети. Для начала взаимодействия узлов в сети сервер заполняет DHT-таблицы пользователей информацией о других участниках обмена определенным числом v записей.

Данным в сети присваивается уникальный идентификатор, наиболее близкий к идентификатору источника этих данных. Далее из таблицы узла выбираются m представителей, которые будут знать о наличии у него данной информации. Таким образом, при необходимости поиска, узел начинает опрашивать из своей таблицы не все множество узлов, а только корзину k наиболее близких к идентификатору данных. После того, как узлы из таблицы передали данные о своих корзинах (наиболее близких узлах к искомым данным), узел добавляет их в свою таблицу, сортирует ее и снова опрашивает уже измененную корзину. Данный процесс длится, пока не закончится нормативная глубина поиска q, то есть количество итеративных обращений к DHT-таблице.

Для подробного изучения особенностей протокола разработана имитационная модель в системе объектного дискретно-событийного моделирования AnyLogic [2]. Среда позволяет

учитывать все параметры алгоритма поиска для корректного моделирования, что позволит провести необходимые исследования и сформировать рекомендации по выбору параметров DHT-сети.

Настоящая работа посвящена разработке и исследованию нового алгоритма поиска данных в сети. Алгоритм направлен на повышение вероятности нахождения данных наряду со снижением избыточной сетевой нагрузки при поиске данных. В основу алгоритма положена совокупность ранее проанализированных в отдельности способов:

1. Остановка поиска при нахождении данных (модификация 1);
2. Остановка поиска при неизменности корзины DHT-таблицы узла (модификация 2);
3. Остановка поиска при достижении заданной глубины поиска (базовая модель).

Для определения эффективности вносимых изменений в модель используются две важнейшие характеристики: вероятность нахождения данных и нагрузка на сеть. Вероятность нахождения данных (результативность) определяется отношением успешного числа исходов поиска данных к общему числу прогонов имитационной модели. Нагрузка на сеть определяется двумя способами:

1. Количеством задействованных в поиске узлов по числу итераций:

$$U = q \cdot (k + k^2) \quad (1)$$

2. Количеством уникальных узлов, которые были опрошены.

Для получения корректных оценок значений параметров исследование выполняется несколько раз с большим числом прогонов равным 1000 и вычисляются средние значения характеристик.

Модель исследуется для принятых [3] типовых значений параметров сети:

- общее количество узлов в сети – 50000;
- начальное количество записей в DHT-таблице узлов – 1000;
- размер корзины – 8;
- глубина поиска – 8;
- количество циклов прогона модели – 1000;

Таким образом, нагрузка, рассчитанная первым способом (количество итераций поиска данных) в базовой модели составляет при поиске данных одним узлом – 576, на 1000 циклов повтора модели - 576000. Второй метод расчета нагрузки при прочих равных условиях показывает нагрузку опроса 23308 уникальных узлов на 1000 циклов поиска данных.

Аналогичным образом рассчитывается итоговая сетевая нагрузка при использовании методов снижения нагрузки (модификация 1, модификация 2, модификация 1+2). График изменения нагрузки сети, рассчитанный первым способом, при глубине поиска 5 и 8 для различных модификаций модели показан на рисунке 1. Аналогичный график изменения нагрузки сети, рассчитанный вторым способом, при глубине поиска 5 и 8 для различных модификаций модели показан на рисунке 2. При этом базовая модель означает стандартную работу протокола, модификация 1 подразумевает остановку поиска при успешном нахождении данных на любом этапе поиска, модификация 2 – остановка поиска при неизменности корзины между итерациями, модификация 1+2 –использование двух модификаций вместе.

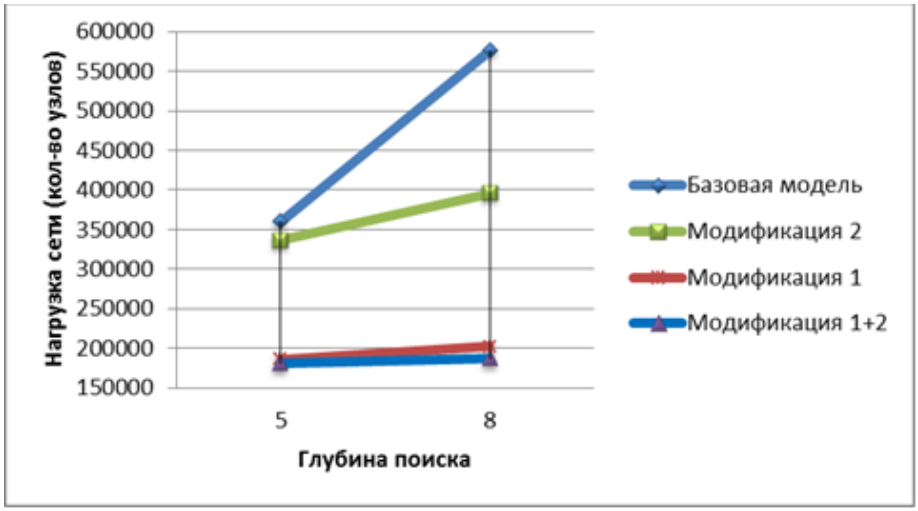



Рис. 1- График зависимости нагрузки в сети, рассчитанный первым способом, от используемого метода при разных значениях глубины поиска

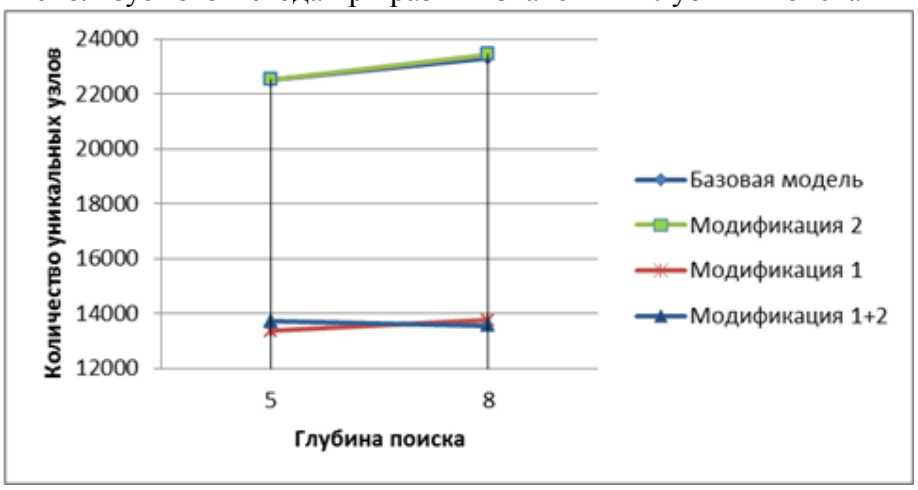



Рис. 2- График зависимости нагрузки в сети, рассчитанный вторым способом, от используемого метода при разных значениях глубины поиска

Так как используемые методы сокращения нагрузки не влияют на результативность поиска, значения вероятности нахождения данных в сети для всех графиков одинаковы – 92,85% при глубине поиска 5 и 93,5% при глубине 8.

Как видно из первого графика, при глубине поиска 5 разница между нагрузкой базовой модели и модификацией 2 составляет 6,6%, а при глубине поиска 8 разница возрастает до 31,3%, то есть возрастает на 24,7%. При этом разница в количестве уникальных записей мала и составляет 0,108% при глубине поиска 5 и 0,56% при глубине 8. Таким образом, модификация остановки поиска по неизменности корзины позволяет ускорить поиск, в сравнении с базовой моделью и сократить нагрузку в сети до 30%.

При переходе от базовой модели к модели с модификацией 1 получено снижение количества задействованных узлов (нагрузка, рассчитанная первым способом) на 48,2% при глубине поиска 5 и на 64,9% при глубине поиска 8. Если рассмотреть количество уникальных узлов, задействованных в поиске, то при глубине поиска 5 снижение составит 40,6%, при глубине поиска 8 – 41%. Сохранение неизменного уровня результативности при значительном (>40%) сокращении сетевой нагрузки свидетельствует о существенной избыточности нагрузки базовой модели алгоритма поиска данных.

При использовании совместной модификации (нового алгоритма) получено снижение общесетевой нагрузки по первому способу до 49,8% при глубине поиска 5 и до 67,5% при глубине поиска 8. Снижение нагрузки по второму способу расчета составляет 39,1% при глубине поиска 5 и на 41,9% при глубине 8. Таким образом, комбинирование модификаций позволяет получить максимальное снижение нагрузки (до 70%) без уменьшения результативности поиска данных.

Предложенная модификация алгоритма позволяет сократить избыточность сетевой нагрузки без влияния на результативность поиска. Это достигается благодаря остановке поиска адаптивно к наступлению хотя бы одного события: достижение глубины поиска, нахождение источника данных, неизменность корзины узлов. Путем изменения фиксированного значения глубины поиска для совместной модификации есть возможность увеличить результативность поиска на итерациях после 5. При этом останавливая поиск на конечном значении глубины поиска, нагрузка на узлы оказывается бесполезна – данные не найдены даже в результате большого приложения силы. Поэтому важно оценить, насколько имеет смысл в таком случае продолжать поиск и может ли он повлиять на эффективность поиска данных.

***Список литературы***

1. *DHT Protocol* // BitTorrent.org URL: http://www.bittorrent.org/beps/bep_0005.html (дата обращения: 8.12.18)
2. *Даденкова А.П.* Построение модели файлообменной сети с протоколом DHT//Научно-технический вестник Поволжья. – 2017. -№6. – С. 183-186
3. *Даденкова А.П.* Исследование характеристик модели файлообменной сети с протоколом DHT// Научно-технический вестник Поволжья. – 2018. -№8. –С. 72-75

*05.13.11*

**Т.А. Деменкова канд. техн. наук, А.И. Александров, А.О. Индришенок**

МИРЭА - Российский технологический университет (РТУ МИРЭА),
Москва, demenkova@mirea.ru,vox613@gmail.com, indrishenoksasha@mail.ru

# ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ В ЗАДАЧЕ АППАРАТНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ АЛГОРИТМОВ

*В работе проведено исследование вопросов аппаратной реализации алгоритмов на современной элементной базе. Описываются возможности различных платформ при создании программного обеспечения на основе фильтра Калмана. Описан общий алгоритм программы и алгоритм расчета ковариации шума измерения для задачи фильтрации одномерного потока данных с шумящего датчика. Показана возможность применения предложенных решений для реализации алгоритмов в системах, требующих повышенных требований по быстродействию.*

Ключевые слова: *аппаратная реализация алгоритмов, фильтр Калмана, программное обеспечение, языки программирования.*

Целью работы является исследование эффективности применения программно-аппаратного и программного методов разработки функционального узла на примере реализации фильтра Калмана для задачи фильтрации одномерного потока данных с шумящего датчика. Для достижения сформулированной цели были поставлены задачи анализа алгоритма работы фильтра Калмана; разработки математической модели решаемой задачи; выбора и обоснования аппаратных и программных средств; исследования методов реализации алгоритмов на микроконтроллере.

Фильтр Калмана – последовательный рекурсивный алгоритм, использующий принятую модель динамической системы для получения оценки, которая может быть существенно скорректирована в результате анализа каждой новой выборки измерений во временной последовательности. Для управления динамической системой необходимо полностью знать ее фазовое состояние в каждый момент времени. Но измерение всех переменных, которыми необходимо управлять, не всегда возможно, и в этих случаях фильтр Калмана является тем средством, которое позволяет восстановить недостающую информацию посредством имеющихся неточных измерений [1,2].

Алгоритм состоит из двух повторяющихся этапов: предсказание и корректировка. В основе первого этапа работы фильтра лежит некая модель анализируемого процесса. По ней строится предсказание состояния системы на один шаг вперед с учетом неточности их измерения. Второй этап работы фильтра начинается с измерения фактического состояния системы. Здесь фактически измеренное значение состояние системы указывается с учетом действительного состояния системы и погрешности измерений.

Рассмотрим вариант решения поставленной задачи при помощи аппаратных средств на программируемых логических интегральных схемах (ПЛИС). Аппаратная реализация алгоритма делится на несколько этапов: анализ элементной базы, оценка сложности алгоритма, выбор кристалла; выбор среды автоматизированного проектирования (САПР) и языка описания аппаратуры; непосредственная реализация разработанного алгоритма; тестирование, отладка, анализ полученных результатов. В качестве подходящего по параметрам был выбран кристалл серии Cyclone IV E. Перед началом программного описания алгоритма работы необходимо определить структуру устройства. Непосредственно алгоритм работы состоит из трех различных алгоритмов, взаимодействующих между собой. Данные алгоритмы работают независимо друг от друга, обмениваясь данными через буферы – регистры. Данное решение позволяет синхронизировать и запустить одновременно

несколько процессов и обеспечить их независимость друг от друга без использования схемы синхронизации, что облегчает процесс проектирования и снижает затраты ресурсов ПЛИС [3].

Вся структура разделяется на 7 основных модулей, которые позволяют реализовать алгоритм, выполняющий получение, обработку, преобразование и отправку данных. Например, модуль I2C реализует генерацию конфигурационного слова, состоящего из 16 бит; формирование команды для запуска преобразования; отправку команды и конфигурации; ожидание результата, отправку запроса на чтение данных с последующим занесением в регистр-буфер; приход в начало цикла.

Главной задачей алгоритма является фильтрация одномерного потока данных с шумящего датчика. В качестве шумящего датчика используем звуковой микрофон. Программная реализация алгоритма делится на несколько этапов [4,5]:

- подбор аппаратных комплектующих;
- выбор среды разработки и языка программирования;
- непосредственная реализация разработанного алгоритма;
- тестирование и отладка.

Согласно поставленной задаче, необходимо фильтровать одномерный поток данных с шумящего датчика, в данном случае микрофона. Микрофон подключен к аналоговому входу микроконтроллера, с АЦП получаем значения напряжения с выхода усилителя микрофона. Эти показания являются зашумленными данными, которые поступают на вход фильтрующей функции. Программная разработка алгоритма фильтра Калмана сводится к реализации подготовленных уравнений. Работа алгоритма делится на следующие этапы:

- инициализация портов ввода/вывода и необходимой периферии;
- расчет ковариации шума измерения в конкретных условиях;
- считывание показаний микрофона с АЦП;
- фильтрация входных данных и отправка их в последовательный порт.

На рис.1 представлен общий алгоритм программы. Ее выполнение начинается с инициализации необходимой периферии, затем осуществляется расчет ковариации шума измерения в конкретных условиях нахождения микрофона. После этого начинается непосредственное выполнение основного цикла программы, в котором считываются данные с АЦП, передаются в функцию фильтрации, форматируются специальным образом, а затем передаются по USB-UART соединению на компьютер.

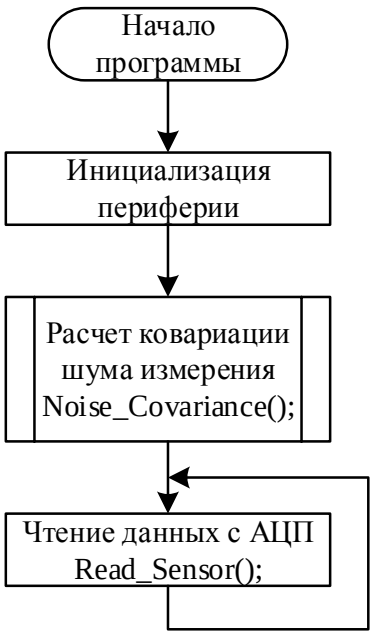



Рис. 1. – Общий алгоритм работы программы

На рис.2 представлен алгоритм функции расчета ковариации шума измерения. Данная функция вызывается один раз при запуске программы и осуществляет расчет коэффициента R по заданной формуле. Данный параметр позволяет оценить ошибку измерения датчика, а также уровень окружающего шума, что впоследствии используется для отделения полезного сигнала от фонового шума. Данная функция с периодичностью в 100 миллисекунд считывает значение с АЦП и записывает его в массив. Данная процедура длится до тех пор, пока не истечет время для выборки значений, затем осуществляется расчет.

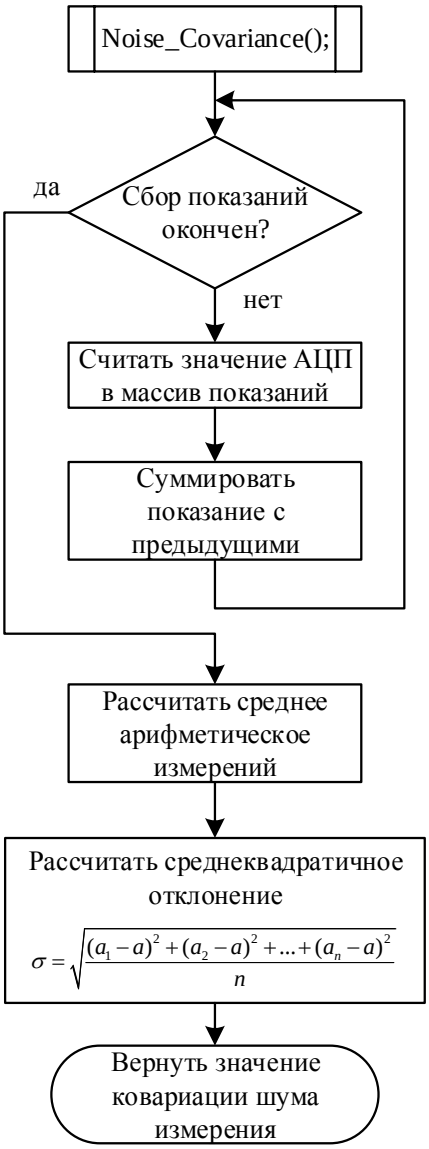



Рис. 2. – Алгоритм расчета ковариации шума измерения

В начале работы программы осуществляется расчет ковариации шума измерения. Это необходимо чтобы получить числовое значение коэффициента R, который характеризует шумовую обстановку вокруг. Данный коэффициент позволяет задать порог истинности сигнала, отделяя фоновый шум от действительного изменения.

Результатом реализации разработанной математической модели процесса стало цифровое устройство и программное обеспечение, реализующее алгоритм фильтрации Калмана. Несмотря на неполное представление данных для математической модели, результаты отладки показали, что данный алгоритм очищает входной сигнал от высокочастотного шума и резких пиков. Разработанный алгоритм расчета коэффициента ковариации шума измерения позволяет использовать данное программное обеспечение в обстановке с разным шумовым давлением, а использование языка программирования C++ обеспечивает высокий уровень

кроссплатформенности. Но следует заметить, что необходимо осуществить настройку коэффициентов относительно конкретной задачи. Таким образом, разработанная программа является рабочим алгоритмом для реализации фильтра Калмана.

*Исследования проводились в рамках государственного задания в сфере научной деятельности (проект № 8.5098.2017/8.9).*

***Список литературы***

1. *Комиссаров А.А., Курочкин В.В.* Использование фильтра Калмана для фильтрации значений, получаемых с датчиков. [Электронный ресурс]. — URL: https://sibac.info/archive/technic/5(52).pdf (дата обращения: 24.03.2019).
2. *Шахтарин Б.И.* Фильтры Винера и Калмана. — М.: Гелиос АРВ. 2008. — 408 с.
3. Сравнение основных языков описания аппаратуры. [Электронный ресурс]. — URL: https://parallel.ru/fpga/hdl.html (дата обращения 20.04.19).
4. *Деменкова Т.А., Александров А.И.* Аппаратно-программный комплекс мониторинга метеоусловий в системах умного дома // Радиопромышленность. 2018. № 2. С. 80–89. DOI 10.21778/2413-9599-2018-2-80-89.
5. *Деменкова Т.А., Индришенок А.О.* Интеллектуальная система управления зданием нулевого потребления. // Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения. – 2018. – Т. 18. – №4. – С.971-975.

*05.13.11*

**Т.А. Деменкова канд. техн. наук, Г.С. Кожевников,**
**В.С. Томашевская канд. техн. наук**

МИРЭА - Российский технологический университет (РТУ МИРЭА),
Москва, demenkova@mirea.ru, kgs33@rambler.ru, tomashevskaya@mirea.ru

# АНАЛИЗ МЕХАНИЗМОВ АДАПТАЦИИ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ИНТЕРФЕЙСА В КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМАХ

*В работе рассматривается проблема внедрения механизмов адаптации для построения продуктивного интерфейса между человеком и компьютерной системой для задач программной реализации дистанционного обучения. Рассмотрено понятие адаптации и дана его интерпретация относительно системы "человек-машина", а также структура адаптивной человеко-машинной системы. Предложен обобщенный алгоритм функционирования адаптивного пользовательского интерфейса.*

Ключевые слова: *программные средства дистанционного обучения, компьютерные системы, пользовательский интерфейс, механизмы адаптации.*

Несмотря на высокий уровень развития информационных технологий, они все еще не обеспечивают достаточно эффективного взаимодействия между человеком и компьютером. Реализация адаптационных механизмов в процессе взаимодействия человека с компьютером, на сегодняшний день, становится необходимостью, причём адаптационные механизмы должны быть взаимными: как со стороны техники, так и со стороны человека. Структура системы взаимодействия человека и компьютера (СЧК) включает в себя естественную подсистему – человек, искусственную – компьютер, находящихся во взаимодействии с внешней средой [1]. Взаимодействие между человеком и машиной в этой системе происходит посредством специализированного интерфейса, а факторы влияния внешней среды определяются расположением рабочего места. В процессе работы СЧК можно выделить два основных вида взаимодействия: взаимодействие с внешней средой и взаимодействие между подсистемами. Данные процессы сопровождают случайные факторы, что приводит к необходимости учета неопределенности в работе системы в целом. Увеличивая продуктивность работы СЧК, необходимо устранить или минимизировать влияние неопределенных внешних факторов, на которые система не имеет жесткого алгоритма реагирования, что позволит сократить число возможных исключительных ситуаций (когда система становится неработоспособной).

Минимизация влияния неблагоприятных факторов внешней среды на работу человека и компьютера решается в процессе проектирования системы. В процессе разработки интерфейса системы важно учитывать персональные особенности человека, работающего с компьютерной системой. Для решения этой задачи разрабатываемая компьютерная система производит тестирование пользователя, определяя его отношение к определённому психотипу, после чего определяет соответствующую программу взаимодействия с человеком [2]. Процедуры минимизации влияния внешней среды и определения психотипа пользователя можно назвать адаптацией системы «человек-компьютер» к условиям окружающей среды и особенностям пользователя. На всем жизненном цикле функционирования СЧК, пока пользователь обучается, его поведение отличается нелинейностью, что влияет на адаптационные процессы самого пользователя и должно учитываться компьютерной системой. Рассмотрим схему взаимодействия между человеком компьютером (рис. 1).

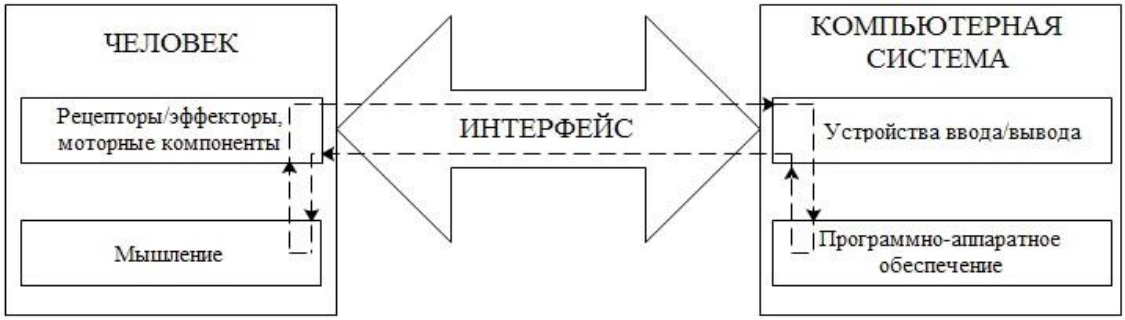



Рис. 1. - Процесс взаимодействия между человеком и компьютерной системой

На рис. 2 пунктирной линией выделен путь обмена информацией между подсистемами посредством пользовательского интерфейса (ПИ). В большинстве случаев взаимодействие между человеком и техникой происходит на «физическом уровне» (рецепторы/эффекторы, устройства ввода-вывода), в то время как «управляющий уровень» (мышление, программное обеспечение) управляет данным взаимодействием. Создание качественного ПИ основывается на интересах пользователя, предполагает как можно более раннее проектирование ПИ с последующим его развитием в процессе разработки самого программного продукта. Сначала правила представления данных, а затем работа с данными. Пользователь должен чувствовать, что он управляет программным продуктом.

Процесс адаптации можно описать следующим образом:

$$Q_{n+1} = A[Q_n, x_i], x_i \in X$$

где $Q_n$ – текущее состояние интерфейса; $Q_{n+1}$ – следующее состояние интерфейса; А– оператор перехода или алгоритм адаптации; Х- множество сигналов интерфейса.

Внедрение механизмов адаптации в процессы взаимодействия ведёт к изменению степени взаимной согласованности человека и машины. После каждой активизации адаптационных алгоритмов подсистемы переходят на новые уровни адаптированности по отношению друг к другу.

На этапе исследования будем считать, что адаптированность всей системы соответствует максимальному уровню при достижении максимальных уровней адаптированности подсистем. Когда каждая из подсистем достигает максимально возможного уровня адаптированности, тогда и вся система достигает максимального уровня адаптированности. Адаптация человека к машине может реализовываться следующими методами: обучение пользователя; настройка пользователем параметров интерфейса: цветовая схема, звуковое оформление, тип ввода команд, тип диалога. В процессе функционирования СЧК необходимо фиксировать параметры взаимодействия, например, психофизиологическое состояние пользователя, степень его подготовленности и обученности, учет особенностей принятия решений, время реакции при различных моделях интерфейса, последовательность выполнения действий [3]. Адаптивный интерфейс со стороны машины должен автоматически настраивать параметры отображения информации персонально для каждого пользователя. При проектировании алгоритмов адаптации следует помнить, что согласно теории неспецифических реакций использование более мягких физиологических влияний, чем стрессовые, способно значительно повысить адаптационные возможности организма. Процесс адаптации должен протекать постепенно, в первую очередь, ориентируясь на возможности человека. Итак, в СЧК адаптация одной подсистемы должна происходить в строгой зависимости от параметров другой, при этом результаты адаптации должны фиксироваться и делаться выводы относительно следующих шагов.

В процессе адаптации каждый последующий шаг базируется на предшествующем. Это можно назвать саморегуляцией системы, которая невозможна без использования механизма обратной связи:

$$y_k(n) = A\left[x_j'(n)\right];$$
$$x_j'(n) = x_j(n) + B[y_k(n)],$$

где $x_j(n)$ - входной сигнал; $x'_j(n)$ - внутренний сигнал; $y_k(n)$ - выходной сигнал; A, B-операторы. Оператор A представляет собой весовой коэффициент, который отвечает за активацию выходного сигнала, а оператор B – это результат работы системы в целом с учетом выходного сигнала или без него (при $y_k(n) = 0$).

На рис.2 представлен обобщенный алгоритм функционирования адаптивного пользовательского интерфейса.

Рис. 2. - Обобщенный алгоритм работы адаптивного ПИ

Проведенные исследования позволяют выделить два основных вида адаптации. Поведенческо-параметрическая адаптация подразумевает изменение «управляющего уровня» и со стороны машины проявляется в изменение способа предоставления информации согласно требованиям человека. Со стороны человека – это изучение работы системы и использование оптимальных функций для решения задач. Структурно-морфологическая адаптация подразумевает изменение «физического уровня». Со стороны компьютерной системы может проявляться как в изменении алгоритмов работы, путем их оптимизации, так и в синтезе новых алгоритмов, либо же за счёт интеграции новых средств взаимодействия, например, более чувствительных систем ввода-вывода, подключением дополнительных аппаратных средств.

*Исследования проводились в рамках государственного задания в сфере научной деятельности (проект № 8.5098.2017/8.9).*

***Список литературы***

1. *Деменкова Т.А.* Адаптивная система электронного обучения для подготовки магистров // Современное образование: проблемы взаимосвязи образовательных и профессиональных стандартов. Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та систем управления и радиоэлектроники. 2016. - С.123-124.

2. *Ходаков Д.В.* Адаптация в человеко-машинном взаимодействии // Инженерные науки. Вестник ХНТУ №2(38), 2010. – С. 371-379.

3. *Деменкова Т.А., Игнатьев Ф.А., Кожевников Г.С.* Система дистанционного обучения с элементами психологического тестирования. Журнал «Современные информационные технологии и ИТ-образование», Т.1 (№11), 2015. –М.: Фонд содействия развитию интернет-медиа, ИТ-образования, человеческого потенциала «Лига интернет-медиа», 2015. С.118-123.

4. *Шнейдер Л.Б., Зябрева В.С.* Информационно-компьютерные технологии и методы активного обучения. – М.: Московский психолого-социальный университет, 2018 г. – 64 с.

*05.13.11*

**А.М. Семенов канд. техн. наук, Л.Ф. Тагирова канд. педагог. наук,**
**В.К. Тагиров канд. педагог. наук**

Оренбургский государственный университет,
факультет математики и информационных технологий, кафедра ПОВТАС,
Оренбургский филиал Поволжского государственный университета телекоммуникаций и информатики,
кафедра инновационных технологий телекоммуникаций

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЧЕТКИХ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ ПРИ РАЗРАБОТКЕ АДАПТИВНЫХ ЧЕЛОВЕКО-МАШИННЫХ ИНТЕРФЕЙСОВ

*В статье описана методика создания адаптивного интерфейса прикладной программы с применением элементов искусственного интеллекта. Предлагается использование экспертной системы, работа которой основана на анализе характеристик пользователя и подбора наиболее подходящего интерфейса.*

Ключевые слова: *адаптивный интерфейс, искусственный интеллект, экспертная система.*

Отличительной особенностью современных прикладных программ является число выполняемых ими функций и, как результат, наличие сложных меню. При работе с такими приложениями пользователям с разным базовым уровнем подготовки достаточно сложно адаптироваться к работе с системой без дополнительной помощи. Это требует новых подходов к разработке человеко-машинного интерфейса, а именно разработки адаптивных пользовательских интерфейсов.

Программные системы, поддерживающие гибкий адаптивный интерфейс смогут подстраиваться под конкретного пользователя, что обеспечит удобное взаимодействие пользователя с приложением и позволит сократить число ошибочных действий, возникающих при работе специалистов.

Анализ работ современных авторов [1-6], занимающихся данной проблемой позволил выявить недостатки, которыми на сегодняшний день страдает большинство человеко-машинных интерфейсов. К ним относится узкая предметная направленность; несопоставимость адаптационных критериев, отбираемых разработчиками в основном на интуитивном уровне; а также недостаточный учет гуманитарных аспектов человеко-машинного взаимодействия современных систем.

В рамках проводимого исследовалось решение проблемы по созданию адаптивного интерфейса было реализовано для автоматизации работы сотрудника налоговой службы при работе с данными физических и юридических лиц.

В качестве характеристик для подбора интерфейса использовались профессиональные качества: компьютерная грамотность, системный опыт, опыт работы с подобными программами, машинопись. Также учитывались психофизиологические особенности: мышление, память, концентрация внимания, а также эмоциональное состояние. Каждое из перечисленных качеств может быть сформировано на одном из трех уровней: высокий уровень, средний и низкий.

Пользователям, в зависимости от сформированности перечисленных характеристик может быть предоставлен один из пяти шаблонов интерфейсов: “Упрощенный”, “Минимальный”, “Базовый”, “Расширенный”, “Сложный” [1].

В качестве инструмента для подбора оптимального интерфейса использовалась нечеткая экспертная система, которая является частью автоматизированной информационной системы. При работе АИС происходит оценка характеристик пользователя, которые

сохраняются с базу данных. Затем происходит чтение данных пользователей в экспертную систему, сравнение их с базой правил. В результате выбирается наиболее подходящий прототип интерфейса и пользователю предоставляется работа с прикладной программой.

При создании ЭС, на предварительном этапе предполагается взаимная оценка компетентности экспертов для формирования экспертной группы. Далее группа экспертов реализует ранжирование характеристик пользователей для выбора доминирующих качеств, на основе чего создается база правил ЭС.

При построении базы правил нечеткой экспертной системы были описаны лингвистические переменные для каждого из качеств пользователя с помощью векторов и построения графиков лингвистических переменных.

Далее приведен пример описания переменной “Компьютерная грамотность”, которая может принимать три значения: высокий, средний, низкий. “Компьютерная грамотность”={«низкий уровень» (0 баллов, 20 баллов, 30 баллов, 50 баллов); «средний уровень» (30 баллов, 50 баллов, 70 баллов, 80 баллов); «высокий уровень» (70 баллов, 90 баллов, 100 баллов, 100 баллов)}; (рис. 1).

Аналогичным образом были описаны другие лингвистические переменные. Далее была построена входная лингвистическая переменная “Шаблон”, которая имеет пять терм-значений: Т1= “Упрощенный” (Шаблон 5), Т2= ”Минимальный” (Шаблон 4), Т3= ”Базовый” (Шаблон 3), Т4= ”Расширенный” (Шаблон 2), Т5=” Сложный” (Шаблон 1) (рис. 2).

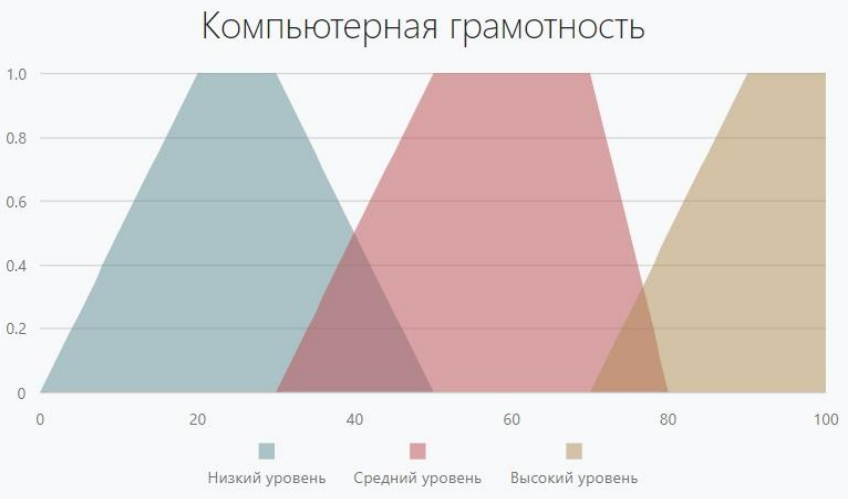



Рис. 1 - Функции принадлежности нечеткого множества “Компьютерная грамотность”

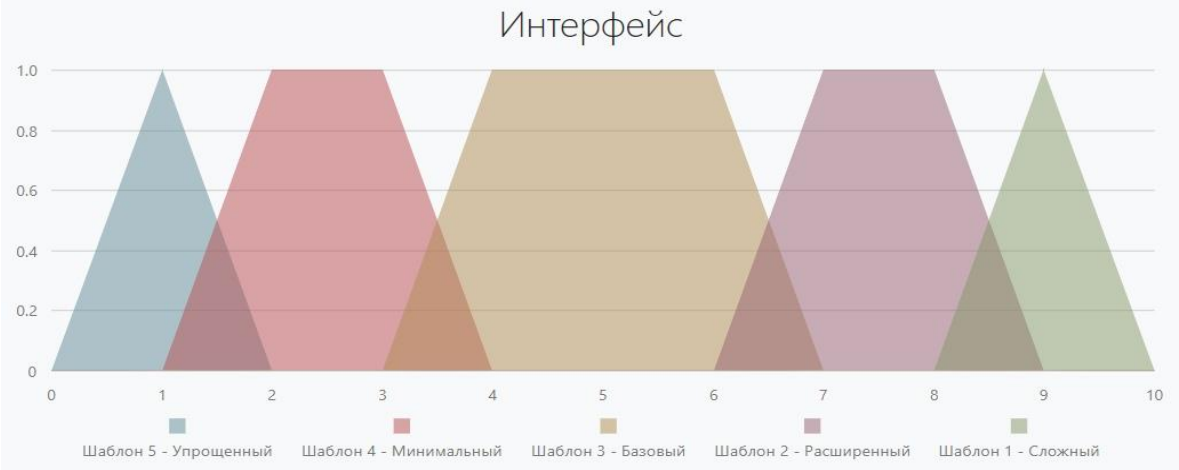



Рис. 2 - Функции принадлежности нечеткого множества “Шаблон”

Затем были сформированы продукционные правила нечеткой логики (рис. 3).

**ЕСЛИ** КГ==В **И** СО==В **И** ОРПП==В **И** МП==В **И** М==В **И** П==В **И** КВ==В **И** ЭС==В **ТОГДА** «Шаблон 1»
**ЕСЛИ** КГ==В **И** СО==В **И** ОРПП==В **И** МП==В **И** М==В **И** П==В **И** КВ==В **И** ЭС==С **ТОГДА** «Шаблон 2»
**ЕСЛИ** КГ==В **И** СО==В **И** ОРПП==В **И** МП==В **И** М==В **И** П==В **И** КВ==В **И** ЭС==Н **ТОГДА** «Шаблон 3»
**ЕСЛИ** КГ==В **И** СО==С **И** ОРПП==С **И** МП==В **И** М==С **И** П==С **И** КВ==С **И** ЭС==В **ТОГДА** «Шаблон 2»
**ЕСЛИ** КГ==В **И** СО==С **И** ОРПП==С **И** МП==В **И** М==С **И** П==С **И** КВ==С **И** ЭС==С **ТОГДА** «Шаблон 3»
**ЕСЛИ** КГ==В **И** СО==С **И** ОРПП==С **И** МП==В **И** М==С **И** П==С **И** КВ==С **И** ЭС==Н **ТОГДА** «Шаблон 4»
**ЕСЛИ** КГ==В **И** СО==С **И** ОРПП==С **И** МП==С **И** М==С **И** П==С **И** КВ==С **И** ЭС==В **ТОГДА** «Шаблон 2»
**ЕСЛИ** КГ==В **И** СО==С **И** ОРПП==С **И** МП==В **И** М==С **И** П==С **И** КВ==С **И** ЭС==С **ТОГДА** «Шаблон 3»
**ЕСЛИ** КГ==В **И** СО==С **И** ОРПП==С **И** МП==В **И** М==С **И** П==С **И** КВ==С **И** ЭС==Н **ТОГДА** «Шаблон 4»
**ЕСЛИ** КГ==С **И** СО==С **И** ОРПП==С **И** МП==С **И** М==Н **И** П==Н **И** КВ==Н **И** ЭС==В **ТОГДА** «Шаблон 3»
**ЕСЛИ** КГ==С **И** СО==С **И** ОРПП==С **И** МП==С **И** М==Н **И** П==Н **И** КВ==Н **И** ЭС==С **ТОГДА** «Шаблон 4»
**ЕСЛИ** КГ==С **И** СО==С **И** ОРПП==С **И** МП==С **И** М==Н **И** П==Н **И** КВ==Н **И** ЭС==Н **ТОГДА** «Шаблон 5»
**ЕСЛИ** КГ==Н **И** СО==Н **И** ОРПП==Н **И** МП==С **И** М==С **И** П==С **И** КВ==С **И** ЭС==В **ТОГДА** «Шаблон 4»
**ЕСЛИ** КГ==Н **И** СО==Н **И** ОРПП==Н **И** МП==С **И** М==С **И** П==С **И** КВ==С **И** ЭС==С **ТОГДА** «Шаблон 5»
**ЕСЛИ** КГ==Н **И** СО==Н **И** ОРПП==Н **И** МП==С **И** М==С **И** П==С **И** КВ==С **И** ЭС==Н **ТОГДА** «Шаблон 5»

Рис. 3 – База правил экспертной системы

Условные сокращения: Компьютерная грамотность - КГ; Системный опыт – СО; Опыт работы с подобными программами - ОРПП; Машинопись - МП; Мышление – М; Память – П; Концентрация внимания – КВ; Эмоциональное состояние – ЭС. Уровни сформированности В -высокий, С- средний, Н- низкий.

Для подбора прототипа интерфейса использовался нечеткий логический вывод. Для операций “И” использовалось преобразование “МИНИМУМ”, для операций “ТО – МИНИМУМ”, правила агрегировались с помощью операции ИЛИ – преобразование “МАКСИМУМ” [7].

Таким образом, на выходе системы было получено:

$$M_{p_b}(u) = \max\left\{\min(M_1^{\,a}; M_1^{\,b}; M_1^{\,c}), \min(M_2^{\,a}; M_2^{\,b}; M_2^{\,c}), \min(M_4^{\,a}; M_4^{\,b}; M_4^{\,c}), ..., \min(M_8^{\,a}; M_8^{\,b}; M_8^{\,c})\right\}$$

Далее были построены графики, соответствующие выходу системы. Для оценки шаблона интерфейса был использован метод поиска центра тяжести. То есть на основе полученных графиков, соответствующих выходу системы для каждого из пользователей были рассмотрены полученные фигуры. Определен центр масс каждой из них. Для получения конечного результата было найдено значение шаблона ближайшее к полученной точке.

На рис. 4 представлена работа экспертной системы при подборе оптимального интерфейса.

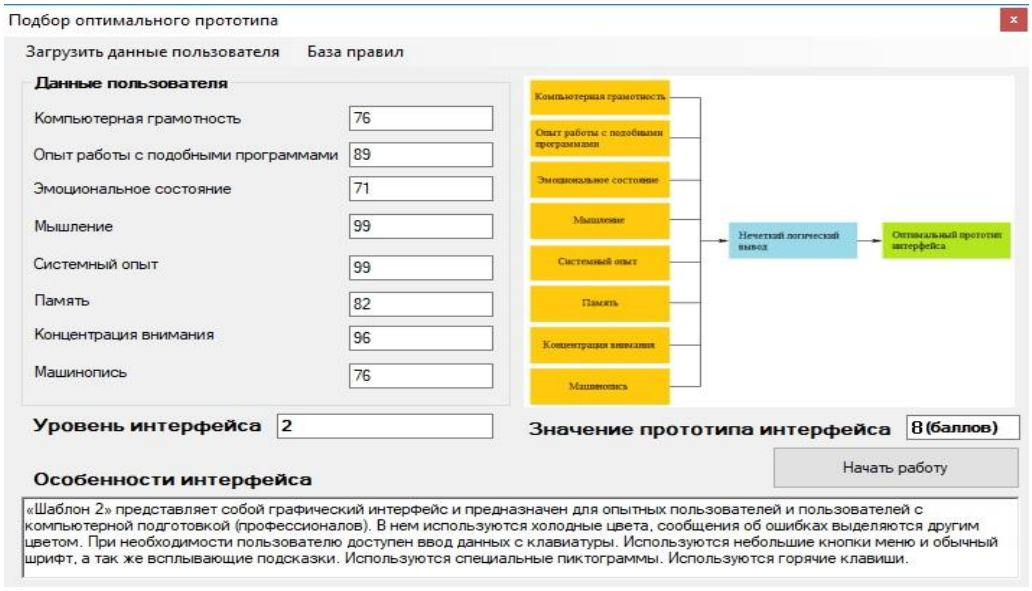



Рис. 4 - Подбор прототипа для интерфейса "Шаблон 2"

Как видно на рисунке, в результате работы приложения было получено, что для данного пользователя оптимальным является “Шаблон 2” [8]. Аналогичным образом можно провести подбор интерфейса для другого пользователя, в зависимости от результатов оценки характеристик. В результате работы экспертной системы, пользователю будет предоставлен адаптированный под его особенности интерфейс.

Таким образом, использование интерфейсов программных систем с элементами искусственного интеллекта будет способствовать эффективной и комфортной работе неподготовленных пользователей со сложными системами за счет сокращения времени на обучение и адаптацию.

***Список литературы***

1. *Зубкова Т.М., Тагирова Л.Ф.* Проектирование адаптированных пользовательских интерфейсов в ИТ-сфере // Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн: материалы V Международной научно-практической конференции : в 3 т. / под общ. ред. М. Н. Краснянского ; ФГБОУ ВО «ТГТУ». – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2018. – Вып. 5. - С. 78-83.

2. *Попов Ф.А., Ануфриева Н.Ю.* Интеллектуализация пользовательских интерфейсов информационных систем // Вестник Томского государственного университета. - 2007.- № 300 (1).- С.130-133.

3. *Фуртат Ю.О.* Об организации адаптивного пользовательского интерфейса в автоматизированных системах // Известия ЮФУ. Технические науки. 2014, №1. С. - 100 -110.

4. *Dong Y., Zhang H., Herrera-Viedma E.* Integrating experts' weights generated dynamically into the consensus reaching process and its applications in managing non-cooperative behaviors // Decision Support Systems. 2016. Т. 84. - С. 1-15.

5. *Huang T.C.-K., Chen Y.-L., Chang T.-H.* A novel summarization technique for the support of resolving multi-criteria decision making problems // Decision Support Systems. 2015. Т. 79. - С. 109-124.

6. *Tucker C.S., Singh A.* A machine learning approach to product review disambiguation based on function, form and behavior classification// Decision support systems. 2017. Т. 97. С. 81-91.

7. *Джарратано, Д.* Экспертные системы: принципы разработки и программирование / Д. Джарратано, Г. Райли.: пер. с англ.-М.:ООО И.Д.Вильямс, 2007.-1152 с.

8. *Семенов А.М., Тагирова, Л.Ф., Черкасов К.А.* Программная реализация интеллектуальных методов адаптации пользовательских интерфейсов. Зарегистрировано в УФЭР ОГУ, Оренбург. - Регистрационный № 1926, дата регистрации 20.06.2019.

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ (05.13.18)

*05.13.18*

**[1]А.И. Акимов канд. техн. наук, [2]И.А. Акимов д-р техн. наук,**
**[2]В.А. Урбан канд. техн. наук**

[1]Филиал Российского государственного университета нефти и газа имени И.М. Губкина,
отделение ЭГ и ЕНД,
ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный аграрный университет»,
[2]кафедра Информатики и прикладной математики,
[3]кафедра «Техносферной и информационной безопасности»,
Оренбург akimoff11@mail.ru, akimov_ia@mail.ru, urban.vladimir@mail.ru

# МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И РЕШЕНИЕ МНОГОСЛОЙНЫХ ЗАДАЧ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ В ПРОИЗВОДСТВЕ КОМПОЗИТНЫХ ИЗДЕЛИЙ МЕТОДОМ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ НА ОСНОВЕ КОНЕЧНЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ

*В работе рассмотрен метод конечных интегральных преобразований и возможности его применения к решению многослойных задач теплопроводности в производстве композитов методом полимеризации в декартовой, цилиндрической и сферической системах координат.*

Ключевые слова: *композиты, интегральное преобразование полимеризация, многослойные конструкции, математическое моделирование, теплообмен.*

Как известно, теория конечных интегральных преобразований была разработана Н.С. Кошляковым [1]. Дальнейшее развитие теории конечных интегральных преобразований получено в ряде работ Э.М. Карташова. Для расчетов теплопроводности в многослойных конструкциях, в декартовой системе координат, в цилиндрической системе и в сферической системах координат наиболее эффективной оказалась теория конечных интегральных преобразований, рассмотренная в работе Е.Н.Туголукова [2]. Этот метод эффективен и для решения уравнений Лапласа, Гельмгольца, Пуассона и при моделировании не только задач теплопроводности, но и полей других физических величин.

Рассмотрим кратко смысл метода конечных интегральных преобразований. Пусть дана функция r переменных и переменных (оригинал) f($x_1, x_2, \ldots . x_n$). Ему ставится в соответствие функция (изображение) в форме интеграла.

$$F(x_1, x_2, \ldots x_{j-1}, \gamma, x_{j+1}, \ldots x_n,) = \int_a^b f(x_1, x_2, \ldots x_{j-1}, \gamma, x_{j+1}, \ldots x_n) \cdot K(\xi, \gamma) \cdot \rho(\xi) d\xi \quad (1)$$

Это выражение называют интегральным преобразованием по переменной $x_j$, которая в общем случае может быть комплексной. Функция K($\xi, \gamma$) является ядром интегрального преобразования, $\rho(\xi)$ - весовая функция. Если функция $f(x)$ зависит от одной переменной, то пишут $f(x) \xleftarrow{\bullet} F(\gamma) = \int_a^b f(\xi) \cdot K(\gamma, \xi) \cdot \rho(\xi) d\xi$, где $\xleftarrow{\bullet}$ - символ преобразования. Говорят, что конечное интегральное преобразование определено, когда интеграл в правой части (1) существует. Рассмотрим схему применения конечного интегрального преобразования к решению дифференциального уравнения в частных производных второго порядка.

$$\sum_{i=0}^{3} \alpha_i \frac{\partial^2 U}{\partial x_i^2} + \sum_{i=0}^{3} \beta_i \cdot \frac{\partial U}{\partial x_i} + CU = f \cdot \quad (2)$$

Пусть переменная $x_j = \xi$ изменяется в постоянных пределах [a, b]. Тогда ядро

интегрального преобразования K($\xi,\gamma$) и весовая функция $\rho(\xi)$ определяются из условия, чтобы интегральное соотношение

$$\int_a^b \left[\sum_{i=0}^{3}\alpha_i \frac{\partial^2 U}{\partial x_i^2}+\sum_{i=0}^{3}\beta_i \frac{\partial U}{\partial x_i}+CU\right]\cdot K(\xi,\gamma)\cdot\rho(\xi)d\xi = \bar{f} \tag{3}$$

($\bar{f}$ - интегральное преобразование $f$) являлось обыкновенным дифференциальным уравнением относительно интегрального преобразования

$$\bar{U}=\int_a^b U\cdot \mathrm{K}(\xi,\gamma)\cdot\rho(\xi)d\xi\,. \tag{4}$$

Тогда весовая функция $\rho(\xi)$ определяется с точностью до постоянного множителя их условия

$$(\alpha_j\rho)' = \beta_j\cdot\rho\,. \tag{5}$$

Если граничные условия на координате $x_j$ имеют вид

$$\alpha_a U'(a)+\beta_a\cdot U(a)=\varphi_a\,, \tag{6}$$

$$\alpha_b U'(b)+\beta_b\cdot U(b)=\varphi_b\,, \tag{7}$$

то ядро интегрального преобразования K($\xi,\gamma$) является решением задачи Штурма-Лиувилля

$$(\alpha_j\cdot\rho\cdot K')'+\rho(C+\gamma^2)\cdot K=0\,; \tag{8}$$

$$\alpha_a U'(a)+\beta_a\cdot U(a)=0, \tag{9}$$

$$\alpha_b U'(b)+\beta_b\cdot U(b)=0, \tag{10}$$

также полученные с точностью до постоянного множителя. Здесь $\gamma$ - собственные числа задачи, определяемые из условий (9), (10).

Обратное преобразование выполняется по формуле:

$$U=\sum_{i=0}^{\infty}\frac{\bar{U}\cdot K}{N}, \tag{11}$$

$$\mathrm{N}=\int_a^b K^2(\xi,\gamma)\cdot\rho(\xi)d\xi, \tag{12}$$

Далее рассмотренную схему применим к решению задачи теплопроводности в многослойных конструкциях по одномерной схеме в производстве композитов, изготавливаемых методом полимеризации в установках автоматического ведения технологического процесса (АВТП). К таким задачам относятся неограниченная многослойная пластина, неограниченный сплошной и полый многослойные цилиндры, сплошной и полый многослойные шары [3]. Рассмотрим задачу с произвольным начальным условием, неоднородными граничными условиями и распределенным внутренним источником тепла.

$$\frac{\partial U_i(r_i,\tau)}{\partial\tau}=a_i^2\left[\frac{\partial^2 U_i(r_i,\tau)}{\partial r_i^2}+D_{k,i}\frac{\partial U_i(r_i,\tau)}{\partial r_i}\right]+f_i(x_i,\tau)\,; \tag{13}$$

$$U_i(r_i,0)=\varphi(r_i)\,; \tag{14}$$

$$\lambda_1\frac{\partial U_1(R_0,\tau)}{\partial r_1}-\alpha_1\left[U_1(R_0,\tau)-U_{C1}(\tau)\right]=0\,; \tag{15}$$

$$\lambda_N\frac{\partial U_N(R_N,\tau)}{\partial r_N}+\alpha_N\left[U_N(R_N,\tau)-U_{CN}(\tau)\right]=0\,; \tag{16}$$

$$U_j(R_j,\tau)=U_{j+1}(R_j,\tau)\,;$$

$$\lambda_j\frac{\partial U_j(R_j,\tau)}{\partial r_j}=\lambda_{j+1}\frac{\partial U_{j+1}(R_j,\tau)}{\partial r_{j+1}}\,; \tag{17}$$

Здесь r-пространственная координата; τ - время; N- число слоев многослойной области; $U_i(r_i,\tau)$ - температурное поле i-й области.

От исходной задачи переходим к изображениям используя метод конечных интегральных преобразований.

$$\overline{U}(\mu,\tau)=\sum_{m=1}^{N}\frac{\lambda_m}{a_m^2}\int_0^{R_m}\rho(r_m)\cdot U_m(r_m,\tau)\cdot K_m(r_m,\mu)\cdot dr_m, \tag{18}$$

где $\rho(r)$ - весовая функция, являющаяся с точностью до постоянного множителя, решением уравнения

$$\frac{d\rho(r_m)}{dr}-D_{k,m}\cdot\rho(r_m)=0 \tag{19}$$

Отсюда следует, что $\rho(r)=1$ для декартовой системы координат; $\rho(r)=r$ для цилиндрической системы; $\rho(r)=r^2$ для сферической системы. Ядро интегрального преобразования $K_m(r_m,\mu)$ является решением задачи Штурма-Лиувилля с соответствующими однородными граничными условиями, определяемым с точностью до постоянного множителя (здесь μ- параметр):

$$\frac{dK_m(r_m,\mu)}{dr_m^2}+D_{k,m}\cdot\frac{dK_m(r_m,\mu)}{dr_m}+\frac{\mu^2}{a_m^2}\cdot K_m(r_m,\mu)=0; \tag{20}$$

$$\lambda_1\cdot\frac{dK_1(R_0,\mu)}{dr_1}-\alpha_1\cdot K_1(R_0,\mu)=0; \tag{21}$$

$$\lambda_N\cdot\frac{dK_N(R_N,\mu)}{dr_N}+\alpha_N\cdot K_N(R_N,\mu)=0; \tag{22}$$

$$\lambda_j\cdot\frac{dK_j(R_j,\mu)}{dr_j}=\lambda_{j+1}\cdot\frac{dK_{j+1}(R_j,\mu)}{dr_{j+1}}; \tag{23}$$

Решение уравнения (8) имеет вид:

$$K_m(r_m,\mu)=C_{1m}\cdot\exp\left[-\frac{r_m}{2}(D_{k,m}+\sqrt{D_{k,m}^2-\frac{4\mu^2}{a_m^2}})\right]+C_{2m}\cdot\exp\left[-\frac{r_m}{2}(D_{k,m}-\sqrt{D_{k,m}^2-\frac{4\mu^2}{a_m^2}})\right]. \tag{24}$$

В декартовой системе координат будет иметь вид

$$K_m(r_m,\mu)=C_{1m}\cdot\sin(\frac{\mu}{a_m}r_m)+C_{2m}\cdot\cos(\frac{\mu}{a_m}r_m). \tag{25}$$

В цилиндрической системе координат

$$K_m(r_m,\mu)=C_{1m}\cdot J_0(\frac{\mu}{a_m}r_m)+C_{2m}\cdot Y_0(\frac{\mu}{a_m}r_m), \tag{26}$$

где $J_0(z)$, $Y_0(z)$ - функция Бесселя первого рода, нулевого и первого порядка соответственно.

В сферической системе координат

$$K_m(r_m,\mu)=\frac{1}{r_m}\left[C_{1m}\cdot\sin(\frac{\mu}{a_m}r_m)+C_{2m}\cdot\cos(\frac{\mu}{a_m}r_m)\right] \tag{27}$$

Коэффициенты $C_{1m}$ и $C_{2m}$, а также μ определяются из граничных условий (21)-(23), причем $C_{11}$=1.

Для перехода к изображениям применяют формулу (18) почленно к (13)-(17) и получаем задачу в изображениях

$$\frac{d\overline{U}(\mu_n,\tau)}{d\tau}+\mu_n^2\overline{U}(\mu_n,\tau)=\bar{f}(\mu_N,\tau)+\alpha_N\cdot\rho(R_N)\cdot K(R_N,\mu_n)\cdot U_{CN}(\tau)+ \tag{28}$$

$$\alpha_1\rho(R_0)\cdot K(R_0,\mu_n)\cdot U_{C1}(\tau);$$

$$\overline{U}(\mu_n,0)=\overline{U}_0, \tag{29}$$

где $\overline{U}_0 = \sum_{m=1}^{N} \frac{\lambda_m}{a_m^2} \int_{R_{m-1}}^{R_m} \rho(r_m) \cdot \varphi_m(r_m) \cdot K_m(r_m, \mu) \cdot dr_m$ в форме обыкновенного дифференциального уравнения. Решение задачи (23)-(24) в изображениях имеет вид:

$$\overline{U}(\mu_n, \tau) = \exp(-\mu_n^2 \tau) \cdot \left[ \overline{U}_0 + \int_0^{\tau} (f(\mu_n, \tau) + FK(\mu_n, \tau)) \exp(\mu_n^2, \tau) d\tau \right], \quad (30)$$

где $$FK(\mu_n, \tau) = \alpha_N \rho(R_N) K(R_N, \mu_n) U_{CN}(\tau) + \alpha_1 \rho(R_0) K(R_0, \mu_n) U_{C1}(\tau). \quad (31)$$

Обратный переход осуществляется по формулам

$$U_m(r_m, \tau) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\overline{U}(\mu_n, \tau) \cdot K_m(r_m, \mu_n)}{S_n}, \quad (32)$$

где $$S_n = \sum_{m=1}^{N} \frac{\lambda_m}{a_m^2} \int_{R_{m-1}}^{R_m} \rho(r_m) \cdot K_m^2(r_m, \mu_n) dr_m \quad (33)$$

и завершается решение исходной задачи.

### *Список литературы*

1. *Кошляков Н.С., Глинер Э.Б., Смирнов М.И.* Уравнения в частных производных математической физики.- М.: Высшая школа, 1970. - 712 с.

2. *Туголуков Е.Н.* Решение задач теплопроводности методом конечных интегральных преобразований ТГТУ, 2005.- 843 с.

3. *Акимов А.И., Акимов И.А., Урбан В.А.* «Исследование и разработка математических моделей, расчетных формул теплообмена на втором этапе производства многослойных конструкций сферической формы методом полимеризации» Акимов И.А., Урбан В.А. // Научно – технический вестник Поволжья, № 7, 2018. − Казань. − с. 78 – 81.

*05.13.18*

**Г.М. Алимирзоев, М.С. Муравьев, К.А. Насеткин,**
**А.С. Пузанов канд. техн. наук, Д.А. Литовский**

Национальный исследовательский
Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского,
радиофизический факультет,
кафедра радиофизики,
zverbeshenka@gmail.com

# МОДЕЛИРОВАНИЕ УТРОИТЕЛЯ ЧАСТОТЫ НА ГЕТЕРОБАРЬЕРНОМ ВАРАКТОРЕ В 3 ММ ДИАПАЗОНЕ ДЛИН ВОЛН

*В настоящем исследовании была построена модель утроителя частоты диапазона 90-96 ГГц. Построенная модель позволяет в дальнейшем оптимизировать конструкцию с целью получения необходимых параметров мощности и ширины полосы выходной АЧХ.*

Ключевые слова: *гетеробарьерный варакторный диод, CST Studio, AWR Microwave office, умножитель частоты.*

## Построение модели.

Умножители частоты в миллиметровом диапазоне длин волн являются важным элементом для создания различного радиолокационного оборудования гражданского и специализированного назначения. Так как в технике специализированного назначения[1] недоступно использование заграничных комплектующих, появляется запрос на создание отечественных умножителей частоты в миллиметровом диапазоне длин волн с выходной мощностью порядка 100 мВт. Конструктивно умножитель представляет собой гетеробарьерный диод с переменной емкостью (ГБВ), включенный последовательно в микрополосковую линию (МПЛ), помещенную между двумя волноводами (Рис. 1). Волноводы имеют сечения, соответствующие частотным диапазонам входного и выходного сигналов.

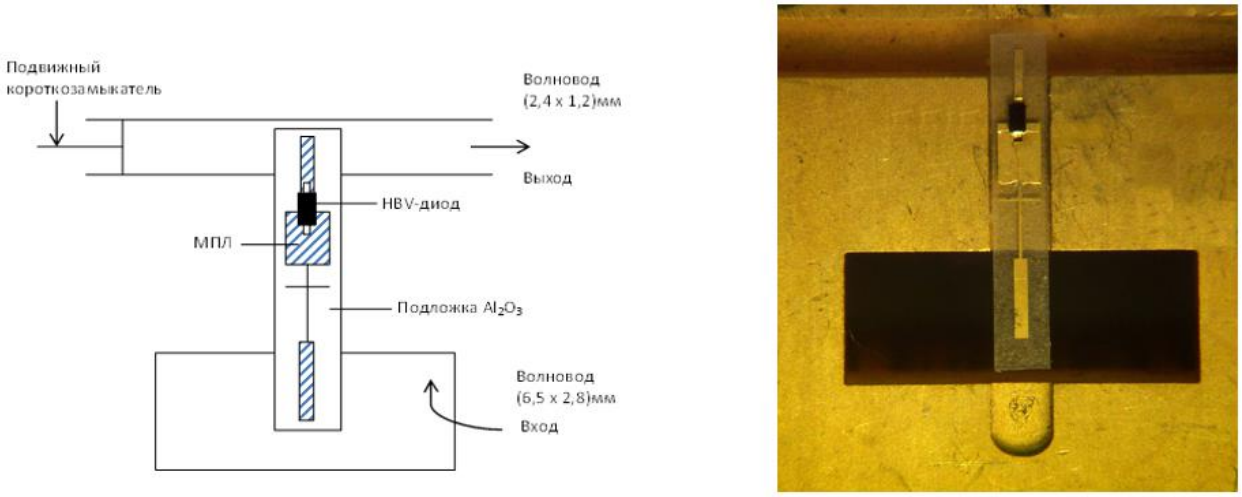



Рис. 1. Общий вид конструкции умножителя и его фотография: кристалл ГБВ, смонтированный на микрополосковую плату и размещенный между входным и выходным волноводами

Задачами оптимизации являются увеличение выходной мощности и КПД и расширение рабочей полосы частот.

**Построение модели**

Модель линейной части умножителя была построена в программе CST Studio. Модель соответствует реальному устройству с достаточной точностью, материалы, применяемые в моделировании по физическим свойствам, повторяют реальные материалы, из которых изготовлен умножитель (Рис. 2). Базовый метод расчета в CST Microwave Studio – метод конечного интегрирования – является методом пространственной дискретизации, в котором пространство задачи разбивается на дискретные ячейки (сетку). При этом в решающем устройстве реализуется метод конечных разностей во временной области как частный случай метода конечного интегрирования[2]. Анализ следует проводить в диапазоне входных частот умножителя (30-32ГГц). Для оптимизации модели было проведено более 300 расчетов и по их результатам вносились изменения в конструкцию.

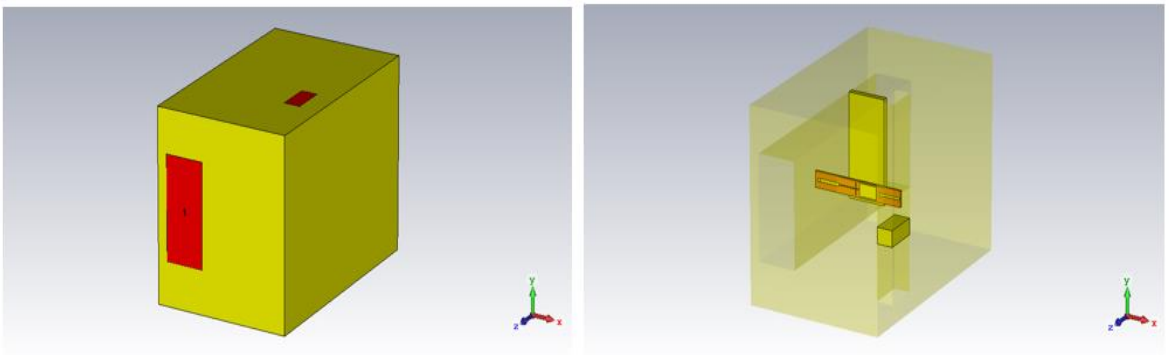


Рис. 2 Общий вид модели умножителя частоты в CST Studio

Рассчитанное в CST распределение напряженности поля на сосредоточенных портах является входным воздействием при расчете режимов работы нелинейных элементов в программе AWR. Построение модели устройства в AWR начинается с создания модели диода. Создана модель была в АО «НПО «Салют», в полном соответствии с реальным диодом, учитывая как электрические, так и общефизические параметры.

Следующим этапом является добавление в модель входного порта, который является источником заданной мощности, выходного порта с которого снимаются выходные характеристики, а также восьмиполюсника, который соединяет все элементы схемы воедино. Расчет проводится методом гармонического баланса.

**Результаты моделирования**

Итоговая симуляция в AWR производится следующим образом: программа эмулирует источник сигнала определенной частоты и мощности, с заданным импедансом линии, в виде порта (Port 1). Затем сигнал с источника подается на восьмиполюсник, свойства которого описывает матрица s-параметров, посчитанная в CST. К этому восьмиполюснику также подключены диод и выходной порт (Port 2). На основании посчитанных в CST распределения полей и проходимости сигнала в пассивной части устройства рассчитывается выходная характеристика умножителя. В результате мы получаем графики зависимости выходной мощности от частоты. Параметры, возможные для оптимизации выходной мощности умножителя:

- Используемые материалы
- Топология полосковой линии (длина элементов связи с входным и выходным волноводами, длина поликоровой подложки)
- Положение входного и выходного короткозамыкателей

Так как задача получается многопараметрическая, а шаг изменения каждого из параметров достаточно небольшой, было проведено более 300 расчетов с различными комбинациями вышеперечисленных конструктивных параметров. В результате расчетов с различными комбинациями вышеперечисленных конструктивных параметров получены графики, отражающие процесс оптимизации выходной амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) умножителя

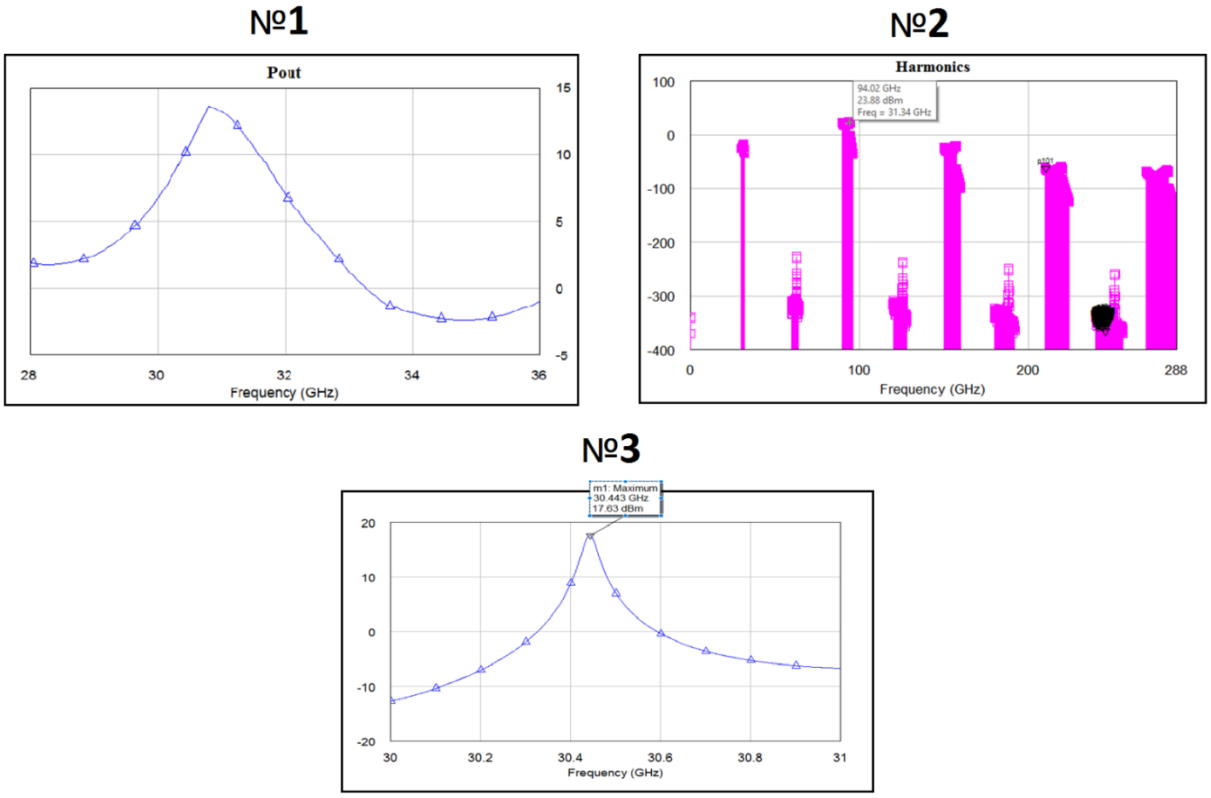



Рис. 3 Результат расчёта: зависимость выходной мощности от частоты на третьей гармонике при длине полоска выходного тракта №1 – 1.35 мм, №2 – 1.4 мм, №3 – 1.45 мм

Максимальный полученный результат при моделировании составил 23 dBm, что равняется 200 мВт. Данная мощность была получена при использовании золота в качестве материала корпуса, положении выходного короткозамыкателя в 1 мм от продольной оси подложки, входного короткозамыкателя в 3 мм от продольной оси подложки, длине полоска входного тракта 1.7 мм, полоска выходного выходного 1.4 мм, длине поликоровой подложки 6.75 мм. Этот результат пока не был воспроизведен на практике. Полученные во время моделирования данные дают представления о положениях и размерах различных элементов умножителя для получения наилучшего результата.

**Заключение**

В результате проведенной работы была построена модель утроителя частоты диапазона 90-96 ГГц. Построенная модель позволяет оптимизировать конструкцию с целью получения необходимых параметров мощности и ширины полосы выходной АЧХ. Уже в ходе построения модели были обнаружена существенная зависимость выходной мощности от расстояния между краем полоска выходного тракта и краем диэлектрической подложки. Данный будет дополнительно исследован в экспериментальной проверке в реальном устройстве.

Результаты моделирования можно считать успешными, поскольку они с достаточной точностью совпали с экспериментально измеренными параметрами реального устройства. Для подтверждения результатов оптимизации будет создано устройство с оптимизированными параметрами.

В дальнейшем планируется оценка радиационной стойкости изделий, так как специализированное применение предполагает применение в условиях специальных факторов. Стоит отметить, что это направление является наиболее востребованным в настоящее время[3].

***Список литературы***

1. *Киселева Е.В., Китаев М.А., Оболенский С.В., Трофимов В.Т., Козлов В.А.,* Радиационная стойкость перспективных арсенид галлиевых полевых транзисторов Шотки// Журнал технической физики. 2005. Т. 75. № 4. С. 136-138.

2. *Demarina N.V.,* Modeling of ionizing irradiation influence on schottky-gate field-effect transistor / N.V.Demarina, S.V.Obolensky// Microelectronics Reliability. Т. 39. № 8. 1999. – С. 1247-1263.

3. *Насеткин К.А.*, Моделирование реакции субмикронных структур «кремний на изоляторе» на воздействие низкоинтенсивных проникающих излучений / К.А.Насеткин, И.Ю.Забавичев, А.А.Потехин, А.С.Пузанов, С.В.Оболенский, В.А.Козлов // В кн.: Труды XXIII Международного симпозиума (Нижний Новгород, 11-14 марта 2019 г.) – Нижний Новгород, 2019 г. С.774-775.

*05.13.18*

**Н.Н. Беспалов канд. техн. наук, Ю.В. Горячкин канд. техн. наук,
П.М. Дёмкин, К.Ю. Панькин**

Национальный исследовательский
Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва,
кафедра электроники и наноэлектроники,
Саранск, ka-mgu@mail.ru

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В СИЛОВОМ ДИОДЕ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ УДАРНОГО ТОКА В ПРОГРАММНОЙ СРЕДЕ SYNOPSYS TCAD

*В статье приведены результаты моделирования электрических и тепловых процессов, протекающих в силовом диоде, который рассчитан на предельный ток 2500 А, при воздействии ударных токов. Моделирование проведено в программной среде SYNOPSYS TCAD. Полученные результаты могут быть использованы для выбора предельных режимов работы силовых диодов при эксплуатации.*

Ключевые слова: *SYNOPSYS TCAD, силовой диод, моделирование, ударный ток.*

**Введение.** Силовые полупроводниковые приборы (СПП) являющиеся основой современных устройств силовой электроники (УСЭ) во время их эксплуатации подвергаются различного рода перегрузкам по напряжению и току. Наиболее опасным предельным режимом эксплуатации СПП является воздействие прямого ударного тока $I_{FSM}$ на прибор во время его работы в аварийном режиме. Согласно мнению разработчиков СПП [1] максимально допустимое значение ударного тока $I_{FSM}$ рекомендуется, как правило, принимать на 10-20 % меньше амплитуды тока, соответствующей началу появления в полупроводниковой структуре СПП так называемого «термогенерационного пика», вследствие которого в ней может произойти шнурование тока, что, соответственно, может вызвать атастрофический отказ прибора. На практике определение величины тока соответствующего появлению «термогенерационного пика» осуществляется только на основе натурного эксперимента. Для этого испытуемый прибор нагревают до максимально допустимой температуры полупроводниковой структуры $T_{jmax}$ и, в состоянии высокой проводимости (СВП), через него пропускают серию импульсов тока полусинусоидальной формы длительностью по основанию равной 10 мс [2, 3] с пошаговым нарастанием амплитуды. При каждом испытании снимают вольтамперную характеристику (ВАХ) в СВП, по параметрам которой косвенно судят о температуре полупроводниковой структуры, при которой возможно возникновение шнурования тока в ней. Данный способ определения величины тока соответствующего появлению «термогенерационного пика» обладает низкой точностью, а также является весьма затратным по многим аспектам. В связи с этим производители СПП сильно занижают паспортную величину максимально допустимого значения ударного тока.

Альтернативой описанному способу является моделирование электрических и тепловых процессов происходящих в СПП в известной программе приборно-технологического моделирования SYNOPSYS TCAD [4, 5], по результатам которого возможна объективная оценка величины ударного тока $I_{FSM}$ СПП. Для реализации задачи оценки величины ударного тока $I_{FSM}$ в программной среде TCAD была разработана модель силового диода (СД) типовой таблеточной конструкции. Модель была воспроизведена с учётом физических характеристик реальных СД, рассчитанных на предельный ток $I_{F(AV)}$ = 2500 А.

**Результаты моделирования.**

Моделирование процессов в СД при воздействии прямых токов $i_F$ полусинусоидальной формы с длительностью по основанию равной 10 мс позволило получить семейство ВАХ СД в СВП, которое изображенное на рис. 1. Начальная температура $T_{j0}$ структуры СД в соответствии с технической документацией на аналогичные приборы была выбрана равной +130 $^{o}$C, что является для них предельно допустимой величиной. Получение ВАХ СД в СВП проводилось при амплитудах испытательных импульсов тока от 8 кА до 80 кА. Начальное значение амплитуды испытательного импульса тока равное 8 кА соответствует паспортному средневыпрямленному значению прямого тока через диод $I_{F(AV)}$ = 2500 А умноженному на 3,14 [3]. Паспортное значение амплитуды ударного тока $I_{FSM}$ для аналогичных диодов равно 40 кА. Для наглядной демонстрации развития термогенерационных процессов происходящих в полупроводниковой структуре СД, а также для выявления приблизительного значения тока соответствующего «термогенерационному пику» моделирование проводилось при воздействии импульсов тока с амплитудой до 80 кА.

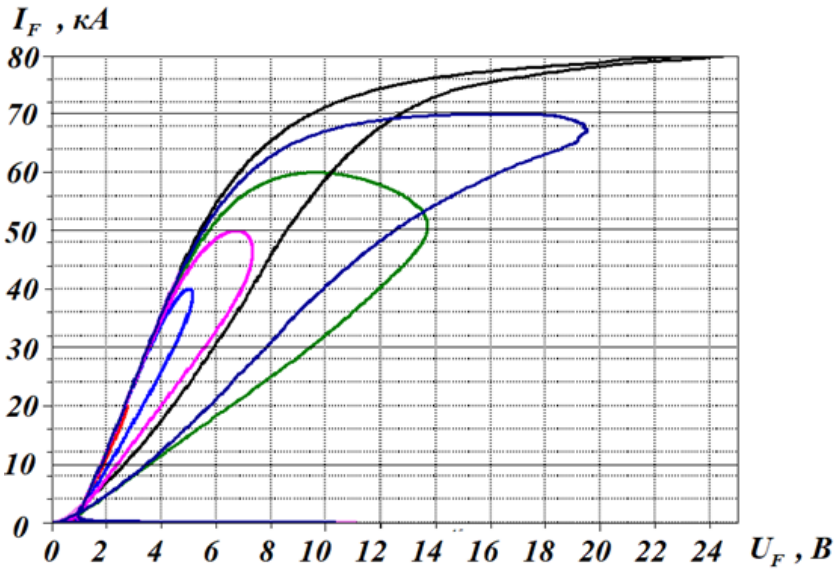



Рис. 1 - Семейство ВАХ СД в прямом направлении

Модель СД позволяет также получить значения температуры структуры во время протекания через нее прямого тока. На рис. 2 изображены временные зависимости температуры $T_j$ полупроводниковой структуры моделируемого СД при протекании через него полусинусоидальных импульсов прямого тока длительностью по основанию 10 мс с различной амплитудой.

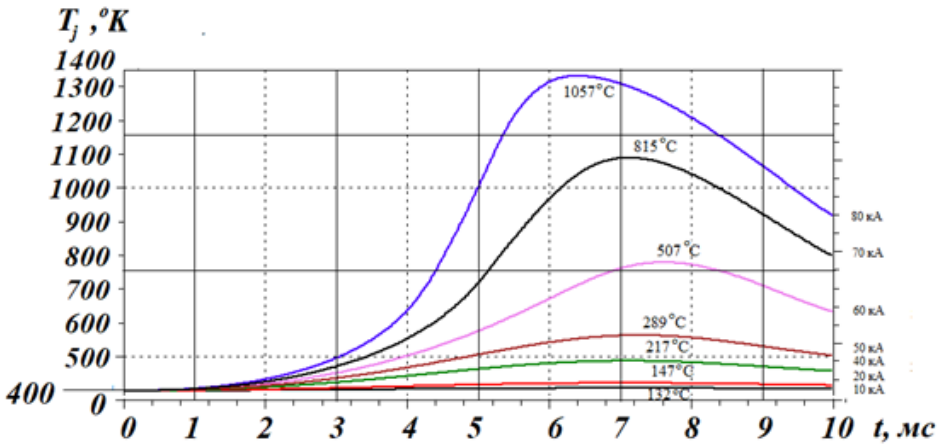



Рис. 2 - Временные зависимости температуры Tj полупроводниковой структуры СД при воздействии импульсов прямого тока iF с различной амплитудой от 8 кА до 80 кА

Полученные данные о временных зависимостях $T_j$ позволили построить график зависимости максимальной температуры структуры $T_{jm}$ СД от амплитуды $I_{FM}$ прямого тока. Данный график представлен на рис. 3.

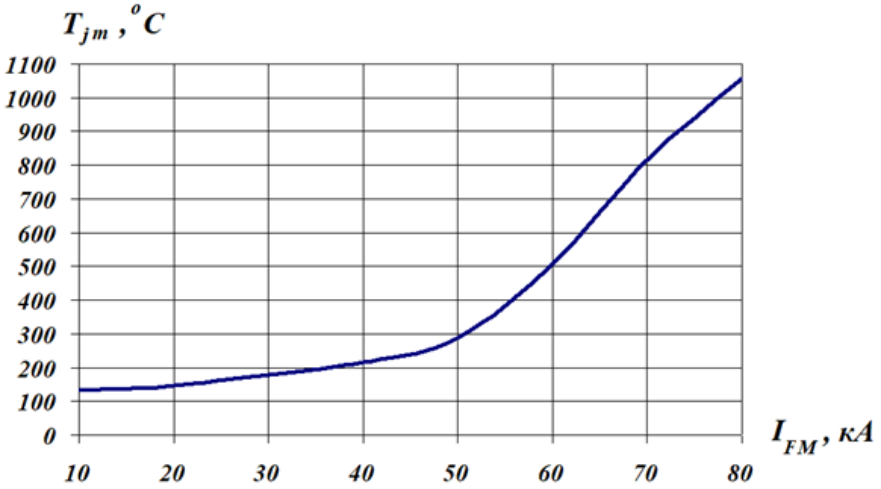



Рис. 3 - График зависимости максимальной температуры структуры Tjm СД от амплитуды IFM прямого тока

Из рис. 1 видно как изменяется форма ВАХ в зависимости от величины импульсов прямого тока $i_F$. Наблюдается резкое увеличение ширины ВАХ после прямого тока $i_F$ с амплитудой $I_{FM}$ свыше 50 кА. Это, по нашему мнению, является признаком появления термогенерационных процессов в полупроводниковой структуре СД. При этом наблюдается временной сдвиг достижения амплитуды максимальной температуры $T_{jm}$ в полупроводниковой структуре СД с 7,5 мс при $I_{FM}$ = 8 кА до 6,4 мс при $I_{FM}$ = 80 кА, что также свидетельствует о вероятном появлении в ней термогенерационных процессов (рис. 2).

Необходимо отметить, что в диапазоне амплитуд тока от 8 кА до 50 кА максимальная температура $T_{jm}$ изменяется в пределах от +132 °С до 289 °С. При этом наблюдается примерно линейное приращение $T_{jm}$ со скоростью 4,2 °С/кА (рис. 3). Однако в диапазоне амплитуд тока от 50 кА до 80 кА максимальная температура $T_{jm}$ изменяется от +289 °С до 1057 °С. При этом также наблюдается примерно линейное приращение $T_{jm,}$, но уже со скоростью 25 °С/кА. Все эти факты свидетельствуют о большой вероятности появления термогенерационных процессов в полупроводниковой структуре СД в указанном диапазоне амплитуд $I_{FM}$ импульсов прямого тока. В работе [6] приводятся данные о величинах температуры полупроводниковой структуры СД $T_j$ в диапазоне от +427 °С до +627 °С, при которых возможно появление эффекта шнурования тока. Результаты данного моделирования показывают, что при $I_{FM}$ = 50 кА максимальная температура структуры исследуемого типа СД достигает $T_{jm}$ = +217 °С, что ниже указанных критических значений. В связи с этим для исследуемого типа СД возможно установить предельное значение $I_{FM}$ = 50 кА. Однако, учитывая необходимость введения некоторого запаса, можно рекомендовать установить для данного типа СД паспортную величину ударного тока $I_{FSM}$ = 40 кА, что составляет величину 0,8 от установленного предельного значения $I_{FM}$ = 50 кА.

**Заключение.** Полученные в результате моделирования электрических и тепловых процессов в СД и качественное сравнение этих результатов с практическими экспериментальными результатами исследований ВАХ [1] свидетельствует об адекватности разработанной модели в программной среде SYNOPSYS TCAD.

Таким образом, на основе разработанной модели можно исследовать электрические и тепловые характеристики практически любого типа СПП при воздействии импульсов прямого тока. Использование этой модели и результатов моделирования позволят разработчикам перед проектированием СПП объективно оценивать величину ударного тока $I_{FSM}$. Полученные результаты могут быть использованы для выбора режимов работы силовых диодов в предельных режимах эксплуатации.

***Список литературы***

1. *Мартыненко В.А.* Исследования статических и динамических ВАХ мощных тиристоров в проводящем состоянии / *В. А. Мартыненко, В. В. Сорокин, А. А. Хапугин, Г. Д. Чумаков* // Электроника и информационные технологии. – 2009. – № 3. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://fetmag.mrsu.ru/2009-3/index.htm.

2. ГОСТ 24461–80. Приборы полупроводниковые силовые. Методы измерений и испытания.

3. *Чебовский, О.Г.* Испытания силовых полупроводниковых приборов / О. Г. Чебовский, Л. Г. Моисеев – М. : Энергоатомиздат, 1981. – 200 с.

4. Sentaurus Device. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.synopsys.com/silicon/tcad/device-simulation/sentaurus-device.html

5. *Горячкин Ю.В.* Физико-топологическое моделирование в САПР TCAD. / *Ю.В. Горячкин, С.А. Нестеров, Б.П. Сурин.* – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2006. – 124 с.

6. *Беспалов Н.Н.* Моделирование электрических и тепловых процессов в силовом диоде при воздействии ударного тока / *Н. Н. Беспалов, Ю. В. Горячкин, П. М. Дёмкин, К. Ю. Панькин* // Научно-технический вестник Поволжья. №3, Казань, 2019, – С. 61. – 65.

*05.13.18*

**Н.Н. Беспалов канд. техн. наук, Ю.В. Горячкин канд. техн. наук,
П.М. Дёмкин, К.Ю. Панькин, Д.С. Кондрашин**

Национальный исследовательский
Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва,
кафедра электроники и наноэлектроники,
Саранск, ka-mgu@mail.ru

# МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МОЩНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ В СОСТАВНЫХ ЧАСТЯХ СТРУКТУРЫ СИЛОВОГО ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ПРИБОРА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ПРЯМОГО УДАРНОГО ТОКА

*В статье приведены результаты исследования распределения мощности электрических потерь на составных частях структуры силового полупроводникового прибора при воздействии прямого ударного тока. Исследование проводилось на основе моделирования электрических процессов протекающих в силовых диодах в программной среде Multisim. Полученные результаты могут быть использованы при разработке силовых полупроводниковых приборов и мощных преобразователей электрической энергии на их основе.*

Ключевые слова: *моделирование, силовой полупроводниковый прибор, силовой диод, ударный ток, Multisim.*

Компьютерное моделирование силовых полупроводниковых приборов (СПП), в частности силовых диодов (СД), является важным этапом при их разработке и построении устройств силовой электроники (УСЭ) на их основе, так как позволяет получить данные о характеристиках СПП в различных схемах включения и режимах работы без физического макетирования [1]. Особенно это важно при определении мощности электрических потерь (МЭП) в предельных режимах эксплуатации СПП, так как позволяет объективно оценивать тепловые режимы работы СПП при эксплуатации в составе устройств силовой электроники. Одним из важнейших предельных параметров СПП в состоянии высокой проводимости (СВП) является прямой ударный ток, величину которого обычно устанавливают опытным путём [2, 3]. Однако при этом не учитываются многие физические факторы, что не позволяет объективно оценить величину ударного тока на основе только опытного испытания не дает информации о предельных возможностях СПП.

Возникает необходимость оценки распределения МЭП от протекающего через СПП тока в состоянии высокой проводимости в составных частях приборов. Для оценки распределения МЭП в составных частях структуры СПП при воздействии прямого ударного тока (ПУТ) была использована ранее разработанная нами виртуальная физико-математическая модель СД типа Д161-200 в СВП основанной на аналитической физико-математической модели напряжения на полупроводниковой структуре СД в СВП представленной в [4]. На основе данной модели нами была разработана модель эквивалентного сопротивления СД в СВП представленная в работе [5]:

$$r_F = \left( \frac{2kT_j}{q} \ln \left[ \frac{4L_p}{\pi q D^2 D_p n_i \exp\left[ B\left( 1 - \frac{T_{j0}}{T_j} \right) \right]} \times i_F \right] + \frac{1{,}5kT_j}{q} \exp\left[ \frac{W_n}{2} \sqrt{\frac{b+1}{2bD_p \tau_p}} \right] \right) \times \left( i_F \right)^{-1} + \frac{W_n}{4\pi D^2} \left( \frac{T_j}{T_{j0}} \right)^{1,5} + R_{пров.}$$

где $k$ – постоянная Больцмана, $T_j$ – температура перехода СПП, $q$ – заряд электрона, $L_p$ – диффузионная длина дырок в $n$-базе при высоких уровнях инжекции, $D$ – диаметр полупроводниковой структуры, $D_p$ – амбиполярный коэффициент диффузии, $n_i$ – собственная концентрация носителей заряда полупроводника, $\tau_p$ – время жизни дырок в $n$-

области, $B \approx 23{,}6$ для кремния при температуре ПС $T_{j0} = 25$ °С, $W_n$ – толщина $n$-базы, $b$ – отношение подвижностей электронов и дырок, $R_{пров.}$ – сопротивление внутренних проводников структуры СПП (данная составляющая добавлена нами к формуле, приведённой в [5]).

В разработанной и используемой нами модели учитывается также влияние на процессы в СД диффузионной ёмкости $p$-$n$-перехода $C_d$, определяемой как:

$$c_{\partial} = \frac{q}{kT_j} i_F \tau_p \left( \frac{T_j}{T_{j0}} \right)^{1,5},$$

где $i_F$ – прямой ток протекающий через структуры СПП.

При этом учитываются динамичные тепловые процессы, протекающие в СД в СВП при протекании прямого тока [1, 5]. Для исследования и получения данных о распределения МЭП в составных частях структуры СПП при воздействии ПУТ в программной среде Multisim была реализована модель СД с параметрами и характеристиками аналогичными диоду штыревой конструкции типа Д161-200 [1]. Данная модель также учитывает влияние охладителя и способ охлаждения СД. При этом моделировалось воздушное принудительное охлаждение со скоростью воздушного потока 6 м/с. В качестве охладителя применялись модель с параметрами аналогичными по значениям параметров типового охладителя О171-80.

На рис. 1 представлена функциональная схема используемой для исследований модели СД, на которой изображены электрические составные части структуры СПП. Модель СД включает в себя резистор $R_{пров.}$, который эквивалентен резистивному сопротивлению проводников от внешних контактов до структуры полупроводникового элемента СД. Величина данного сопротивления равна 0,8 мОм.

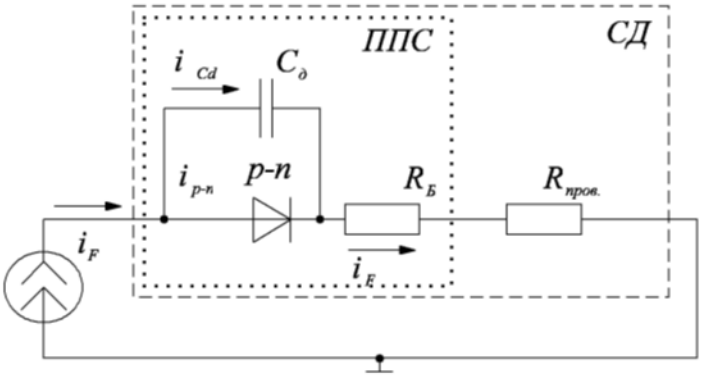
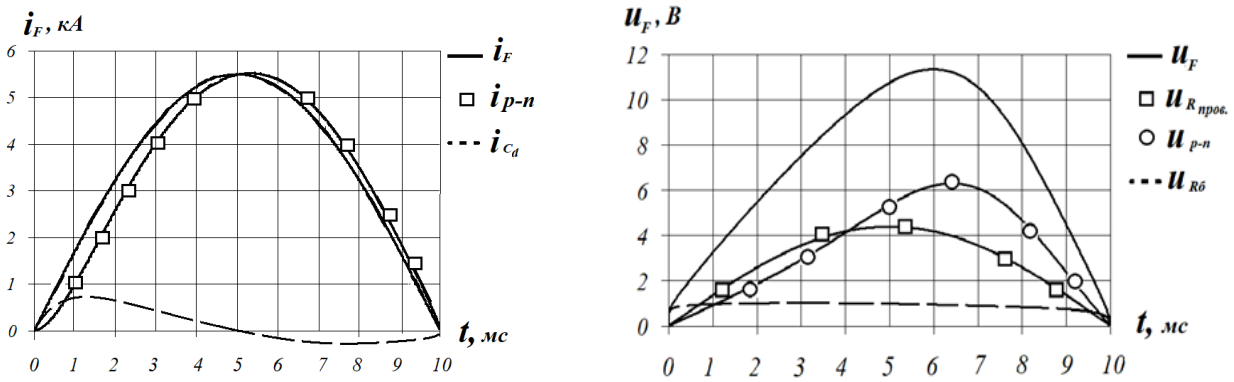



Рис. 1 - Функциональная схема модели СД в СВП

При моделировании СД в СВП в программе Multisim исследовались динамические распределения прямого тока $i_F$ через составные части структуры СД типа Д161-200 и напряжения на них. Решено было проводить исследование при моделировании протекания через СД прямого тока с паспортной величиной ударного тока $I_{F(SM)}$. Амплитуда ударного прямого тока $I_{F(SM)}$ для данного типа СД равна 5,5 кА. Согласно ГОСТ 24461–80 [3] испытательный импульс ударного прямого тока $I_{F(SM)}$ должен быть синусоидальным однополупериодным, длительностью $t$ = 10 мс с амплитудой ударного тока $I_{F(SM)}$ равной паспортному значению. Испытание СД на воздействие ударного тока должно проводиться при предельной температуре структуры $T_{jmax}$, которая для СД типа Д161-200 равна +190°С.

Моделирование СД типа Д161-200 при воздействии ударного тока позволило получить временные диаграммы распределения прямого тока (рис. 2, а) в структуре СД и распределения напряжения на его составных частях (рис. 2, б).




а) б)

Рис. 2 - Временные диаграммы распределения тока IF на составляющие ip-n и iCd (а), временные диаграммы распределения напряжения UF на составляющие URпров.,Up-n и URб (б)

На основе полученных данных были построены временные диаграммы распределения МЭП *Робщ* в составных частях структуры СД типа Д161-200 при воздействии ударного тока, которые изображены на рисунке 3, где составляющие МЭП:

1) общая выделенная мощность $Робщ = i_F u_F = P_{p-n} + P_{Rб} + P_{Rпров}$;

2) $P_{p-n} = i_{p-n}\, u_{p-n}$ – мощность, выделяющаяся в *p-n*-переходе СД;

3) $P_{Rб} = i_F u_{Rб}$ – мощность, выделяющаяся в базе ПС СД;

4) $P_{Rпров.} = i_F u_{Rпров.}$ – мощность, выделяющаяся во внутренних металлических контактных соединениях структуры СД.

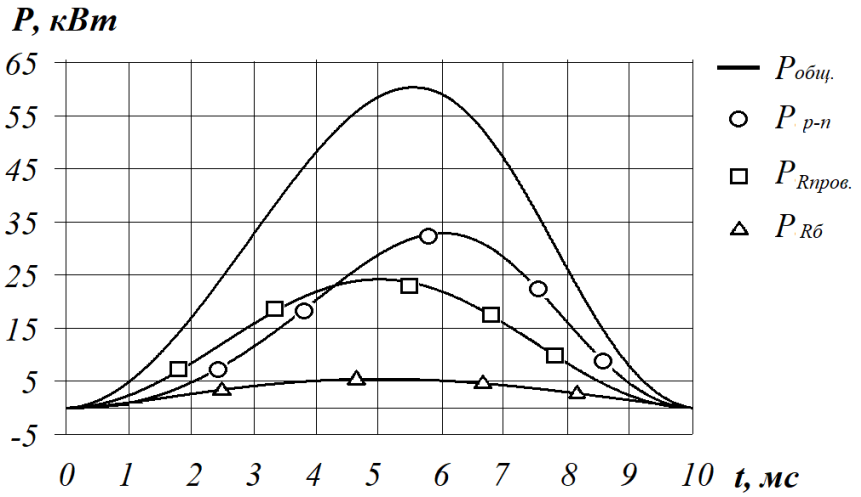



Рис. 3 - Временные диаграммы распределения мощности потерь Робщ на составляющие Рр-п, PRпров. и PRб

Из полученных зависимостей, приведённых на рисунке 3 видно, что электрические потери в СД преобладают в основном в *p-n*-переходе. При этом пиковая величина мощности потерь $P_{p-n}$ достигает 34 кВт и сдвинута относительно амплитуды испытательного тока на 1 мс. Это свидетельствует о влиянии на распределении мощности в ПС СД диффузионной ёмкости *p-n*-перехода $C_d$. При этом пиковые значения $P_{Rб}$ и $P_{Rпров}$ составляют, соответственно, величины в 5 кВт и 24,9 кВт. Необходимо отметить достаточно большую мощность потерь, выделяемую на металлических контактных соединениях структуры СД $P_{Rпров}$,, величина которой сопоставима с мощностью потерь в *p-n*-переходе $P_{p-n}$. Эта информация особенно важна для объективного определения тепловых режимов элементов СД.

**Заключение.** Полученные результаты исследования путем моделирования процессов в СД в программной среде Multisim могут быть использованы при проектировании СПП для оценки электрических и тепловых режимов их работы в устройства силовой электроники.

***Список литературы***

1. *Беспалов Н.Н.* / Особенности вольт-амперной характеристики силового диода при воздействии ударного тока с учётом диффузионной ёмкости / Н. Н. Беспалов, Ю. В.Горячкин, П. М. Дёмкин, К. Ю. Панькин // Чебоксары: XIII ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «ДИНАМИКА НЕЛИНЕЙНЫХ ДИСКРЕТНЫХ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ», 2019 – 477 с, 255-258 с.

2. *Чебовский, О.Г.* Испытания силовых полупроводниковых приборов / О. Г. Чебовский, Л. Г. Моисеев – М. : Энергоатомиздат, 1981. – 200 с.

3. ГОСТ 24461–80. Приборы полупроводниковые силовые. Методы измерений и испытания.

4. *Дерменжи П.Г.* Расчёт силовых полупроводниковых приборов / П. Г. Дерменжи, В. А. Кузьмин, Н. Н. Крюкова Под ред. В. А. Кузьмина – М. : Энергия 1980. – 184 с.

5. *Беспалов Н.Н.* Разработка и исследование электротепловых моделей силовых полупроводниковых приборов основных типовых конструкций / Н. Н. Беспалов, М. В. Ильин, С. С. Капитонов, С. В. Лебедев // Естественные и технические науки № 6 (56)., Москва, 2011. – С. 405-412.

*05.13.18*

**Е.С. Гольцов, И.Я. Дятлов, Н.М. Труфанова д-р техн. наук**

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
электротехнический факультет,
кафедра конструирование и технологии в электротехнике,
Пермь, ktei@mail.ru

# ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА ПРИ СИЛАНОВОЙ СШИВКЕ В ВОДНОЙ ВАННЕ

*В работе были рассмотрены две нестационарные двумерные математические модели тепловых процессов с кабелем с силаносшиваемой изоляцией, намотанным на барабан в силанольной ванне. В одной из моделей кабель, намотанный на барабан, заменен на материал с усредненными теплофизическими свойствами. Проведен анализ работоспособности двух предложенных моделей. Определена возможность использования упрощённой модели с монолитной плитой, для определения параметров процесса и управлением процессом сшивки.*

Ключевые слова: *вулканизация, силановая сшивка, теплообмен, кабель, вода, математическая модель.*

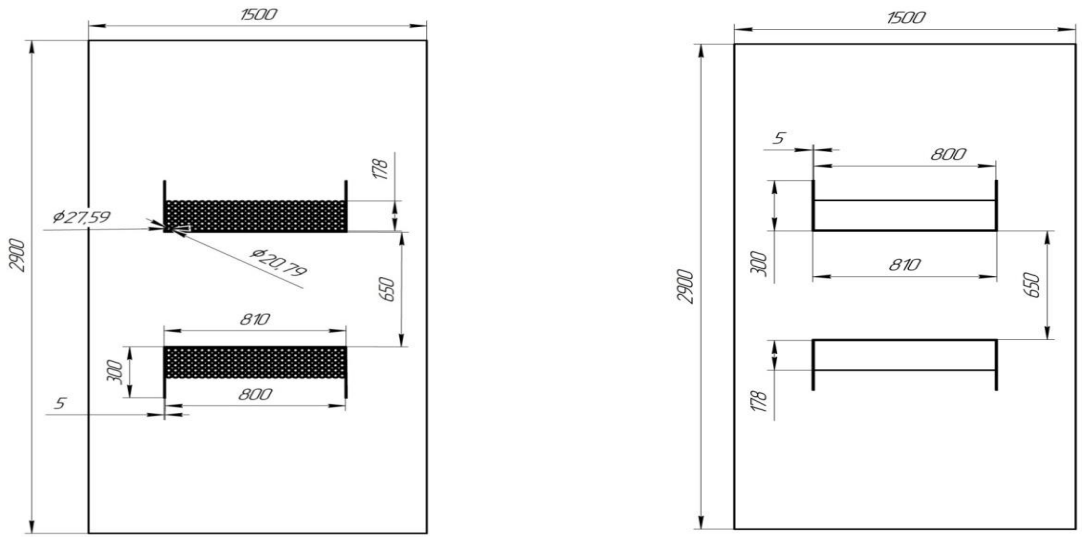
Процесс «сшивки» (вулканизации) полиэтилена необходим для улучшения электрических и механических характеристик изоляции из полиэтилена, который может производиться разными способами. Различают следующие типы сшивки: пероксидная, силановая, радиоционная. В процессе вулканизации между молекулами создаются дополнительные поперечные связи и полимер приобретает сетчатую структуру. Подробно процессы сшивания описаны в статьях [1-4].

Силанольная сшивка происходит во влажной среде(пар,вода) при температуре 80-90 $^{o}$C. Под воздействием влаги происходит гидролиз силанольных групп и последующее их сшивание, ускоряющееся под действием тепла и катализатора.

Целью данной работы является анализ процесса тепломассопереноса в сечении ванны силановой сшивки с барабаном.

При рассмотрении процесса сшивки был выбран кабель марки АПвБВ 1х300/6 кВ длиной 500 м [5]. Кабель наматывается на барабан 12мс с размерами: длина шейки-800мм, диаметр шейки- 650 мм, диаметр щеки-1220мм. Используется ванна шириной 2400 мм и высотой 2940 мм, в которой находится горячая вода.

Рассмотрены две математические модели процесса сшивки: нестационарная, двухмерная математическая модель тепломассопереноса в ванне с кабелем с силаносшиваемой изоляцией, намотанным на барабан и модель, где намотанный на барабан кабель заменен однородным материалом с усредненными теплофизическими свойствами (упрощённая модель). На рис.. 1а,б приведена геометрия рассматриваемых объектов.




а) б)

Рис. 1- а- модель 1 (барабан с кабелем в ванне); б – модель 2 (упрощённая модель)

При создании математической модели процессов тепломассопереноса сделаны следующие допущения: течение воды в ванне ламинарное; теплофизические свойства твёрдых материалов постоянны; среда несжимаемая; на границе раздела разнородных сред реализуется условие идеального контакта.

Математическая модель, описывающая процессы теплообмена, основывается на уравнениях неразрывности(1), движения(2,3), энергии(4,5,6) [6-8]. С учетом сделанных допущений система дифференциальных уравнений имеет вид:

$$-\rho_в\left(\frac{\partial v_x}{\partial x}+\frac{\partial v_y}{\partial y}\right)=\frac{\partial \rho_в}{\partial t}+v_x\frac{\partial \rho_в}{\partial x}+v_y\frac{\partial \rho_в}{\partial y} \quad (1)$$

$$\rho_в\left(\frac{\partial v_x}{\partial t}+v_x\frac{\partial v_x}{\partial x}+v_y\frac{\partial v_x}{\partial y}\right)=\mu_в\Delta v_x \quad (2)$$

$$\rho_в\left(\frac{\partial v_y}{\partial t}+v_x\frac{\partial v_y}{\partial x}+v_y\frac{\partial v_y}{\partial y}\right)=\mu_в\Delta v_y+\rho_в\beta(T-T_0)g \quad (3)$$

$$c_в\rho_в\left(\frac{\partial T}{\partial t}+v_x\frac{\partial T}{\partial x}+v_y\frac{\partial T}{\partial y}\right)=\lambda_в\left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 T}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 T}{\partial z^2}\right) \quad (4)$$

$$c_{из}\rho_{из}\left(\frac{\partial T}{\partial t}+v_x\frac{\partial T}{\partial x}+v_y\frac{\partial T}{\partial y}\right)=\lambda_{из}\left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 T}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 T}{\partial z^2}\right) \quad (5)$$

$$c_{тпж}\rho_{тпж}\left(\frac{\partial T}{\partial t}+v_x\frac{\partial T}{\partial x}+v_y\frac{\partial T}{\partial y}\right)=\lambda_{тпж}\left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 T}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 T}{\partial z^2}\right) \quad (6)$$

$$c_б\rho_б\left(\frac{\partial T}{\partial t}+v_x\frac{\partial T}{\partial x}+v_y\frac{\partial T}{\partial y}\right)=\lambda_б\left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 T}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 T}{\partial z^2}\right) \quad (7)$$

Плотность воды определяется законом:

$$\rho_в(T)=\rho_0[1-\beta_в(T-T_0)] \quad (8)$$

где x,y – декартовые координаты; ρ, c, λ – плотность, кг/м$^3$,теплоемкость, коэффициент теплопроводности жилы, изоляции, воды и барабана, Дж/кг·°С, Вт/м·°С; Т – температура, °С;u-вектора скорости; $\mu_в$- динамическая вязкость воды, Па·с;β-температурный коэффициент плотности воздуха ;g- ускорение свободного падения м/с$^2$.

Были заданы следующие граничные условия: на левой стенке и крышке задано условие адиабатического теплообмена; на нижней стенке задана температура 150°С; на правой стенке задана ось симметрии.

Начальная температура жилы, изоляции и барабана – 20°С, температура воды-90°С.

Реализация разработанной математической модели осуществлялась методом конечных элементов в программном пакете ANSYS.

Для упрощения расчётов в модели 1 были заменены витки кабеля на монолитную конструкцию с усреднёнными теплофизическими свойствами .

В системе уравнений для упрощённой модели исключено уравнение энергии для ТПЖ и изоляции и добавлено для монолитной конструкции, теплофизические свойства которой приведены в таблице 1.

Таблица 1.Эквивалентные свойства монолитной плиты

| Свойства | Плотность, кг/м$^3$ | Удельная теплоёмкость, Дж/кг · ℃ | Теплопроводность, Вт/м · ℃ |
|---|---|---|---|
| Величина | 1645 | 2336 | 79 |

В результаты численных расчётов было получено распределение максимальных и минимальных значений температуры от времени для разных моделей(рис.2).

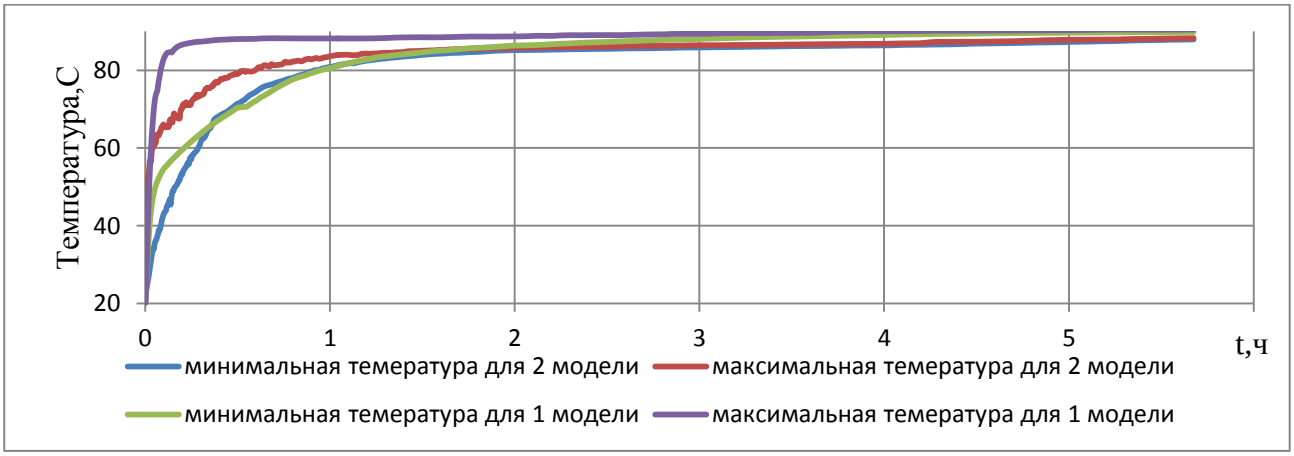



Рис. 2- График зависимости температуры нагрева от времени для 1 и 2 модели

Из рис.2 видно, что для двух моделей при нагреве первые 30 минут значения минимальных температур ТПЖ отличаются на 10 градусов, отличие составляет 16% ,а далее после 2 часов температура отличаются не более чем на 1 градус, (отличие менее 1%). Максимальные значения температур в первые 30 минут нагрева отличаются на 15 градусов ,при более длительном нагреве отличие не превышает 1%. Отсюда можно сделать вывод, что замена первой модели на вторую допустима, так как значения температуры после двух часов нагрева отличаются на1 %

Рассмотрим температурные поля исследуемых зон для двух моделей после 30 минут нагрева (рис.3).

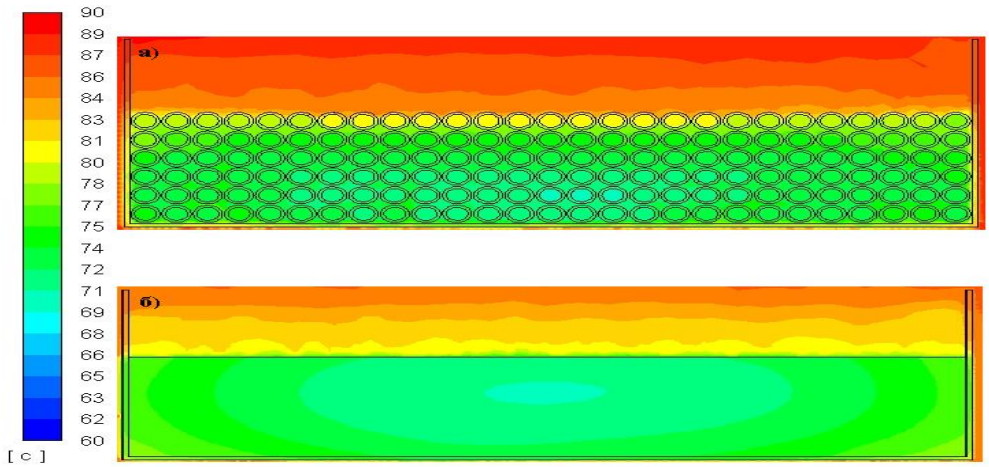



Рис. 3- Распределение температуры через 30 мин нагрева- а) модель 1, б) модель 2

Из рис.3 можно заметить, что для упрощённой модели теплообмен происходит не так интенсивно, что обусловлено меньшей площадью контакта с водой и отсутствием её движения внутри витков, в отличие от модели 1.

Таким образом, в работе были разработаны две математические модели процесса тепломассопереноса в ванне с кабелем с силаносшиваемой изоляцией, намотанным на барабан. Анализ полученных распределений температур показал, что при данных условиях кабель с изоляцией из сшитого полиэтилена прогревается за 2 часа; модель может быть заменена на упрощённую. Результаты данной работы могут быть использоваться при создании технологических режимов сшивки силановой изоляции.

***Список литературы***

1. *Баочжун Х.* Моделирование свойств сшитого полиэтилена //Актуальные проблемы современной науки. 2005.- № 5.С.22-25.
2. *Баочжун Х.* Изучение процессов пероксидной и силановой сшивки полиэтилена// Журнал информ. электро.-10.10.2003.-С.18-21.
3. *Осипчик В.С., Лебедева Е.С., Василец Л.Г.* Разработка и исследование свойств силанольно-сшитого полиэтилена// Пластические массы.-2000.-№ 9.С.27-31 .
4. Сравнение технологий сшивки кабельной полиэтиленовой изоляции// Технология полимерных материалов (пластмассы, ионообменные материалы).-2005.-С.5.
5. ГОСТ Р 55025-2012Кабели силовые с пластмассовой изоляцией на номинальное напряжение от 6 до 35 кВ включительно.
6. *Навалихина Е.Ю., Труфанова Н.М.* Управление токовой нагрузкой линий в кабельном канале с учетом сложного теплообмена// Известия Самар. науч. центра Рос.академии наук. – 2012. – Т. 14. – № 4(5). – С. 1318–1321.
7. *Чиркин В.С.* Теплофизические свойства материалов: справочник.– М//Физ. мат. гиз.-1959. – 356 с.
8. Технические свойства полимерных материалов: учеб.-справ. пособие. В.К. Крыжановский [и др.] // 2-е изд., испр. и доп. – СПб.: Профессия.- 2005. – 248 с.

*05.13.18*

**Ю.В. Горячкин канд. техн. наук, Н.Н. Беспалов канд. техн. наук,
К.Ю. Панькин, П.М. Дёмкин, Д.С. Кондрашин**

Национальный исследовательский
Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва,
кафедра электроники и наноэлектроники,
Саранск, ka-mgu@mail.ru

# МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРЯМЫХ ВОЛЬТ-АМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СИЛОВОГО ДИОДА

*Для определения оптимального теплового режима работы полупроводниковой структуры силового полупроводникового прибора обычно используют экспериментальные методы оценки температуры полупроводниковой структуры по изменениям термочувствительных параметров. В статье приведены результаты моделирования прямых вольт-амперных характеристик силового диода при различных значениях температуры. Результаты исследования получены на основе моделирования в приборно-технологической среде Synopsys TCAD. Показано, что температурный коэффициент напряжения имеет максимальную величину в диапазоне значений прямого тестового тока от 1 А до 10 А.*

Ключевые слова: *силовой полупроводниковый диод, прямой ток, вольт-амперная характеристика, температурный коэффициент напряжения, моделирование, температура.*

**Введение.** Силовые полупроводниковые приборы (СПП) являются основой всех современных устройств силовой электроники (УСЭ). При эксплуатации СПП в УСЭ подвергнуты различным электрическим и тепловым нагрузкам. От теплового режима работы полупроводниковой структуры (ПС) СПП зависит их надёжность. Для определения оптимального теплового режима работы ПС СПП используют экспериментальные методы оценки температуры ПС по изменениям термочувствительных параметров. Наиболее часто для силовых диодов используется линейная зависимость прямого напряжения $U_F$ от температуры ПС. При этом важно определить температурный коэффициент напряжения (ТКН), величина которого меняется от типа СПП, а также от режима измерения.

Для определения ТКН СПП необходимо получить вольт-амперную характеристику (ВАХ) в состоянии высокой проводимости при различной температуре $T_j$ ПС. При этом от точности определения ТКН зависит точность определения такого важнейшего параметра как тепловое сопротивление $R_{TH}$ по величине которого определяется и выбирается тепловой режим работы СПП и, в частности, силовых диодов (СД).

Экспериментальное исследование ВАХ СПП в состоянии высокой проводимости при повышенных значениях температуры требуется применение специальной термокамеры и специальной силовой испытательной аппаратуры с высокоточной измерительной частью, которые являются достаточно дорогостоящими изделиями. Кроме того, точно измерить температуру $T_j$ внутри ПС практически невозможно. В связи с этим возникает потребность в дополнительном инструменте, с помощью которого возможно анализировать зависимости характеристик приборов от режимов работы и температуры. В настоящее время таким инструментом является компьютерное приборно-технологическое моделирование [1].

Целью работы было исследование зависимости ТКН от прямого тока $I_F$ в структуре выпрямительного диода в программной среде приборно-технологического моделирования Synopsys TCAD [2]. Результаты моделирования позволяют выбрать оптимальный тепловой режим работы СД чтобы достигнуть высокой надёжности УСЭ на их основе.

**Разработка модели силового выпрямительного полупроводникового диода.** В качестве объекта моделирования была использована структура выпрямительного СД таблеточной конструкции диаметром полупроводниковой структуры 76 мм, рассчитанного на величину повторяющегося обратного напряжения $U_{RRM}$ = 5000 В и предельный прямой ток $I_{AF}$ = 2500 А. Предельная температура структуры данного диода $T_{jmax}$ = +150 °С. Структура такого СД, созданная в программе Structure Editor [3], показана на рис. 1. На рисунке 1 использованы следующие обозначения Al – алюминиевая металлизация, Mo – молибденовый термокомпенсатор и Cu – медные основания.

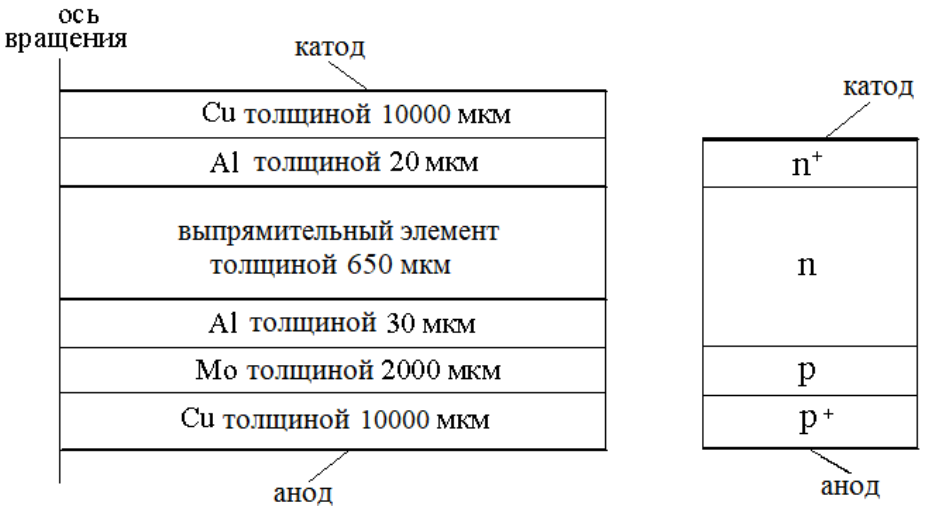



Рис. 1 – Структура силового диода с элементами корпуса (а) и структура полупроводникового выпрямительного элемента (б)

Разработанная модель учитывает эффекты высокого уровня инжекции и влияние концентрации легирующей примеси на электрофизические параметры ПС, а также её разогрев электрической энергией при протекании прямого тока. Подробное описание этих эффектов приведено в [4]. Исследуемая модель не учитывает способ и режимы охлаждения моделируемого диода с помощью внешнего радиатора.

**Моделирование ВАХ силового выпрямительного диода.** Моделирование проводилось в программе Sentaurus Device [5] при начальных значениях температуры кристалла $T_j$, равных +27°С и +77°С. Результаты моделирования прямых ВАХ СД при этих значениях температуры показаны в полулогарифмическом масштабе на рисунке 2.

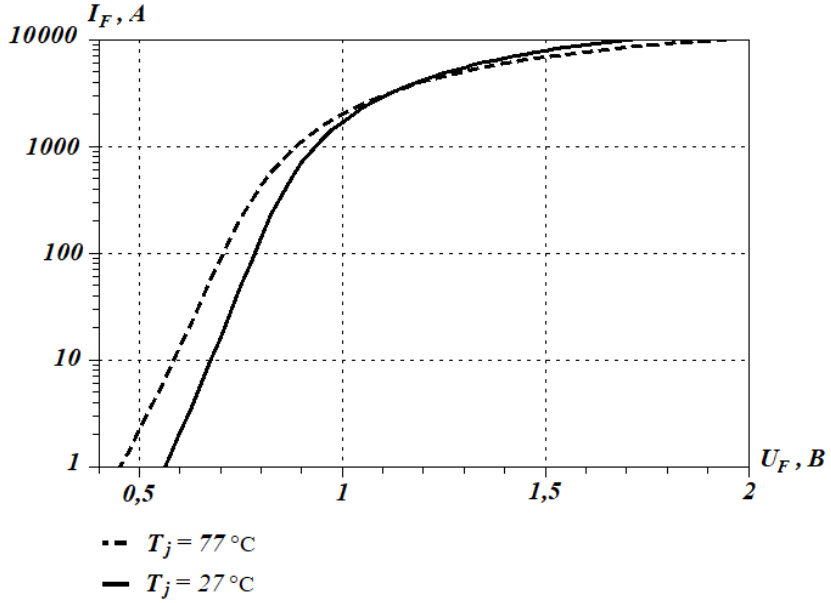



Рис. 2 – ВАХ выпрямительного СД

Из рисунка 2 видно, что точка инверсии ВАХ достигается при прямом токе $I_F$ = 3500 А.

По результатам моделирования ВАХ получены зависимости падения напряжения $U_F$ на силовом диоде от $T_j$ в пределах изменения от +27°С до +77°С при различных значениях постоянного прямого тока $I_F$ в диапазоне от 1 до 10000 А (рис. 3).

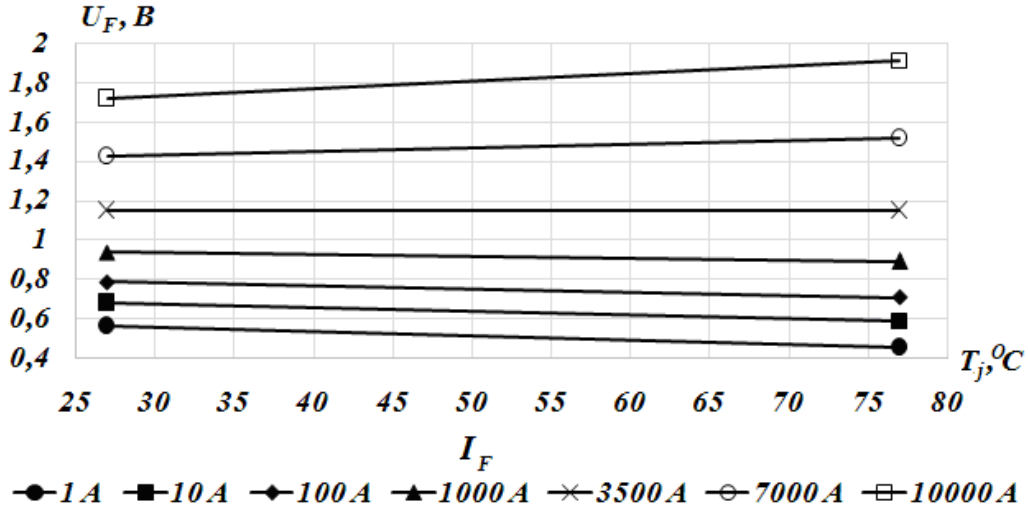



Рис. 3 – Зависимости UF СД от Tj при различных значениях IF

Из этих графиков видно, что эти зависимости линейны, что подтверждает возможность применения прямого напряжения $U_F$ в качестве информативного параметра для определения температуры $T_j$ ПС. Однако чувствительность этого параметра, которая определяется как температурный коэффициент напряжения $\text{ТКН} = \Delta U_F / \Delta T_j$, существенно зависит от величины прямого постоянного тока $I_F$.

На рисунке 4 представлена зависимость ТКН от от температуры $T_j$ ПС. Из этой зависимости видно, что максимальная величина ТКН достигается при прямом постоянном токе $I_F$ = 1 А и равна –2,24 мВ/°С. При этом с увеличением величины прямого тока ТКН резко уменьшается. Так, например, при токе $I_F$ = 100 А величина ТКН равна уже –1,54 мВ/°С и далее стремится к нулю, которого достигает при $I_F$ = 3500 А. Далее ТКН становится положительным.

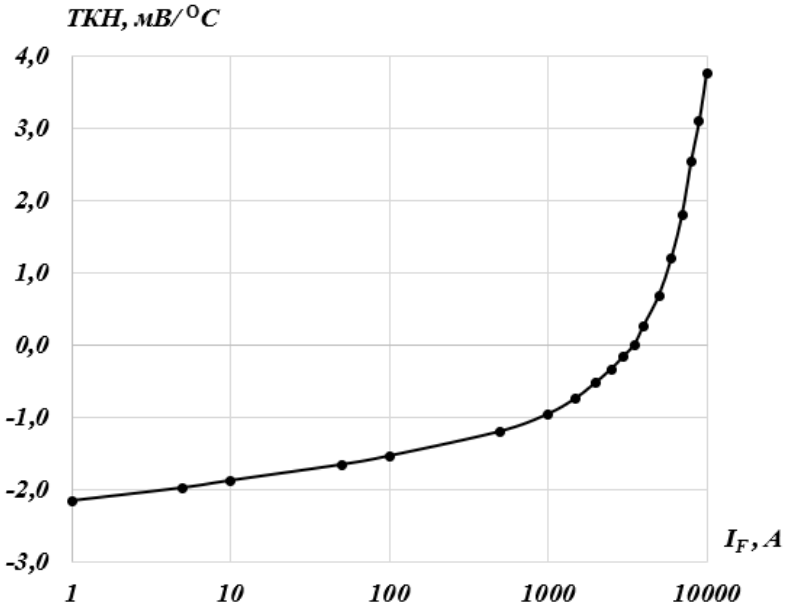



Рис. 4 – Зависимость ТКН от прямого тока IF

**Заключение.** На основании результатов моделирования ВАХ выпрямительного СД определено, что максимальная величина ТКН достигается при изменении прямого тестового тока от $I_F$ = 1 А до 10 А.

При этом следует ожидать, что использование прямого тестового тока $I_F$ , имеющего такие величины, при проведении испытания выпрямительных СД не приведёт к существенному снижению точности определения температуры $T_j$ ПС ввиду несущественного дополнительного её перегрева этим током.

Данный метод предварительной оценки ТКН и выбора величины прямого тестового тока путём моделирования ВАХ может быть применён для СД и силовых тиристоров других типов. Полученные результаты моделирования в дальнейшем будут использованы при разработке экспресс метода и аппаратуры для определении ряда их электрических и тепловых характеристик и параметров.

***Список литературы***

1. Использование компьютерного моделирования в производстве силовых полупроводниковых приборов. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.protonelectrotex.com/files/project_52/Kompiuternoe_modelirovanie.pdf.

2. Technology Computer Aided Design (TCAD). – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.synopsys.com/silicon/tcad.html.

3. Structure Editor. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.synopsys.com/ silicon/tcad/structure-editor.html.

4. *Горячкин Ю.В.* Физико-топологическое моделирование в САПР TCAD. / Ю. В. Горячкин, С. А. Нестеров, Б. П. Сурин. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2006. – 124 с.

5. Sentaurus Device. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.synopsys.com/ silicon/tcad/device-simulation/sentaurus-device.html.

*05.13.18*

**А.А. Зайдуллин, О.Ш. Даутов д-р техн. наук**

Казанский национальный исследовательский технический университет – КАИ
имени А.Н. Туполева,
институт радиоэлектроники и телекоммуникаций,
кафедра радиотехнических систем,
Казань, zaydullin.aynur@yandex.ru

# ПРЕОБРАЗОВАНИЕ СПЕКТРА РАДИОЛОКАЦИОННОГО ИМПУЛЬСА ПРИ РАСПРОСТРАНЕНИИ ЧЕРЕЗ НЕОДНОРОДНУЮ ПОГЛОЩАЮЩУЮ СРЕДУ

*В работе представлены результаты исследования прохождения зондирующих радиолокационных радиоимпульсов через неоднородную двухслойную среду с кусочно-линейной зависимостью волнового сопротивления вдоль направления распространения.*

Ключевые слова: *неоднородная среда, распространение радиоволн, расчет электромагнитного поля, изменение спектра сигнала, электромагнитная волна, характеристическое сопротивление.*

## 1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время известны следующие подходы к решению задачи определения электромагнитного поля в неоднородной среде, возбуждаемой плоской волной.

Первый метод - это матричный подход, который дает точное решение данной проблемы для кусочно-однородных сред. Но этот метод приводит к ошибкам, которые возрастают с увеличением числа анализируемых слоев неоднородной среды.

Второй метод - метод дифференциальных уравнений. До сравнительно недавнего времени для представления поля плоской волны в неоднородной среде использовалось приближенное решение – т. н. приближение Венцеля – Крамерса_- Бриллюена (ВКБ). Точное решение для среды с кусочно-линейной зависимостью волнового сопротивления вдоль направления распространения было получено в 2007 году в работе [1]. Следует отметить, что эти методы расчета электромагнитного поля в неоднородной среде используются для монохроматических сигналов. Между тем значительный научный и практический интерес представляет исследование того, как изменяется сигнал, отличный от монохроматического сигнала, когда он проходит через неоднородную среду. В связи с этим в данной работе ставится и решается задача расчета спектра прямоугольного радиолокационного зондирующего радиоимпульса при прохождении неоднородной среды с линейно возрастающим, а затем убывающим волновым сопротивлением и средой за ее пределами, который сравнивается со спектром того же радиолокационного зондирующего радиоимпульса в отсутствие неоднородной среды.

## 2. ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ РАСЧЕТНЫЕ СООТНОШЕНИЯ

Общие формулы для компонент поля в одномерной неоднородной среде с непрерывным изменением волнового сопротивления получены в [1].

Поле в неоднородной среде для монохроматической плоской электромагнитной волны с плавным и ступенчатым законом изменения волнового сопротивления вычислено в работе [1]. Вычислим поле в неоднородной среде с плавным законом распределения по следующей формуле:

$$E(z) = E(0)exp(-i\int_0^z k(z')\frac{1-R(z')}{1+R(z')}dz'$$

где z’ –переменная интегрирования, z – это координата точки неоднородной среды в которой вычисляется поле электромагнитной волны (может быть равной толщине слоя неоднородной среды), а $R(z')$ – коэффициент отражения, удовлетворяющий уравнению Рикатти [1].

Положим волновое сопротивление свободного пространства равное $W0 = 1$. Представим неоднородную среду в виде двух слоев, при этом в первом слое волновое сопротивление линейно увеличивается, а во втором линейно убывает. Вычислим поле в неоднородной среде в трех случаях: в первом пространство за средой имеет волновое сопротивление такое же как и в последнем слое среды, во втором случае пространство за средой имеет волновое сопротивление меньшее на $0.5 \cdot W0$, а в третьем случае большее на $0.5 \cdot W0$. Графики зависимостей поля для указанных трех случаев показаны в работе [2].

Зондирующий радиолокационный радиоимпульс можно представить, применяя ряд Фурье, в виде весовой суммы гармонических сигналов с определенными амплитудами и фазами. В свою очередь неоднородную среду обоснованно можно представить как фильтр со своей комплексной амплитудной и фазовой характеристикой. Каждый гармонический сигнал в указанном спектре будет проходить через среду независимо от других сигналов. По этой причине можно применить принцип суперпозиции, согласно которому прохождение зондирующего радиолокационного радиоимпульса можно представить как прохождение весовой суммы гармонических сигналов с определенными амплитудами и фазами.

Так как у нас есть решение для монохроматических гармонических сигналов, мы можем приступить к вычислению прохождения радиолокационных радиоимпульсов через неоднородную среду. Параметры его выберем следующими: несущая частота $10^{11}$Гц, длительность $15 \cdot 10^{11}$, период повторения - $15 \cdot 10^{10}$Гц.

$$S_{\omega_n} = \frac{\tau}{T} \cdot \frac{\sin\left[\frac{(\omega_n - \omega_0)}{2} \cdot \tau\right]}{\left[\frac{(\omega_n - \omega_0)}{2} \cdot \tau\right]}$$

$$E_n\left(\frac{D}{2}, \omega_n\right) = S_{\omega_n} \cdot E(0) \cdot \exp\left(-i \cdot \int_0^D k(z', \omega_n) \frac{1 - R(z', \omega_n)}{1 + R(z', \omega_n)}\right)$$

$$En_{12}(1, \omega_n) = \begin{cases} S_{\omega_n} \cdot E(0) \cdot \exp\left(-i \cdot \int_0^D k(z', \omega_n) \frac{1 - R(z', \omega_n)}{1 + R(z', \omega_n)}\right) \\ E_n\left(\frac{D}{2}, \omega_n\right) \exp\left(-i \cdot S_{\omega_n} \cdot \int_{\frac{D}{2}}^z k(z', \omega_n) \frac{1 - R(z', \omega_n)}{1 + R(z', \omega_n)}\right) \end{cases}$$

$E(0) = E0 \cdot \big(1 + R(0)\big)$ –общее поле до неоднородной среды.

Где $En_{12}$ – это значение напряженности поля в неоднородной среде для каждой частотной компоненты дискретного комплексного спектра периодической последовательности радиоимпульсов. Модуль этого спектра показан на рис. 1.

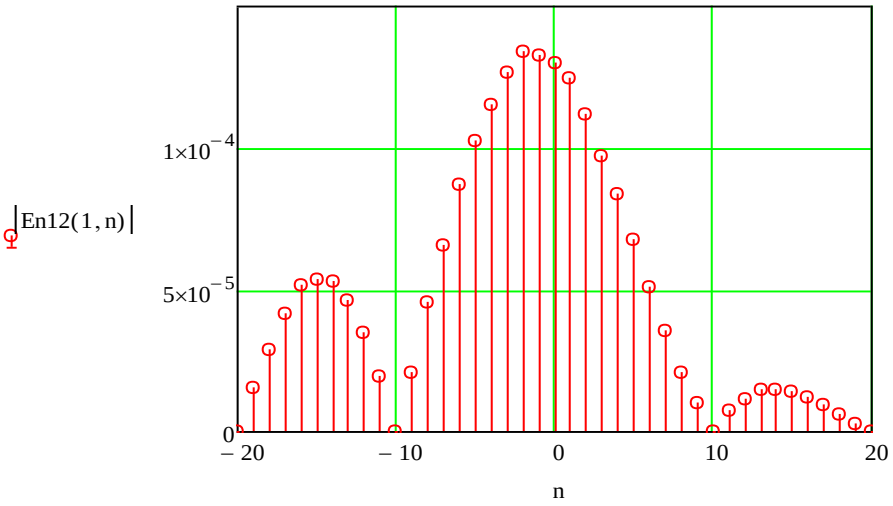



Рис. 1- Модуль амплитудного спектра радиоимпульса

Фазовый спектр показан на рис. 2.

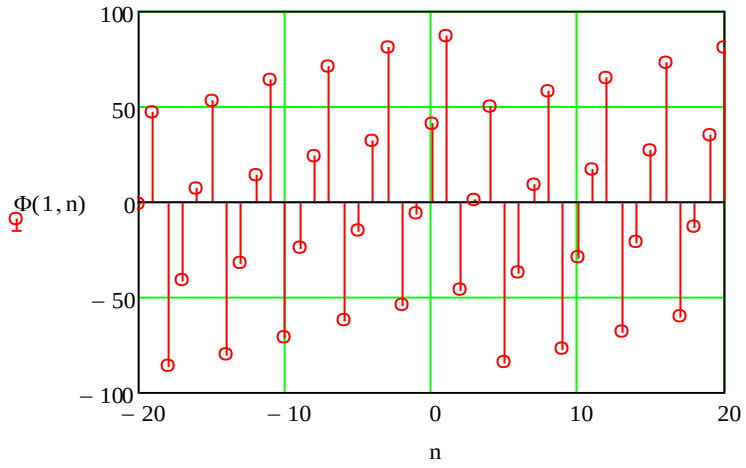



Рис. 2- Фазовый спектр радиоимпульса

В результате можно заключить, что компоненты спектра с увеличением частоты уменьшают свою амплитуду. Это можно объяснить тем, что на высоких частотах увеличивается затухание. Фазовый спектр тоже значительно искажается. Чтобы оценить искажение радиолокационного радиоимпульса, необходимо провести обратное преобразование Фурье. В результате получаем представление периодической последовательности радиоимпульсов во временной области. Радиоимпульс, восстановленный после прохождения через неоднородную среду, показан на рис. 3. Если сравнить его с радиоимпульсом, до прохождения через неоднородную среду, показанном на рис. 4, то можно увидеть различие в форме: фронты радиоимпульса после прохождение через неоднородную среду вытягиваются, а «прогиб» в центре увеличивается. Полученные результаты качественно согласуются с результатами, полученными в работе [3], в которой показана форма прямоугольного импульса после прохождения его через неоднородную среду.

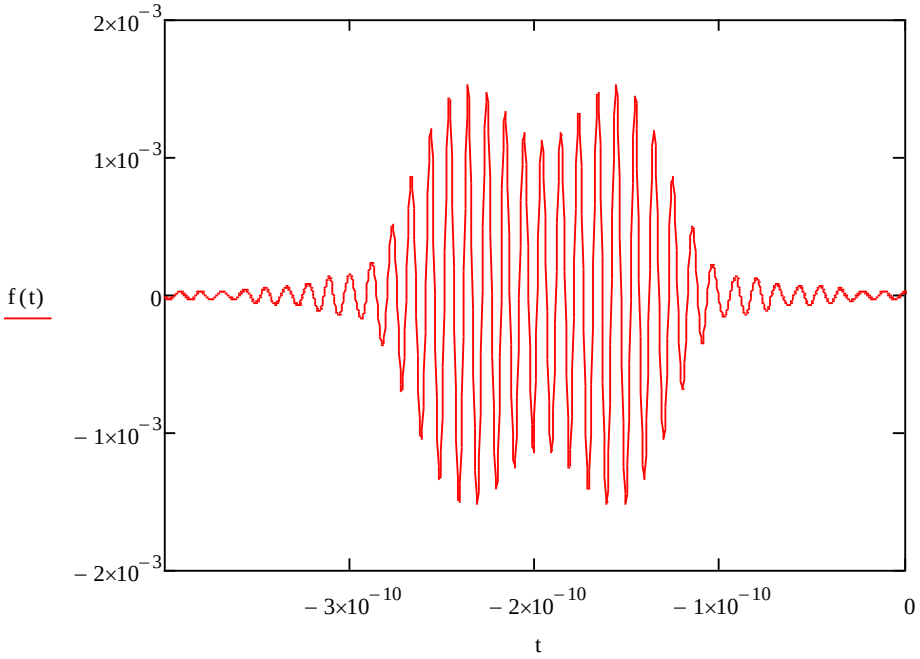



Рис. 3- Радиоимпульс, восстановленный после прохождения через неоднородную среду

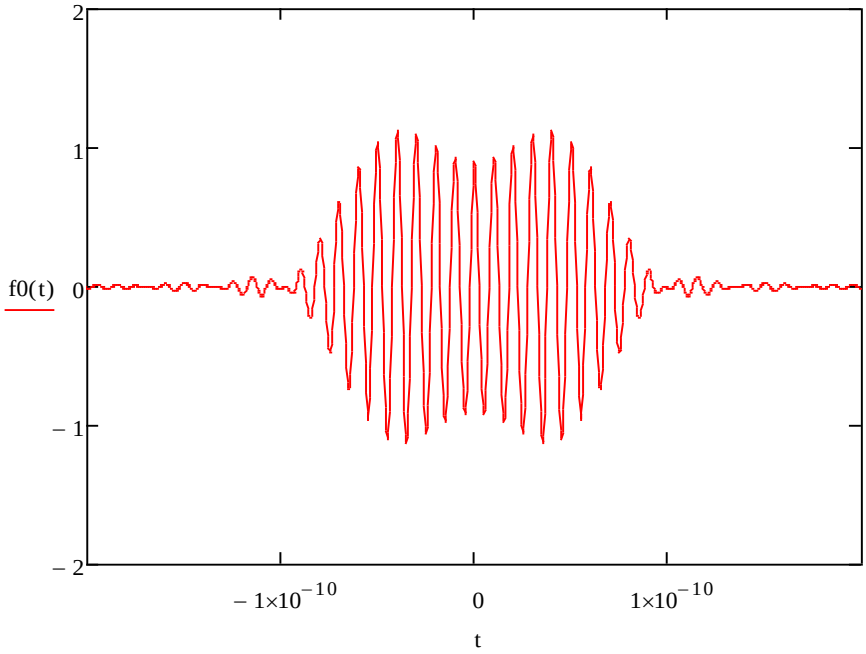



Рис. 4- Радиоимпульс, до прохождения через неоднородную среду

**Выводы**

Компоненты спектра радиолокационного радиоимпульса с увеличением частоты значительно уменьшают свою амплитуду. Фазовый спектр радиолокационного радиоимпульса, прошедшего через неоднородную среду, имеет кусочно-линейный закон изменения в отличие от равномерного распределения фазового спектра для радиолокационного радиоимпульса в отсутствии среды. Форма радиолокационного радиоимпульса значительно искажается, что ведет к потребности в изменении устройств приема радиосигналов для более оптимальной обработки сигналов.

***Список литературы***

1. *Dautov O.Sh.* Environ. Radioecol. Appl. Ecol. // 2007, Vol. 13, № 1, pp. 16-29
2. *Dautov O.Sh.* International Conference on Antenna Theory and Techniques // 2017, Kyiv, Ukraine, pp. 1-4.
3. *Гинзбург В.Л.,* Распространение электромагнитных волн в плазме, монография. 2-е изд., переработанное. Изд-ва «Наука», 1967.

*05.13.18*

**[1]М.А. Зубрицкий, [2] О.Ю. Ушаков канд. техн. наук, [3,4]Л.С. Сабитов канд. техн. наук**

[1]ООО «УралКонцептПроект»,
Екатеринбург, zubrickiy_maksim@mail.ru,
[2]Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина,
Екатеринбург,
[3]Казанский государственный энергетический университет,
[4]Казанский (Приволжский) федеральный университет,
Казань

# УЧЕТ ВЫСШИХ ФОРМ КОЛЕБАНИЙ ПРИ ОЦЕНКЕ СЕЙСМОСТОЙСКОСТИ СИСТЕМ НЕЛИНЕЙНЫМ СТАТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

*В статье предложена методика учета высших форм колебаний при оценке сейсмостойкий систем на воздействия уровня «Максимальное расчетное землетрясение» (МРЗ). В рамках исследования выполнен комплекс динамических и статических расчетов нелинейной постановке с целью верификации предложенной методики нахождения модифицированной системы сил. Установлено, что расчет на воздействия уровня МРЗ с учетом высших форм колебаний позволяет значительно снизить дефицит сейсмостойкости систем.*

Ключевые слова: *численное моделирование, максимальное расчетное землетрясение, напряженно-деформированное состояние.*

На сегодняшний день для нахождения наиболее неблагоприятного отклика системы нелинейным статическим методом необходимо выполнить как минимум два расчета с различным распределением инерционных горизонтальных сил по высоте системы:

Система инерционных сил, соответствующая главной форме собственных колебаний системы. Оценку сейсмостойкости системы с заданным распределением возможно выполнить только если модальная масса рассматриваемой формы не менее 75%;

Система инерционных сил, полученная на основании суперпозиции инерционных сил нескольких форм колебаний. При этом суммарная модальная масса рассматриваемых колебаний не должна быть меньше 90%;

Универсальное распределение системы сил пропорционально сосредоточенным массам в узлах системы;

Дальнейший поиск характеристической точки на графике несущей способности системы, посредством которой оценивается сейсмостойкость системы – процесс трудоемкий и требующий построения громоздких графиков и нетривиальных вычислений. В современных программных комплексах реализован нелинейный статический метод только на основании системы инерционных сил, соответствующей только одной из форм колебаний. Кроме того, отклик конструкции при заданном воздействии значительно меньше результатов, полученных на основании прямого динамического метода, на основании которого возможно наиболее точно оценить отклик конструкции на заданное сейсмическое воздействие.

Под модифицированной системой инерционных сил будем понимать систему сил, полученную на основании суперпозиции сил методом «Корень Квадратный Суммы Квадратов», при которой перемещение верха рассматриваемой расчетной модели будет соответствовать суммарным перемещениям, полученным на основании линейно-спектрального анализа.

Согласно [5] для разрушения материала, независимо от того, какая будет приложена нагрузка (т.е. статическое медленное загружение, динамическое – быстрое загружение, однократное или многократное), необходимо затратить одно и то же количество энергии.

Таким образом, энергия деформации линейной системы с модифицированной системой инерционных сил тождественна энергии деформации системы с учетом пластических деформаций.

Следующим этапом оценки сейсмостойкости является построение на основании нелинейного статического расчета системы с одной степенью свободы при действии модифицированной системы инерционных сил графика зависимости «Усилие в основании $V_b$ – Смещение верха системы $\Delta$» – график несущей способности. Учитывая, что энергии упругой и упругопластической деформации равны, полученное значение перемещения верха системы $\Delta$ является целевым значением для оценки сейсмостойкости всей системы в целом, на основании которого возможно определить междуэтажные смещения, внутренние усилия в элементах системы, а также проанализировать заупругую работы узлов и элементов системы.

В качестве расчетной динамической модели принят вертикальный стержень с тремя равномерно распределенными по высоте сосредоточенными массами.

Для описания нелинейной работы элементов системы принята модель изотропного упрочнения стали (Bilinear Kinematic Hardening).

Сейсмические воздействия заданы следующими однокомпонентными акселерограммами, действующими в плоскости YoZ:

1. Iran, 1978 г. (Erthq. 1);
2. El Centro, USA (California), 1979 г. (Erthq. 2);
3. Duzce, Turkey, 1999 г. (Erthq. 3).

Записи акселерограмм взяты из базы данных PEER Ground Motion Data Base [12].

Для вычисления системы сил РДМ-1 для выполнения анализа сейсмостойкости системы мультимодальным нелиненйым статическим методом исходными данными являются инерционные силы первых трех форм колебаний.

Распределение инерционных сил и результирующая система сил для сейсмического воздействия Iran, 1978 г. (Erthq1) получены на основании линейно-спектрального анализа.

Для вычисления коэффициента редуцирования инерционных сил выполним статический расчет системы. Полученное значение коэффициента представлено в таблице 1.

Следующим этапом оценки сейсмостойкости системы является выполнение нелинейного статического расчета при действии модифицированной системы инерционных сил, на основании которого строится кривая несущей способности в координатах «сдвигающая сила в основании – перемещение верха системы».

Поиск характеристической точки является итерационным: необходимо найти такую точку на графике несущей способности, чтобы площадь образованной под графиком фигуры соответствовала целевой энергоемкости системы. Оценка погрешности результатов расчетов представлены в таблицах 1–3.

Таблица 1. Оценка погрешности мультимодального нелинейного статического метода для РДМ-1 при сейсмическом воздействии Iran, 1978 г. (Erthq1)

| Сравниваемый параметр | | Прямой динамический метод | Нелинейный статический метод | Погрешность, % |
|---|---|---|---|---|
| Горизонтальные смещения, мм | Верхний узел | -295.70 | -282.0 | -4.63 |
| | Средний узел | -163.80 | -159.66 | -2.52 |
| | Нижний узел | -55.10 | -54.69 | -0.74 |
| Максимальный изгибающий момент в заделке, кНм | | 267.38 | 287.56 | +7.02 |
| Максимальная поперечная сила в заделке, кН | | 41.19 | 49.0 | +15.9 |

Таблица 2. Оценка погрешности мультимодального нелинейного статического метода для РДМ-1 при сейсмическом воздействии El Centro, USA (California) (Erthq2)

| Сравниваемый параметр | | Прямой динамический метод | Нелинейный статический метод | Погрешность, % |
|---|---|---|---|---|
| Горизонтальные смещения, мм | Верхний узел | -282.15 | -270.85 | -4.00 |
| | Средний узел | -151.65 | -153.08 | +0.64 |
| | Нижний узел | -46.79 | -51.75 | +9.58 |
| Максимальный изгибающий момент в заделке, кНм | | 270.3 | 284.76 | +5.08 |
| Максимальная поперечная сила в заделке, кН | | 43.73 | 48.73 | +10.3 |

Таблица 3. Оценка погрешности мультимодального нелинейного статического метода для РДМ-1 при сейсмическом воздействии Kobe, Japan, 1995 г. (Erthq3)

| Сравниваемый параметр | | Прямой динамический метод | Нелинейный статический метод | Погрешность, % |
|---|---|---|---|---|
| Горизонтальные смещения, мм | Верхний узел | -268.25 | -274.0 | +2.10 |
| | Средний узел | -140.87 | -154.2 | +8.64 |
| | Нижний узел | -46.55 | -51.95 | +10.39 |
| Максимальный изгибающий момент в заделке, кНм | | 271.54 | 284.78 | +4.65 |
| Максимальная поперечная сила в заделке, кН | | 43.68 | 47.77 | +8.56 |

Для оценки качества полученных данным выполним их статистическую обработку:

– Среднее значение погрешности горизонтальных смещений узлов системы составило 2,16%; среднеквадратичное отклонение – 5,59 %;

– Среднее значения погрешности изгибающих моментов в элементах системы составило 5,58%; среднеквадратичное отклонение – 1,03 %;

– Среднее значения погрешности поперечных сил в элементах системы составило 11,58%; среднеквадратичное отклонение – 3,13 %.

**Заключение**

Для учета влияния высших форм колебаний при оценке сейсмостойкости систем предложена методика поиска начальных инерционных сил для последующего нахождения характеристической точки на графике несущей способности системы – мультимодальный нелинейный статический метод. Разработанная методика позволяет производить оценку сейсмостойкости высотных конструкций, а также нерегулярных по высоте зданий и сооружений. Стоит отметить, что при меньших затратах машинного времени мультимодальный нелинейный статический метод может быть достойной альтернативной прямому динамическому методу.

***Список литературы***

1. СП 14.13330.2014. Строительство в сейсмических районах. М.:2014
2. Eurocode 8: Seismic Design of Buildings. EUR 25204 EN - 2012
3. *Бирбраер А.Н.* Расчет конструкций на сейсмостойкость. СПб, 1988
4. *Мкртычев О.В.* Безопасность зданий и сооружений при сейсмических и аварийных воздействиях. М.:2010
5. *Мкртычев О.В., Джинчвелашвили Г.А.* Проблемы учета нелинейностей в теории сейсмостойкости (гипотезы и заблуждения). М.:2012
6. *Kalkan, E., and Kunnath, S. K.* (2004). "Method of modal combinations for pushover analysis of buildings." Proc. of the 13th World Conference on Earthquake Engineering, August 1-6, 2004, Vancouver, BC, Canada
7. Applied Technology Council (ATC-40). (1996). Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings, Redwood, CA
8. FEMA-356. (2000). Prestandard and Commentary for the seismic rehabilitation of buildings, American Society of Civil Engineers (ASCE), Reston, VA
9. *Chopra, A.K., & Geol, R.K.* (1999). Capacity-demand-diagram methods based on inelastic design spectrum. Earthquake Spectra, 637-656
10. *Chopra A.* (1995). "Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering", Prentice Hall
11. *Chopra A.K., Goel R.K.* (2000). 'Evaluation of NSP to estimate seismic deformation: SDF systems. ' Journal of Structural Engineering, 126(4), 482-490
12. PEER Ground Motion Database // https://ngawest2.berkeley.edu/»

*05.13.18*

**[1]М.А. Зубрицкий, [2] О.Ю. Ушаков канд. техн. наук, [3,4]Л.С. Сабитов канд. техн. наук**

[1]ООО «УралКонцептПроект»,
Екатеринбург, zubrickiy_maksim@mail.ru,
[2]Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина,
Екатеринбург,
[3]Казанский государственный энергетический университет,
[4]Казанский (Приволжский) федеральный университет,
Казань

# МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ СИСТЕМ ПРИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ УРОВНЯ «МАКСИМАЛЬНОЕ РАСЧЕТНОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ»

*В статье представлен краткий обзор методов оценки сейсмостойкий систем при воздействиях уровня «Максимальное расчетное землетрясение». В рамках исследования выполнен комплекс динамических и статических расчетов с целью сравнения основных методов расчета систем при действии МРЗ: нелинейного статического метода (НСМ) / Pushover-анализ и прямого динамического метода. Установлено, что НСМ достаточно точно позволяет определить локализацию пластических деформаций, но дает значительную погрешность по сравнению с динамическим методом в части внутренних усилий и горизонтальных перемещений.*

Ключевые слова: *численное моделирование, максимальное расчетное землетрясение, напряженно-деформированное состояние.*

В настоящее время расчет зданий и сооружений на сейсмические воздействия, соответствующие уровню максимального расчетного землетрясения (МРЗ), сопряжен с довольно сложными техническими требования. Целью расчетов на воздействие уровня МРЗ является предотвращение глобального обрушения сооружения или его частей, создающего угрозу безопасности людей. Оценку сейсмостойкости при действии МРЗ необходимо выполнять, используя прямой динамический расчет с учетом решения дифференциальных уравнений движения во временной области с использованием набора инструментальных записей ускорений основания при землетрясениях, наиболее опасных для сооружения, или синтезированных акселерограмм. Такие расчеты требуют большого временного ресурса, сложного программного обеспечения и специальной квалификации проектировщика.

Альтернативой прямого динамического расчета является нелинейный статический метод – Pushover analysis, при котором конструкция подвержена монотонно возрастающим горизонтальным усилиям, соответствующим выбранной форме колебаний. Этот метод связывает несущую способность, представленную как зависимость перемещения верха здания от силы сдвига в основании, с сейсмическим требованием, представленным в виде спектра реакции. По результатам Pushover анализа возможно оценить несущую способность конструкции и ее элементов, последовательность их разрушения и отказа, идентифицировать слабые элементы конструкции, пластические деформации которых соответствуют разрушению конструкции.

Несомненным преимуществом нелинейного статического метода является значительная экономия времени машинного расчета и трудоемкости оценки сейсмостойкости по сравнению с прямым динамическим методом.

В качестве расчетной динамической модели принят вертикальный стержень с тремя равномерно распределенными по высоте сосредоточенными массами (рисунок 1).

Для описания нелинейной работы элементов системы принята модель изотропного упрочнения стали (Bilinear Kinematic Hardening). Общие характеристики системы приведены в таблице 1.

Сейсмические воздействия заданы следующими однокомпонентными акселерограммами, действующими в плоскости YoZ:

1. Iran, 1978 г. (Erthq. 1);
2. El Centro, USA (California), 1979 г. (Erthq. 2);
3. Duzce, Turkey, 1999 г. (Erthq. 3).

Записи акселерограмм взяты из базы данных PEER Ground Motion Data Base [12].

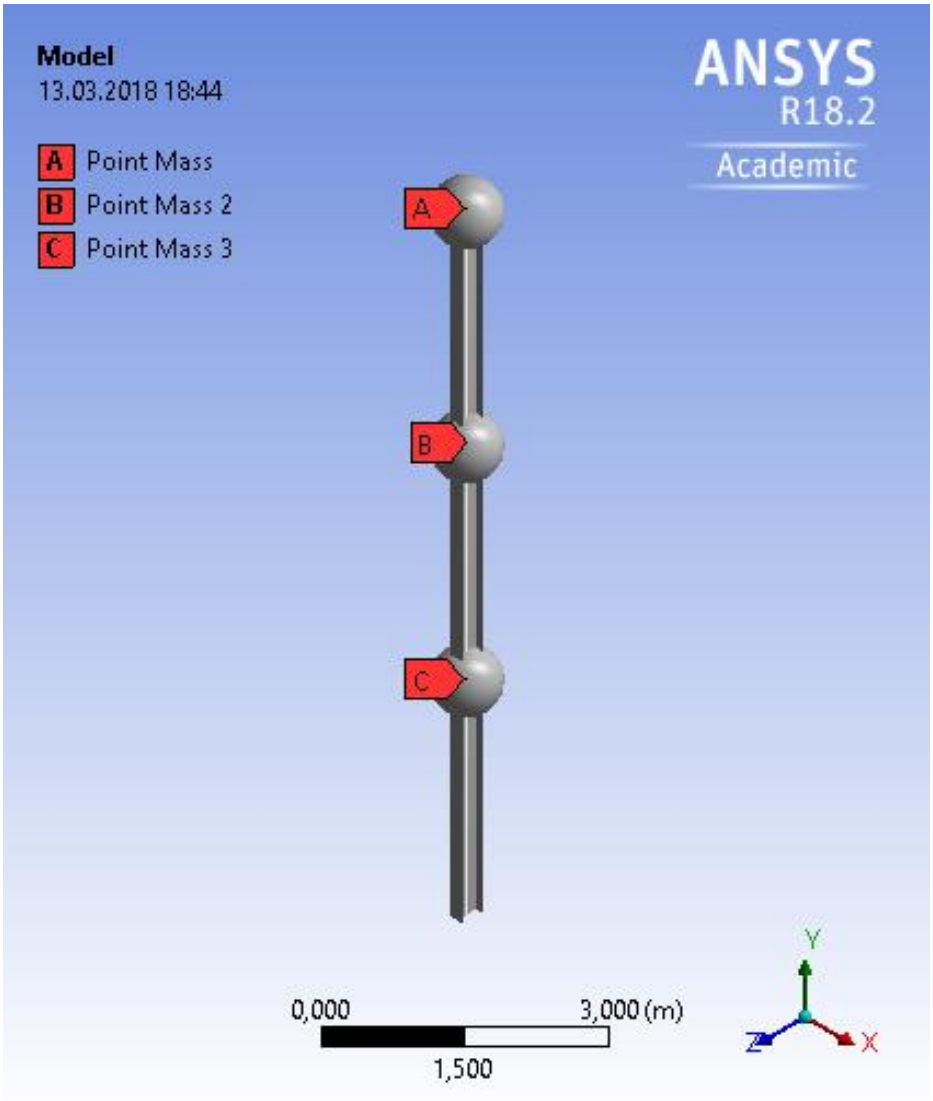



Рис. 1. Общий вид расчетной динамической модели

Таблица 1. Общие характеристики системы

| №, п/п | Наименование | Значение | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Erthq.1 | Erthq.2 | Erthq.3 |
| 1 | Сечение, *мм* | *Двутавр 300(h)x200(b)x15($b_f$)x8($b_w$)* | | |
| 2 | Высота, *мм* | *9000* | | |
| 3 | Модуль деформации, *Па* | *$2e^{11}$* | | |
| 4 | Предел упругости, *МПа* | *270* | | |
| 5 | Тангенциальный модуль деформации, *МПа* | *$5.361e^{3}$* | | |
| 6 | Сосредоточенные массы $m_a = m_b = m_c$, *кг* | *3000* | *10000* | *7000* |
| 7 | Первая частота собственных колебаний $f_1$, *Гц* | *0.853* | *0.45094* | *0.5637* |
| 8 | Вторая частота собственных колебаний $f_2$, *Гц* | *5.397* | *2.8677* | *3.5813* |

Отклик динамической модели на сейсмическое воздействие, заданное в виде акселерограмм землетрясений, выполнено в программном комплексе ANSYS R18.2.

Отклик системы оценивался по следующим параметрам:

– Горизонтальные смещения узлов системы;

– Внутренние усилия в наиболее нагруженных элементах (изгибающий момент, поперечная сила).

Анализ сейсмостойкости системы нелинейным статическим методом для главной формы колебаний, имеющую наибольшую модальную массу, выполнен с использованием модуля Pushover программного комплекса Lira 10.6, в котором реализован итеративный графоаналитический метод поиска характеристической точки.

Анализ результатов, полученных на основании оценки сейсмостойкости системы РДМ-1 на основании прямого динамического метода и нелинейного статического метода, представлены в Таблице 2.

Таблица 2. Результаты расчетов для сейсмических воздействий Erthq.1..3

| №, п/п | Наименование | Значение | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Erthq.1 | | Erthq.2 | | Erthq.3 | |
| 1 | Максимальные перемещения верхнего узла системы, *мм* | *-295.70*<br>*-204.34* | *-30.9%* | *-282.15*<br>*-274.21* | *-2.81%* | *-268.25*<br>*-226.54* | *-15.55%* |
| 2 | Максимальные перемещения среднего узла системы, *мм* | *-163.80*<br>*-108.23* | *-33.9%* | *-151.84*<br>*-144.61* | *-4.76%* | *-140.87*<br>*-119.72* | *-15.01%* |
| 3 | Максимальные перемещения нижнего узла системы, *мм* | *-55.10*<br>*-31.86* | *-42.2%* | *-46.79*<br>*-44.38* | *-5.15%* | *-46.55*<br>*-35.23* | *-24.32%* |
| 4 | Максимальный изгибающий момент в заделке системы, *кН·м* | *267.38*<br>*235.24* | *-12.0%* | *270.3*<br>*275.63* | *1.93%* | *271.54*<br>*244.07* | *-10.12%* |
| 5 | Максимальная поперечная сила в заделке системы, *кН* | *41.19*<br>*31.43* | *-23.7%* | *43.73*<br>*36.786* | *-15.8%* | *43.68*<br>*32.58* | *-25.41%* |

1. В числителе указаны результаты, полученные на основании прямого динамического метода, в знаменателе – на основании нелинейного статического метода.

2. Погрешность со знаком «-» обозначает дефицит сейсмостойкости по заданному критерию

**Заключение**

Анализируя результаты выполненных расчетов на различные сейсмические воздействия прямым динамическим методом и нелинейным статическим методом, можно сделать следующие выводы:

– Максимальные значения смещения верха системы по результатам расчетов отличаются более чем на 10%. Разность между горизонтальными смещениями узлов системы с уменьшением высоты только возрастает. Максимальная разница результатов – порядка 42.2%.

– Места образования пластических шарниров и разрушения конструкции в РДМ при разных методах расчета тождественны.

– Установлено, что дефицит сейсмостойкости высотных зданий и сооружений при оценке НСМ вызван недоучетом высших форм колебаний (в представленных расчетах 2ой и 3ей формах колебаний). Традиционный Pushover-анализ, выполняемый по главной форме колебаний, может использоваться только для малоэтажных зданий и низких сооружений.

– Необходимо разработать методику суммирования инерционных сил или результатов расчетов по каждой из форм при НСМ, построения кривой несущей способности и поиска характеристической точки. Полученные результаты должны быть коррелированы с результатами на основе нелинейного динамического метода.

***Список литературы***

1. СП 14.13330.2014. Строительство в сейсмических районах. М.:2014
2. Eurocode 8: Seismic Design of Buildings. EUR 25204 EN - 2012
3. *Бирбраер А.Н.* Расчет конструкций на сейсмостойкость. СПб, 1988
4. *Мкртычев О.В.* Безопасность зданий и сооружений при сейсмических и аварийных воздействиях. М.: 2010
5. *Мкртычев О.В., Джинчвелашвили Г.А.* Проблемы учета нелинейностей в теории сейсмостойкости (гипотезы и заблуждения). М.:2012
6. *Kalkan, E., and Kunnath, S. K.* (2004). “Method of modal combinations for pushover analysis of buildings.” Proc. of the 13th World Conference on Earthquake Engineering, August 1-6, 2004, Vancouver, BC, Canada
7. Applied Technology Council (ATC-40). (1996). Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings, Redwood, CA
8. FEMA-356. (2000). Prestandard and Commentary for the seismic rehabilitation of buildings, American Society of Civil Engineers (ASCE), Reston, VA
9. *Chopra, A.K., & Geol, R. K.* (1999). Capacity-demand-diagram methods based on inelastic design spectrum. Earthquake Spectra, 637-656

*05.13.18*

**А.А. Корелин, И.Я. Дятлов, Н.М. Труфанова д-р техн. наук**

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
электротехнический факультет,
кафедра конструирование и технологии в электротехнике,
Пермь, ktei@mail.ru

# ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СШИВКИ ПОЛИЭТИЛЕНА В ВУЛКАНИЗАЦИОННОЙ ТРУБЕ В СРЕДЕ АЗОТА

*В работе рассматривается стационарная осесимметричная математическая модель процесса сшивки полиэтиленовой изоляции в вулканизационной трубе. Получены температурные поля для исследуемой области. Построены зависимости температур изоляции, жилы кабеля и степень сшивки от скорости изолирования по длине заготовки. По результатам расчетов была определена оптимальная скорость изолирования.*

Ключевые слова: *математическая модель, полиэтиленовая изоляция, вулканизационная труба, сшивка, степень сшивки, тепломассоперенос.*

Сшитый полиэтилен обладает лучшими механическими и электрическими характеристиками.

Суть процесса «сшивки» состоит в том, что при изолировании жилы экструдируется полиэтилен (ПЭ) с вулканизирующими агентами, после чего происходит термическая обработка заготовки, в результате этого между молекулами ПЭ создаются дополнительные поперечные связи. Подробно процессы сшивания описаны в статье [1].

Существуют три вида сшивки: пероксидная, силановая и радиационная. В статье [2] оценено влияние типов сшивки на качество изделия.

При рассмотрении процесса пероксидной сшивки был выбран кабель марки ПвП 1х150(мк)/25 (радиус жилы 6,7 мм; толщина изоляции 4,6 мм)[3].

Для моделирования процесса сшивки была выбрана линия непрерывной вулканизации наклонного типа, где в качестве среды вулканизации используется азот. Характеристики линии, используемые для расчета, приведены в таблице 1.

Таблица 1. Параметры линии вулканизации

| Наименование | Значение |
|---|---|
| Общая длина трубы, м | 168 |
| Длина зоны нагрева, м | 54 |
| Длина зон охлаждения, м | 114 |
| Диаметр трубы вулканизации, мм | 250 |
| Диаметр трубы охлаждения, мм | 200 |
| Давление азота в трубе, Ат | 20 |

На рис. 1 представлена схема линии вулканизации, зона нагрева которой разделена на 9 секций по 6 метров, а зона охлаждения на 19 секций по 6 метров.

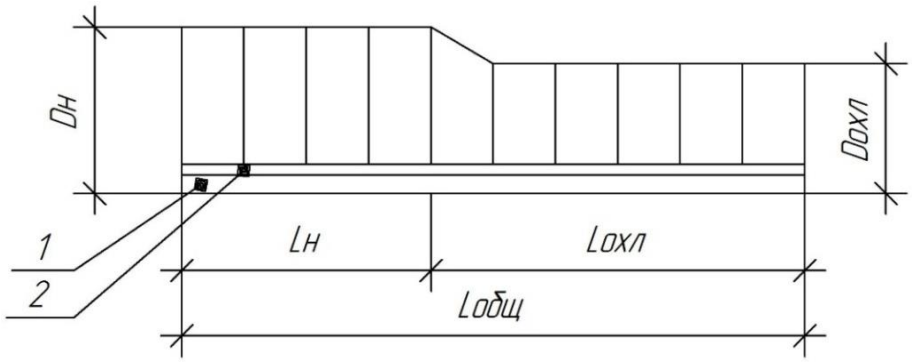



Рис. 1 Схема линии вулканизации: $L_{ОБЩ}$ – общая длина трубы; $L_H$ – длина зоны нагрева; $L_{ОХЛ}$ – длина зоны охлаждения; $D_H$ – диаметр трубы вулканизации; $D_{ОХЛ}$ – диаметр трубы охлаждения; 1 – токопроводящая жила; 2 – изоляция.

Для моделирования процесса вулканизации разработана стационарная осесимметричная математическая модель.

Для упрощения решения были сделаны следующие допущения: наклонная геометрия трубы заменена на горизонтальную, теплофизические свойства материалов кабеля постоянны, на границах раздела разнородных сред реализуется условие идеального теплового контакта, движение газообразной и жидкой среды – ламинарное.

С учетом сделанных допущений система дифференциальных уравнений примет вид:

$$\rho_a\left(\frac{\partial v_r}{\partial t}+v_r\frac{\partial v_r}{\partial r}+v_z\frac{\partial v_r}{\partial z}\right)=-\frac{\partial P}{\partial r}+\frac{1}{r}\frac{\partial(r\cdot\tau_{rr})}{\partial r}+\frac{\partial \tau_{rz}}{\partial z}+\rho_a\beta(T-T_0)g \quad (1)$$

$$\rho_a\left(\frac{\partial v_z}{\partial t}+v_r\frac{\partial v_z}{\partial r}+v_z\frac{\partial v_z}{\partial z}\right)=-\frac{\partial P}{\partial z}+\frac{1}{r}\frac{\partial(r\cdot\tau_{rz})}{\partial r}+\frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z} \quad (2)$$

$$\rho_a(T)=\rho_0[1-\beta(T-T_0] \quad (3)$$

$$\frac{\partial v_z}{\partial z}+\frac{1}{r}\frac{\partial(r\cdot v_r)}{\partial r}=0 \quad (4)$$

$$c\rho\left(\frac{\partial T}{\partial t}+v_r\frac{\partial T}{\partial r}+v_z\frac{\partial T}{\partial z}\right)=-\left(\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}(r\cdot q_r)+\frac{\partial q_z}{\partial z}\right)+$$
$$+\tau_{rr}\cdot\dot{\gamma}_{rr}+\tau_{zz}\cdot\dot{\gamma}_{zz}+\tau_{rz}\cdot\dot{\gamma}_{rz} \quad (5)$$

$$\tau_{rr}=2\mu_b\frac{\partial v_r}{\partial r};\ \tau_{zz}=2\mu_b\frac{\partial v_z}{\partial z};\ \tau_{rz}=\mu_b\left(\frac{\partial v_z}{\partial r}+\frac{\partial v_r}{\partial z}\right) \quad (6)$$

где ρ – плотность, кг/м$^3$; с – теплоёмкость, Дж/кг·°С; λ – коэффициент теплопроводности Вт/м·°С; $\tau_{ij}$ – тензор напряжений; $\mu$ – вязкость, Па·с; $T$ – температура, °С; $v_i$ – компоненты вектора скорости, м/с [4].

Система уравнений (1) – (6) замыкается следующими граничными и начальными условиями: начальная температура жилы – 90°С, начальная температура полимера – 120°С. В таблице 2 представлены температуры, задаваемые на верхней границе секций.

Таблица 2.Температурный режим зон вулканизации

| Температура по секциям трубы, °С | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2-3 | 4-5 | 6-7 | 8-9 | 10-14 | 15-19 | 20-24 | 25-27 | 28 |
| 360 | 380 | 400 | 420 | 450 | 360 | 250 | 185 | 90 | 20 |

Реализация математической модели осуществлялась методом конечных элементов в программном комплексе ANSYS.

В результате численного эксперимента было получено температурное поле исследуемой области при различных скоростях изолирования (см. рис. 2)

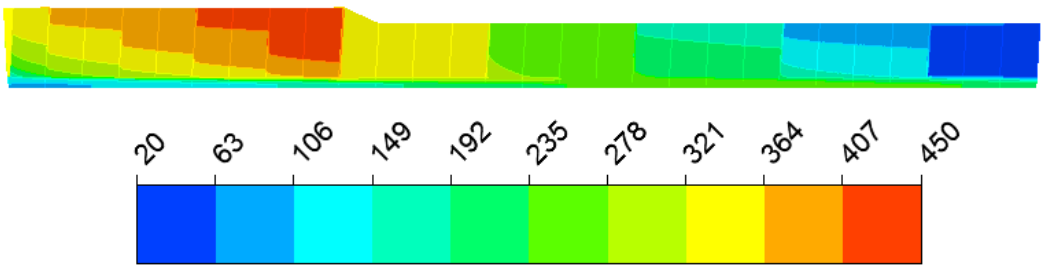



Рис 2. Температурное поле исследуемой области при скорости 0,4 м/с.

Так как важными параметрами технологического процесса вулканизации является температура жилы и изоляции, то по данным рис. 2 для более детального изучения распределения температуры на поверхности жилы и изоляции было построено семейство кривых (см. рис 3)

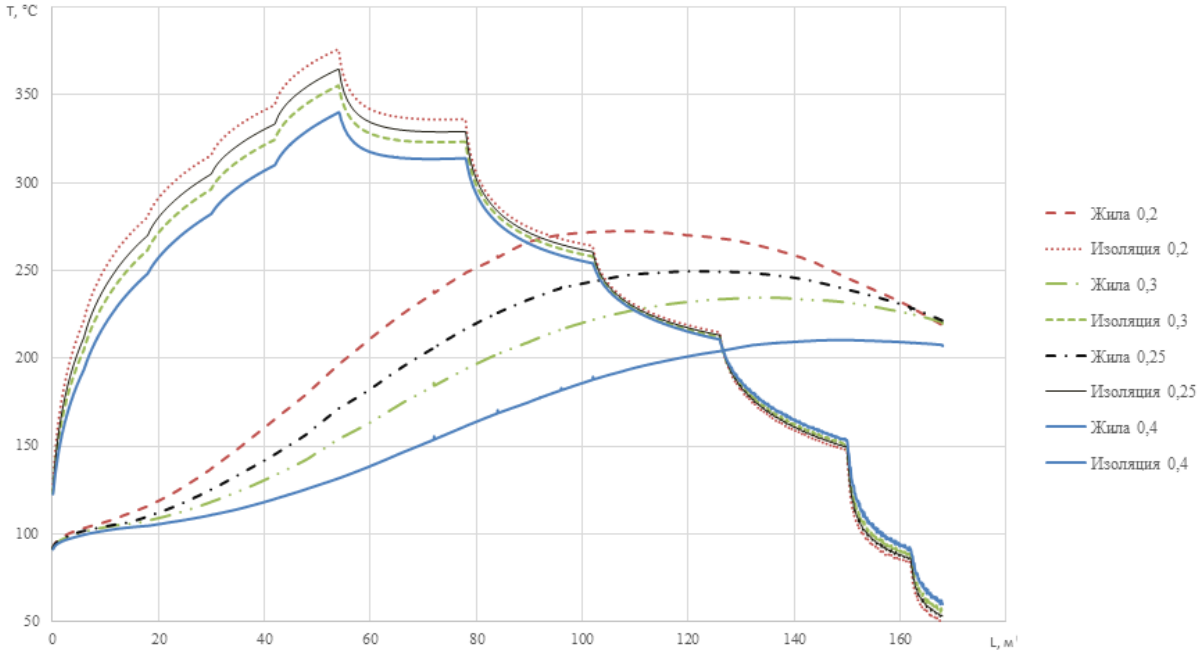



Рис. 3 Кривые распределения температур на поверхностях жилы и изоляции

Из рисунка 3 можно увидеть, что при скорости 0,25 м/с температура в конце зоны нагрева на поверхности жилы составляет 170°С, а на поверхности изоляции 360°С. При уменьшении скорости на 25% температура на жиле возрастает на 20%, а на изоляции 5%. При увеличении скорости до 0,3 м/с температура жилы снижается на 11%, а изоляции на 1,2%.

Для расчета степени сшивки используется уравнение (7), константы которого получены из экспериментальных данных – зависимости крутящего момента от времени при температуре 190°С

$$\varphi = \frac{a}{1+\left(\frac{t}{b}\right)^c} \quad (7)$$

Где a, b, c - эмпирические константы; t - время, с

Будем считать, что оптимальная скорость изолирования – это скорость, при которой внутренний слой изоляции полностью сшивается в конце вулканизационной трубы и процесс сшивки начинается при температуре 150°С.

С учетом уравнения (7) и распределения температуры внутреннего слоя изоляции по длине трубы при различных скоростях была получена зависимость степени сшивки по длине вулканизационной трубы от скорости изолирования (см. рис. 4).

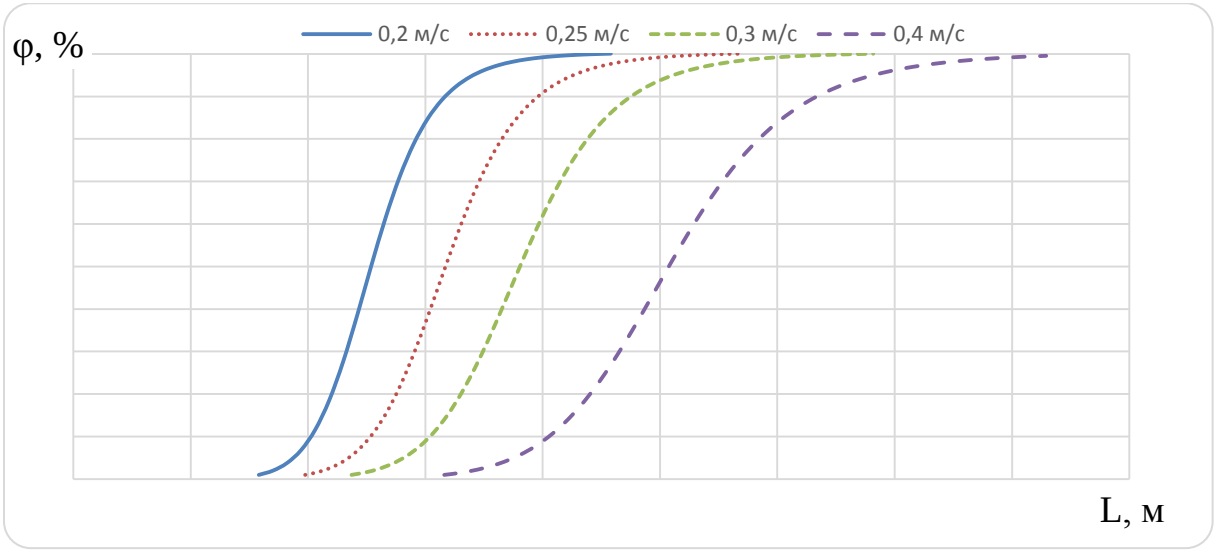



Рис. 4 - Кривые зависимости степени сшивки от скорости
по длине вулканизационной трубы

На рис. 4 можно увидеть, что при скоростях 0,2 – 0,3 м/с внутренний слой сшивается полностью на длине 90 – 130 м. Степень сшивки на расстоянии 160 м с увеличением скорости до 0,4м/с уменьшается на 2 %. Следовательно, возможно повысить скорость изолирования без потери качества сшивки. При скорости 0,4 м/с внутренний слой изоляции в конце трубы имеет степень сшивки 98%. В остальных случаях сшивка изоляции в заготовках будет происходить раньше времени, а значит, при таких параметрах процесс сшивки будет нецелесообразен.

**Вывод.**

Получена математическая модель, описывающая процесс вулканизации. В результате расчетов было получено распределение температур при разных скоростях, а также определена степень сшивки. Найдена оптимальная скорость изолирования. Полученные результаты могут быть использованы при расчете технологического режима для непрерывной линии вулканизации.

***Список литературы***

1. *Баочжун Х.* / Моделирование свойств сшитого полиэтилена / Актуальные проблемы современной науки 2005 №5.
2. *Ли Чанг Минг, Хан Баз Хонг* / Сравнение влияний разных способов сшивания на свойства полиэтилена / Актуальные проблемы современной науки 2005 №5.
3. ГОСТ Р 55025-2012. Кабели силовые с пластмассовой изоляцией на номинальное напряжение от 6 до 35 кВ включительно.
4. *Труфанова Н.М.* Переработка полимеров // Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2009.

*05.13.18*

**С.Л. Марулин, А.Р. Динисламов, А.П. Буйносов д-р техн. наук**

Уральский государственный университет путей сообщения,
кафедра «Электрическая тяга»,
Екатеринбург, Ogurci-15@mail.ru, al.dinislamov@gmail.com, byinosov@mail.ru

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТИЧЕСКОЙ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ЛОКОМОТИВА ПО НЕРОВНОСТЯХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГОПУТИ ПРИ КОЛЕБАНИЯХ ГАЛОПИРОВАНИЯ

*В статье приводится результаты вывода зависимости для расчета критической скорости движения локомотива по неровностях железнодорожного пути при колебаниях галопирования. Получены зависимости для определения частот собственных и вынужденных колебаний тягового подвижного состава.*

Ключевые слова: *железнодорожный транспорт, путь, неровность, различие, локомотив, движение, галопирование, колебания.*

Исходным этапом предварительных исследований колебательных процессов локомотива является выбор упрощенной модели. Любая сложная система путем соответствующих преобразований и расчетов может быть представлена эквивалентной схемой, которая включает лишь основные элементы, определяющие колебания. На рисунке приведена упрощенная схема для исследования колебаний галопирования при одноступенчатом рессорном подвешивании локомотива. В ней не учтены упругие свойства верхнего строения пути, отдельных элементов механической части локомотива, нелинейный характер изменения жесткости рессор и диссипативных сил гасителей. Приведенная на рисунке расчетная схема соответствует бестележечному экипажу, надрессорной частью которого является лишь кузов. Угловые колебания, к которым относится галопирование, происходят вокруг центра упругости системы рессорного подвешивания.

При симметричном расположении комплекта рессор относительно середины экипажа центр упругости совпадает с центром тяжести кузова. Характерной особенностью точки, называемой центром упругости, является то, что при угловых колебаниях она остается неподвижной. Вертикальная нагрузка, приложенная к центру упругости, вызывает одинаковые прогибы параллельно работающих рессор.

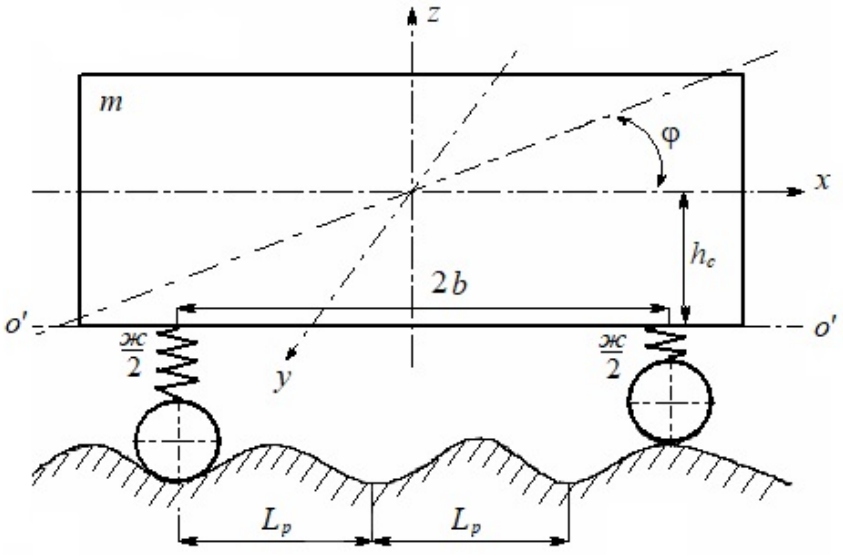



Рис. Расчетная схема для исследования колебаний галопирования

Дифференциальное уравнение колебаний галопирования имеет вид [1]:

$$m\cdot(\rho_y^2+h_C^2)\cdot\frac{d^2\varphi}{dt^2}+C_\Gamma\cdot\frac{d\varphi}{dt}+ж\cdot(b^2-f\cdot h_C)(\varphi-\varphi_a\cdot\cos(wt))=0, \quad (1)$$

где $m$ – масса кузова с оборудованием; $ж$ – эквивалентная жесткость системы рессорного подвешивания; $\rho_y$ – радиус инерции масс надрессорного строения относительно оси $y$; $2b$ – рессорная база или база продольной устойчивости экипажа; $h_c$ – высота центра тяжести надрессорного строения над плоскостью подвешивания $o'$–$o'$; $C_\Gamma$ – коэффициент, характеризующий величину сил сопротивления колебаниям галопирования; $\varphi$ –текущее значение угла поворота кузова относительно оси $y$; $\varphi_a$ – амплитудное значение фактора, вызывающего колебания галопирования.

Из рисунка видно, что $\varphi_a$ зависит от длины рессорной базы $2b$, длины волны неровности $L_p$ и от кратности их отношения. Например, при $2b= L_p$, колесные пары, перекатываясь по неровностям пути, будут совершать одинаковые вертикальные перемещения, следовательно, $\varphi_a = 0$, и система не будет подвергаться колебаниям галопирования, а будет испытывать только колебания подпрыгивания. Галопирование появляется в случае, если при движении одна из колесных пар тележки локомотива окажется на восходящей части неровности пути, а вторая – на нисходящей части. Максимальному значению $\varphi_a$ соответствует положение, когда первая из колесных пар локомотива будет находиться на вершине неровности, а вторая – в нижней точке впадины [2].

Для расчета $\rho_y$ масса надрессорного строения $m$ рассматривается как состоящая из отдельных элементов. На локомотиве такими элементами являются вспомогательные машины и оборудование, находящееся в кузове. Кроме массы каждого элемента необходимо еще знать координаты центра тяжести элемента. Тогда:

$$f_y^2=\frac{\sum_1^n m_i\cdot(x_i^2+z_i^2)}{\sum_1^n m_i}, \quad (2)$$

где $n$ – количество элементов; $m_i$ – масса $i$-го элемента; $x_i$ и $z_i$ – координаты центра тяжести $i$-го элемента по осям $x$ и $z$.

В приближенных расчетах колебаний галопирования локомотива можно принять радиус инерции масс надрессорного строения относительно оси:

$$\rho_y=\sqrt{\frac{L_{сц}^2+4\cdot h_C^2}{12}}, \quad (3)$$

где– $L_{сц}$ – длина секции локомотива, что соответствует расстоянию между осями автосцепок.

Представим коэффициент $C_\Gamma$, входящий в уравнение (1), в виде:

$$C_\Gamma=q_\Gamma\cdot m\cdot(\rho_y^2+h_\Gamma^2), \quad (4)$$

где $q_\Gamma$ – величина характеризующая интенсивность затухания колебаний галопирования.

Раскроем скобки последнего члена уравнения (1) следующим образом:

$$ж\cdot(b^2-f\cdot h_c)\cdot(\phi-\phi_a\cdot\cos(wt))=ж\cdot(b^2-f\cdot h_c)\cdot\phi-ж\cdot(b^2-f\cdot h_c)\cdot\phi_a\cdot\cos(wt). \quad (5)$$

Подставим уравнение (4) и (5) в исходное уравнение (1), получим:

$$m(\rho_y^2+h_c^2)\cdot\frac{d^2\phi}{dt^2}+q_\Gamma\cdot m\cdot(\rho_y^2+h_c^2)\cdot\frac{d\phi}{dt}+ж\cdot(b^2-fh_c)\cdot\phi=ж\cdot(b^2-f\cdot h_c)\cdot\phi_a\cdot\cos(wt). \quad (6)$$

Разделим левую и правую части уравнения на $m(\rho_y^2+h_c^2)$, тогда:

$$\frac{d^2\phi}{dt^2}+q_\Gamma\frac{d\phi}{dt}+\frac{ж}{m}\cdot\frac{b^2-f\cdot h_c}{\rho_y^2+h_c}\cdot\phi=\frac{ж}{m}\cdot\frac{b^2-f\cdot h_c}{\rho_y^2+h_c^2}\cdot\phi_a\cdot\cos(wt). \quad (7)$$

Сравнивая полученное уравнение (7) с уравнениями (3) и (4), можем отметить, что оно

представляет собой неоднородное дифференциальное уравнение второго порядка. При этом $(ж/m)\cdot([b^2–f\cdot h_c]/[\rho^2{}_y+h_c])= \rho^2{}_Г$ – есть квадрат частоты собственных колебаний галопирования.

Запишем уравнение (7) в более компактном виде:

$$\ddot{\varphi}+q_Г\cdot\dot{\varphi}+p_Г^2\cdot\varphi=p_Г^2\cdot\varphi_a\cdot\cos(wt). \quad (8)$$

Решение уравнения (8) аналогично решению уравнения [3], т. е.:

$$\varphi=e^{-0,5\cdot q_Г\cdot t}\cdot A_Г\cdot\sin(p_Г t+\beta_Г)+\varphi_a\cdot\delta_Г\cdot\cos(wt+\alpha_Г), \quad (9)$$

где $A_Г$ и $\beta_Г$ – коэффициенты, определяемые из начальных данных; $\delta_Г$ –коэффициент нарастания (усиления) амплитуды колебания галопирования.

$$tg\alpha_Г=\frac{q_Г\cdot w}{p_Г^2-w^2}. \quad (10)$$

Как и при колебаниях подпрыгивания системы [4] с одной ступенью рессорного подвешивания, первый член уравнения (9) представляет собой поворот кузова относительно оси *y*, который обусловливается быстро затухающими свободными колебаниями. Второй член уравнения обусловлен вынужденными колебаниями галопирования [5], при этом величина его определяется коэффициентом $\delta_Г$. Опуская промежуточные преобразования, можем записать:

$$\delta_Г=\frac{1}{\sqrt{\left[1-\left(\frac{w}{p_Г}\right)^2\right]^2+\left(\frac{q_Г}{p_Г}\right)^2\cdot\left(\frac{w}{p_Г}\right)^2}}, \quad (11)$$

т. е. величина коэффициента нарастания $\delta_Г$ зависит от соотношения частот вынужденных и собственных колебаний $w/p_Г$ и $q_Г/p_Г$. При отсутствии диссипативных сил ($q_Г=0$) и совпадении частот происходит резонанс колебании, и скорость движения локомотива становиться критической, которая по своей величине должна находиться за пределами конструкционной скорости.

Из уравнения (7) очевидно, что частота собственных колебаний опишется как:

$$p_Г=\sqrt{\frac{ж}{m}\cdot\frac{b^2-f\cdot h_c}{\rho_y^2+h_c^2}}=\sqrt{\frac{ж}{m}}\cdot\sqrt{\frac{b^2-f\cdot h_c}{\rho_y^2+h_c^2}} \quad (12)$$

или

$$p_Г=p\cdot k_Г, \quad (13)$$

где $k_Г$ – коэффициент галопирования.

При колебаниях галопирования критическая скорость движения локомотива определяется как:

$$V_{ГКР}=\frac{L_P}{2\pi}\cdot\rho_Г=\frac{L_P}{2\pi}\cdot p\cdot k_Г. \quad (14)$$

Для тягового подвижного состава отечественных железных дорог коэффициент галопирования составляет 0,8–0,9, т. е. близок к единице. Поэтому при одновременном появлении подпрыгивания и галопирования эффект от их действия будет складываться, и результатом этого может быть значительное увеличение нагрузки на одну из колесных пар и уменьшение ее на другую колесную пару локомотива. С другой стороны, для борьбы с совпадающими по частоте колебаниями можно использовать одни и те же средства, например, листовые рессоры, фрикционные и гидравлические гасители колебаний.

***Список литературы***

1. *Буйносов А.П., Марулин С.Л., Яковлев К.Н., Хваловский А.В.* Алгоритм построения уравнений вращательной динамики колесной пары подвижного состава в рельсовой колее // Научно-технический вестник Поволжья. 2019. № 6. С. 92-94.

2. *Буйносов А.П.* Основные причины интенсивного износа бандажей колесных пар подвижного состава и методы их устранения : монография. – Уральский гос. ун-т путей сообщ. Екатеринбург, 2009. 224 с.

3. *Буйносов А.П., Антропов С.Н.* Исследование волнообразного износа рельсов с учетом теории трения пары «колесо–рельс» // Транспорт Урала. 2019. № 1(60). С. 86-89.

4. *Буйносов А.П.* Алгоритм построения уравнений трансляционной динамики движения колесной пары в рельсовой колее // Научно-технический вестник Поволжья. 2016. № 3. С. 87-90.

5. *Буйносов А.П., Фетисова Н.Г.* Основные принципы создания компьютерной модели экипажной электровоза // Научно-технический вестник Поволжья. 2016. № 2. С. 54-56.

*05.13.18*

**В.Ю. Мельцов канд. техн. наук, А.А. Чудинов, А.К. Крутиков**

Вятский государственный университет,
кафедра электронных вычислительных машин,
Киров, meltsov@vyatsu.ru, alecxandrys@list.ru

# ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ АЛГОРИТМОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ КАРТОГЕНЕРАЦИИ В КОМПЬЮТЕРНЫХ ИГРАХ

*В работе рассматривается проблема картогенерации, например, при разработке компьютерных игр. Предлагается применить для повышения качества формирования карт и их уникальности нейросетевые алгоритмы. На основе проведённых экспериментов демонстрируется эффективность нейросетевого подхода и реалистичность получаемых ландшафтных карт.*

Ключевые слова: *картогенерация, ландшафты, нейросетевые алгоритмы, функция активации.*

Одним из основных компонентов большинства игровых приложений является игровое поле. В зависимости от типа игры оно принимает самые разнообразные виды и формы, но в области компьютерных стратегий чаще всего они связаны с ландшафтами и территориальными картами. В некоторых, простейших, случаях разработчики могут учесть все требования начальных условий и создать необходимый набор элементов вручную, обеспечивая указанные параметры, среди которых, как правило, числится сбалансированность, разнообразие и возможность вариативности. Существует несколько способов решения данной задачи, подавляющее большинство из которых являются строго алгоритмическими.

В данной работе анализируется возможность применения нейросетевого подхода [1, 2] для частичного решения задачи генерации игровых ландшафтов. В качестве исходных данных возьмём простую карту высот – «черновик». Проводимые с этим черновиком модификации на основе выбранных нейросетевых алгоритмов должны в итоге привести к получению полноценной ландшафтной карты с размещёнными на ней лесными массивами, водными объектами, полями и т.д.

С поставленной целью достаточно успешно справляется алгоритм Diamond-square, апробированный в 1982 [3]. Он прост, надёжен, имеет несколько реализации [4]. Некоторый конфликт наблюдается при использовании данного алгоритма для создания гексагональных карт, но он может быть устранён путем изменения размещения соседних точек на графе карты. Задача расстановки объектов на карте осуществляется с учётом определённых условий. Эти условия, собранные в шаблоны, и определяют целевую клетку рельефа. Исходя их вышесказанного, было принято решение в качестве основной модели использовать персептрон со скрытым слоем (прямое распространение, FF) и обратным распространением ошибки [5]. Основную сложность при этом представляет процесс определения функции активации. В данной работе функция активации выбрана на основе проведённых экспериментов и сравнительного анализа полученных результатов. Данные из двумерной матрицы, описывающей гексагональную решётку точек на карте, преобразуются в вектор посредством поэлементного переноса всех соседей первого порядка. Для этого выбирается начальная позиция, а обход осуществляется по часовой стрелке. На рис. 1 представлен подобный шаблон. Условная точка карты представлена гексом *center*. После обхода, начиная с гекса *cliff. 1*, получаем вектор длинной 6, в котором записаны необходимые данные о соседях первого порядка.

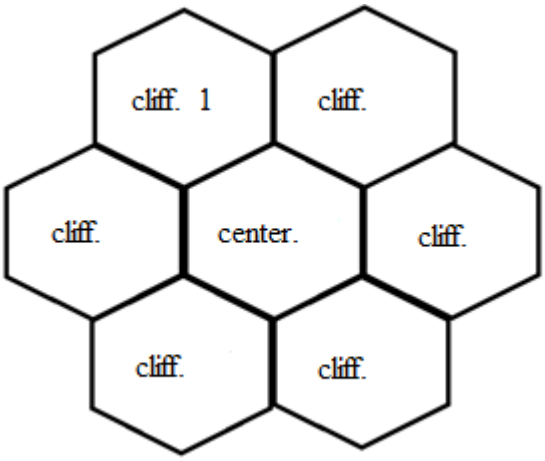



Рис 1 – Пример задания шаблона

В последнем элементе формируемого вектора записывается дополнительная информация, которая позволяет с минимальными затратами наращивать емкость вектора и, соответственно, количество анализируемых параметров. Из набора подобных шаблонов-точек и формируется обучающая выборка нейросети для модификации исходного ландшафта.

С целью объективной оценки эффективности применения предлагаемой нейросети было написано программное приложение, визуализирующее результаты работы модуля генерации ландшафта. Сама нейросеть реализована с помощью пакета brain.js [6]. Опытным путём были определены четыре основные параметра, которые на этапе обучения наибольшим образом влияют на качество генерации:

- количество итерации;
- порог ошибок (размер шага);
- скорость обучения (порог входа);
- импульс (порог выхода).

Сравнение результатов работы модуля при различных исходных настройках представлено в Таблице 1.

Таблица 1 – Результаты работы

| Функция активации | $ReLU_1$ | $ReLU_2$ | $Sig_1$ | $Sig_2$ | $Sig_3$ | $Tanh_1$ | $Tanh_2$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Порог ошибки | 0.005 | 0.2 | 0.005 | 0.05 | 0.10 | 0.05 | 0.10 |
| Порог входа | 0.3 | 0.2 | 0.3 | 0.3 | 0.15 | 0.2 | 0.15 |
| Точность | - | - | 50% | 81% | 88% | 90% | 85% |

Анализ экспериментов позволил выявить функцию активации, наиболее подходящую для выбранной нейронной сети. Ей оказалась гиперболическая функция с порогом ошибки 0,05. Она показала чуть лучший результат, чем сигмоидная функция с порогом ошибки 0,10, но при этом конечного результата гипербола достигла при более простой настройке параметров обучения. К сожалению, ReLU класс (оба варианта для данной сети) оказался не работоспособен при такой малой начальной выборке (~20 шаблонов).

Ниже представлены практические результаты. На рис. 2 показан результат работы модуля со сложным алгоритмом формирования ландшафта на основе карты эквидистантных уровней, то есть уровней одинаковой высоты на различных рельефных поверхностях. Полагаясь только на карту высот сложно внести ландшафтное разнообразие алгоритмическим путём. К тому же при данном подходе требуется учёт большого количества

условий в правилах формирования ландшафта и добавление этапа разделения карты на несколько «биомов», определяемых уровнем высот, к примеру, равнин, гор и водных поверхностей, расположенных ниже «нулевого» уровня. В некоторых известных программах также вводятся этапы анализа карт влажности и соляризации, которые могут генерироваться тем же алгоритмом diamond-square. То есть каждая клетка гексагональной сетки проходит множество этапов проверки логических условии, с учётом на каждом слое требуемых параметров формирования точки на карте.

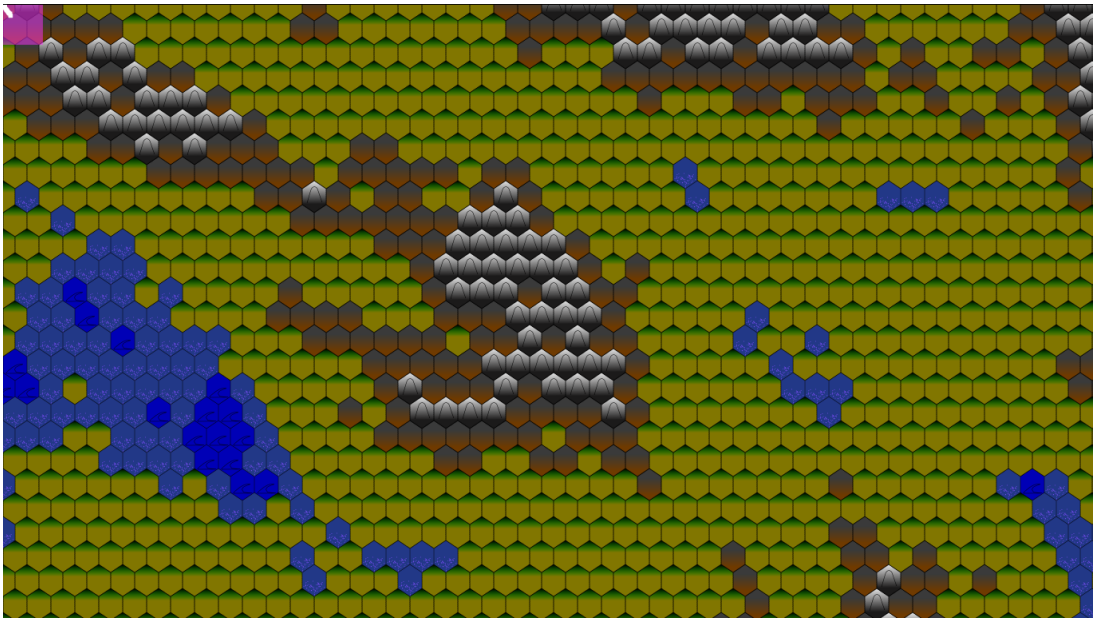


Рис 2 – Визуализация работы алгоритма diamond-square

Нейросеть смогла решить эту же задачу с более высоким качеством генерации ландшафта, за меньшее время и без введения этапов проверки длинных цепочек логических условии или использования дополнительных данных (рис. 3).

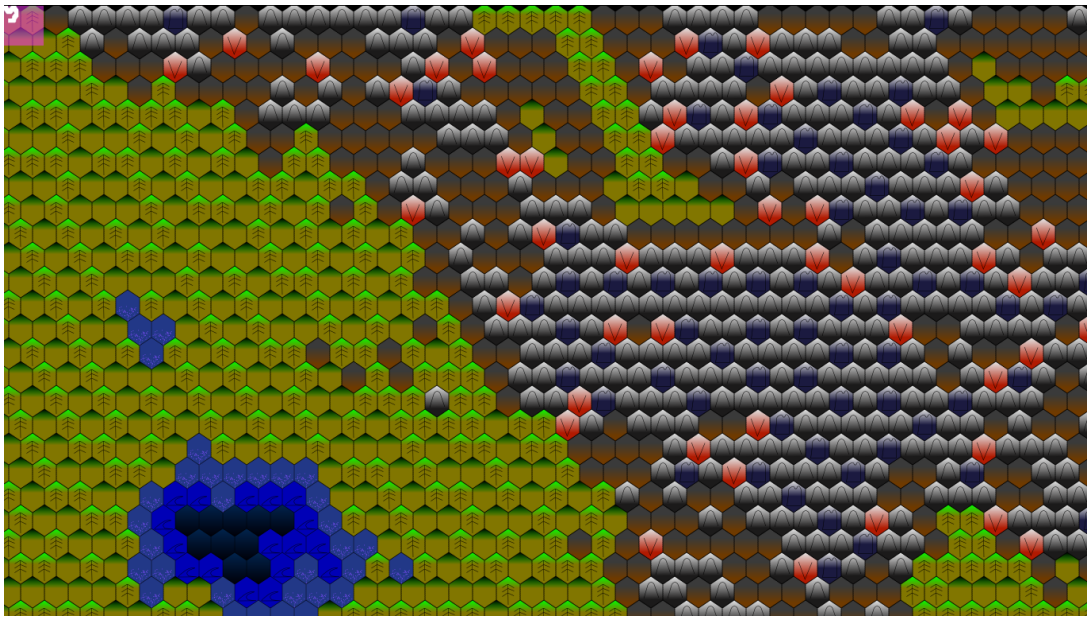


Рис 3 – Визуализация работы нейросети

Исходя из полученных результатов (а эксперименты проводились для примеров различной сложности) можно утверждать, что применение нейросетей в генерации карт крайне эффективно, так как при минимальных затратах на настройку сети возможно значительно улучшить качество картогенерации.

Причем, стоит отметить, что имеющиеся незначительные погрешности распознавания шаблонов точек в данном случае вносят только положительный момент, так как оставляя некоторые места незаполненными, нейросетевой алгоритм увеличивает разнообразие ландшафта в целом, придавая картам большую достоверность и правдоподобность.

***Список литературы***

1. *Tero Karras.* A Style-Based Generator Architecture for Generative Adversarial Networks [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://arxiv.org/abs/1812.04948
2. *Мельцов В.Ю., Подковырин В.Д., Клюкин В.Л., Крутиков А.К.* Использование каскадной нейронной сети прямой передачи для прогнозирования спортивных достижений в толкании ядра // Научно-технический вестник Поволжья. 2018. № 4. С. 136-139.
3. *Alain Fournier.* Computer rendering of stochastic models / Alain Fournier , Don Fussel, Loren Carpenter // Communications of the ACM. - №. 25. Vol. 6.- P. 371-384
4. Heightmap *[*Электронный ресурс]. - Режим доступа: https://github.com/mlepage/heightmap
5. *Минский М.*. Персептроны / М. Минский, С. Пейперт //— М.: «Мир», 1971.
6. Brain.js [Электронный ресурс]. - Режим доступа: https://github.com/BrainJS/brain.js

*05.13.18*

**М.С. Муравьев, Г.М. Алимирзоев, К.А. Насеткин,**
**А.С. Пузанов канд. техн. наук, Д.А. Литовский**

Национальный исследовательский университет имени Н.И. Лобачевского,
Радиофизический факультет,
кафедра квантовой радиофизики и электроники,
m.m.rf@mail.ru

# КОНСТРУИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ СВЧ ДЕТЕКТОРА НА БАЗЕ БЕСКОРПУСНОГО СМЕСИТЕЛЬНО-ДЕТЕКТОРНОГО ДИОДА С БАЛОЧНЫМИ ВЫВОДАМИ

*В настоящем исследовании построена модель СВЧ детектора и получены характеристики регулировочных элементов. Экспериментально исследованы изготовленные макеты детекторов с рабочей частотой 52÷80 GHz. Проведён синтез конкретного схемотехнического решения в виде волноводной конструкции на основании полученных данных.*

Ключевые слова: *детекторная секция СВЧ, CST Studio, AWR Microwave office,смесительно-детекторный диод.*

Детектор СВЧ – устройство, преобразующее энергию сигнала СВЧ в энергию низкочастотных колебаний тока для извлечения информации. Детекторный узел состоит из конструкции, определяющей диапазон рабочих частот и полосу видеочастот, и нелинейного элемента - детекторного диода, определяющего СВЧ мощность, а также выделяющего и направляющего полезный сигнал в нагрузку. Актуальными задачами конструирования детекторов СВЧ является упрощение и удешевление их конструкций, максимальное продвижение вверх по частотному диапазону и увеличение чувствительности при уменьшении её неравномерности по диапазону частот в сочетании с надежностью и минимальными габаритными размерами. Также актуальной является задача[1] обеспечения радиационной стойкости подобных устройств как самих по себе, так и в составе изделий специального назначения.

В рамках данной работы теоретически и экспериментально была усовершенствована детекторная головка из комплекта панорамного измерителя КСВн и ослабления Р2-69.. В модернизированном детекторном узле был применён отечественный бескорпусной диод с балочными выводами типа 3А147А (производства АО « НПП «САЛЮТ»), для применения которого вся конструкция детекторной головки была изменена и анализировалась в пакетах программ CST Microwave studios и Microwave Office.

Конструкция представляет собой детекторную головку с корпусом из латуни, с усечённым волноводом, содержащим на конце бронзовую закоротку. Секция, в которую непосредственно монтируется смесительно-детекторный диод с балочными выводами, представляет собой кварцевую подложку с нанесённой металлизацией. Также волноводная секция содержит чип-конденсатор К26-4. Волновод усечён для согласования импеданса диода с волноводом нормального сечения.

## Построение модели

В пакете программ CSTMicrowavestudio была построена модель (Рис.1(1,2)) диодного СВЧ детектора на базе бескорпусного смесительно-детекторного диода с балочными выводами.

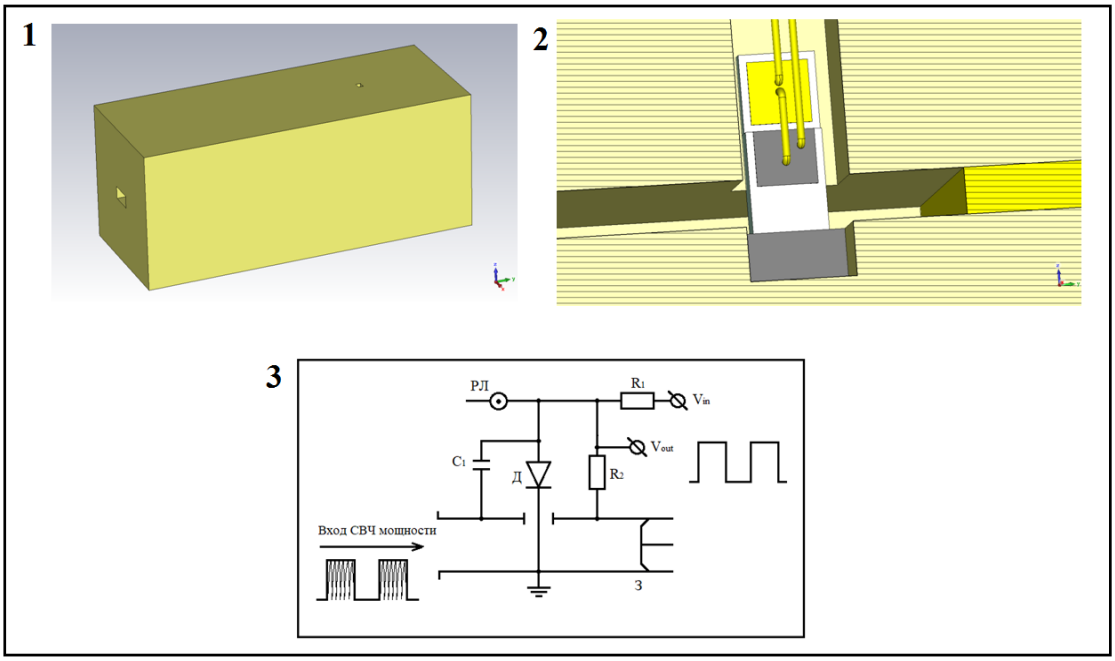



Рис. 1 - Построенная модель детекторной секции (1), детекторная секция в разрезе (2), Электрическая схема проектируемого детектора (3).

Программа CST проводит обработку данных расчета полей, позволяющую вычислить значения добротностей, S-параметров и связанных с ними характеристиками, а также модуль и фазу векторов электромагнитного поля в каждой точке пространства. Результаты расчета программы CST Microwave Studio в дальнейшем используются в качестве входных воздействий при расчете режимов работы нелинейных элементов в программе AWR по модели, построенной в соответствии с электрической схемой проектируемой детекторной секции (Рис 1(3)). Изменением параметров конструкции достигается оптимизация устройства по необходимым характеристикам. Стоит отметить, что подобный подход успешно реализовывается и в полупроводниковых приборах[2,3].

На практике регулировка может осуществляться изменением технологических параметров. Основным элементом согласования падающей мощности является бронзовая закоротка в конце волноводной секции. Подключению реактивности к диоду(емкости и индуктивности) соответствует изменение параметров полоски из золотой фольги, которая по сути является отрезком разомкнутой линии. Эта регулировка позволяет настраивать ширину полосы принимаемого сигнала и гладкость частотной зависимости выходного напряжения, реализуя и подтверждая на практике полученные в ходе моделирования результаты.

**Экспериментальные измерения**

На основании данных, полученных в результате расчетов модели детекторной секции, был усовершенствована и смонтирована детекторная головка из комплекта панорамного измерителя КСВн и ослабления Р2-69, представленная на рис.2.

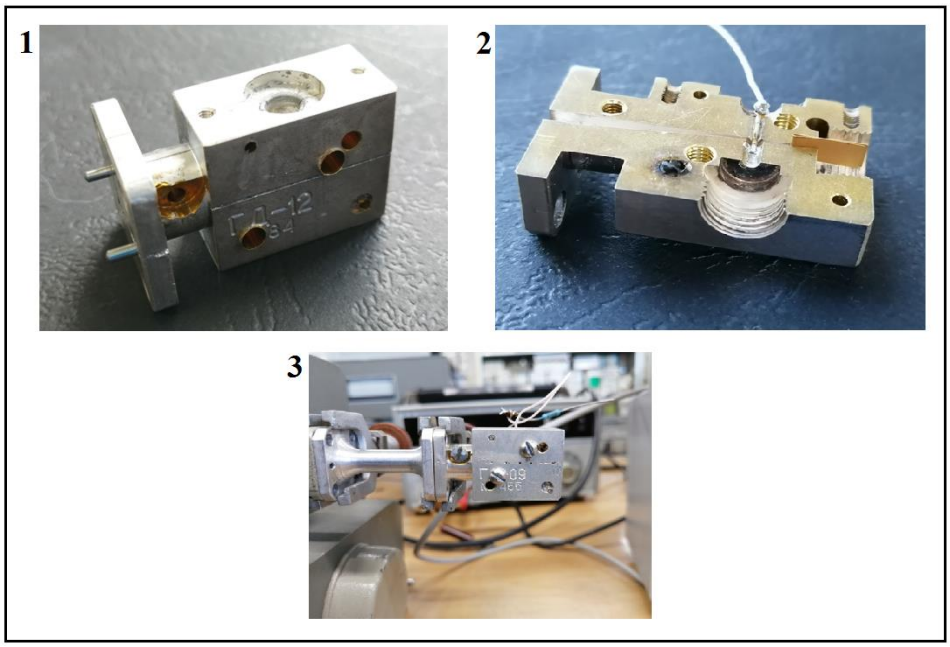



Рис. 2 - Смонтированная детекторная секция (1), половинка спроектированной конструкции с помещённой в волновод закороткой. (2), детекторная секция, установленная в измерительный стенд (3).

Элементы регулировки детекторной головки, были смонтированы в соответствии с результатами моделирования, что обеспечивает оптимальную гладкость выходного напряжения на частотной характеристике и хорошее согласование падающей мощности.

Экспериментально были измерены выходные данные детекторной головки при различных значениях входных мощностей и частотах генерации. Было проведено сравнение полученных результатов с результатами моделирования (Рис.3(1)), а также измерено значение тангенциальной чувствительности детектора, которая, в свою очередь, является общепринятой характеристикой детекторной секции (Рис.3(2)) [3].

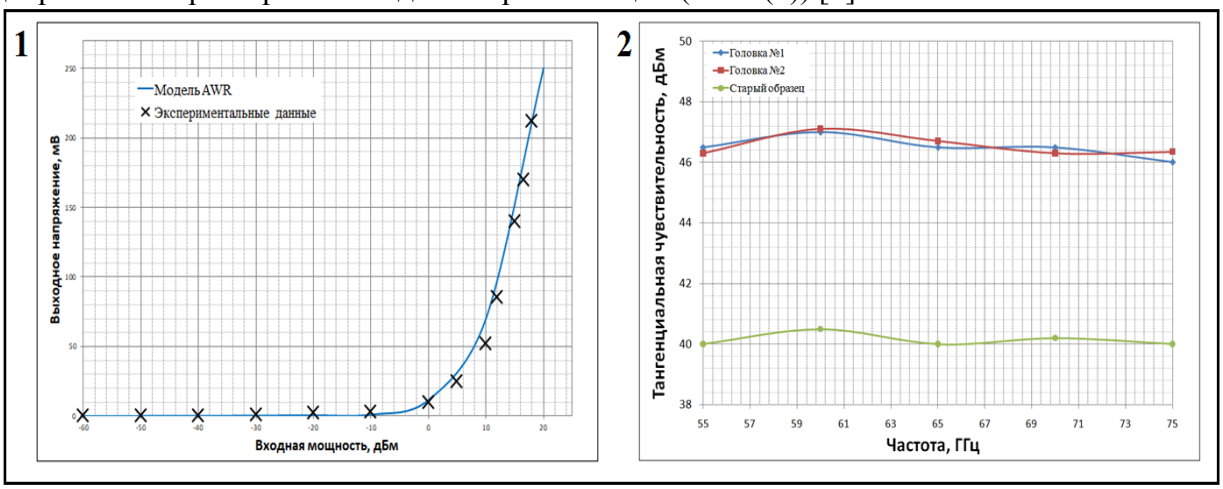



Рис.3. Сравнение детекторных характеристик (1), тангенциальная чувствительность двух спроектированных детекторных головок (2).

Сравнение детекторных характеристик (рис.3(1)) свидетельствует о достаточно хорошем совпадении результатов моделирования с промеренными экспериментальными зависимостями, что позволяет сделать вывод о том, что созданный образец детектора пригоден к применению в качестве базовой конструкции в различных СВЧ устройствах, в частности, в составе комплекта панорамного измерителя КСВн и ослабления Р2-69. Из полученных значений тангенциальной чувствительности можно сделать вывод, что выбранная конструкция детектора позволяет реализовать требуемое значение этой величины. Сравнение с исходным устройством показывает улучшение характеристик тангенциальной чувствительности на ~7 дбм.

**Заключение**

В результате проведённой работы была построена модель диодного СВЧ детектора на базе бескорпусного смесительно-детекторного диода с балочными выводами. Проведён расчет с целью оптимизации параметров устройства и получены его выходные характеристики. На основе модели были разработаны два макета диодных СВЧ детектора. Проведены измерения их тангенциальной чувствительности и по полученным результатам сделан вывод об улучшениях характеристик модернизированной модели в сравнении с первоначальной конструкцией.

В дальнейшем планируется оценить радиационную стойкость полученных детекторов, как самих по себе, так и в составе изделий специального назначения, так это является важной задачей[3] обеспечения надежности аппаратуры.

***Список литературы***

1. *Насеткин К.А., Забавичев И.Ю., Потехин А.А., Пузанов А.С., Оболенский С.В., Козлов В.А.* Моделирование реакции субмикронных структур «кремний на изоляторе» на воздействие низкоинтенсивных проникающих излучений // В кн.: Труды XXIII Международного симпозиума (Нижний Новгород, 11-14 марта 2019 г.) – Нижний Новгород, 2019 г. С.774-775.

2. *Obolenskii S.V., Kitaev M.A.,* NEGATIVE DIFFERENTIAL CONDUCTANCE OF A QUASI-BALLISTIC MESFET //Russian Microelectronics. 2001. Т. 30. № 6. С. 394-400.

3. *Киселева Е.В., Китаев М.А., Оболенский С.В., Трофимов В.Т., Козлов В.А.,* Радиационная стойкость перспективных арсенид галлиевых полевых транзисторов Шотки// Журнал технической физики. 2005. Т. 75. № 4. С. 136-138.

*05.13.18*

**К.А. Насеткин, М.С. Муравьев, Г.М. Алимирзоев,**
**А.С. Пузанов канд. техн. наук, И.Ю. Забавичев, А.А. Потехин**

Национальный исследовательский университет имени Н.И. Лобачевского,
Радиофизический факультет,
кафедра квантовой радиофизики и электроники,
zverbeshenka@gmail.com

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СУБМИКРОННЫХ СТРУКТУР «КРЕМНИЙ НА ИЗОЛЯТОРЕ» С УЧЕТОМ РАДИАЦИОННЫХ ЭФФЕКТОВ

*Исследование посвящено апробации компактной модели короткоканальных полевых транзисторов со структурой металл-оксид-полупроводник, изготовленных по технологии «кремний-на-изоляторе», с учетом воздействия низкоинтенсивных проникающих излучений, позволяющей решить важную задачу прогнозирования и повышения радиационной стойкости цифровых микросхем высокой степени интеграции в условиях существенного ограничения объема экспериментальных исследований.*

Ключевые слова: *полевые транзисторы, «кремний на изоляторе», радиационная стойкость, низкоинтенсивное проникающее излучение.*

## Введение

В настоящее время для оценки радиационной стойкости микросхем существует два принципиально различных подхода. Физико-топологический подход основан на самосогласованном решении уравнения Пуассона и кинетического уравнения Больцмана (или уравнения Шредингера в квантоворазмерных структурах) в различных приближениях[1]. Данный метод дает достаточно точное описание поведения системы, однако временные и вычислительные ресурсы, необходимые для решения подобных систем исключают возможность использовать их для схемотехнического анализа[2]. Радиотехнический подход основан на замене исследуемого полупроводникового прибора его компактной моделью. Хотя такой метод дает меньшую точность, его возможно использовать для радиотехнического моделирования. В литературе представлены работы по моделированию с помощью радиотехнического подхода, однако, существующие на данный момент компактные модели являются чисто феноменологическими[3], существенным образом зависящими от топологии структуры и требующими большого объема дорогостоящих калибровочных облучательных экспериментов при измерении технологического процесса. Также подобные модели не учитывают короткоканальные эффекты, что, вместе с вышеперечисленным, делает невозможным предсказание на их основе реакции полупроводниковых структур на воздействие проникающих излучений.

Данное исследование посвящено апробации оригинальной компактной модели структуры «кремний на изоляторе», учитывающей короткоканальные эффекты и воздействие низкоинтенсивных проникающих излучений. Модель основана на приближении ультраквазигидродинамического электронного транспорта[4]. Радиационно-чувствительным параметром модели являлось пороговое напряжение, изменение которого обусловлено накоплением положительного заряда дырок в захороненном оксиде и емкость подзатворного диэлектрика, изменение которой обусловлено накоплением заряда на границе раздела полупроводник-диэлектрик. Анализ процессов на этапе генерации заряда проводился в рамках фундаментальной системы уравнений с бимолекулярной рекомбинацией.

**Результаты моделирования и экспериментальные данные**

Для определения начальных условий, которые необходимо заложить в модель, было проведено измерение напряжения смещения на подложке до облучения микросхем. Всего было измерено 30 микросхем, по результатам измерения была проведена оценка распределения начальных условий. Из-за значительного разброса начальных условий было построено распределение вероятности. В качестве граничных отклонений был взят разброс на полуширине 2 сигма (что обеспечивает попадание 95% образцов).

Рис. 1. Оценка разброса начальных условий: (•) – результаты изменения начального напряжения смещения для микросхем из разных партий; (- - -) – оценка распределения напряжения смещения до облучения;

В рамках предложенного подхода было осуществлено моделирование процессов изменения статических вольт-амперных характеристик при различных внешних условиях (дозах ионизирующего излучения). В качестве начальных условий выступали пространственные распределения дырок и электронов, технологические параметры транзисторов, а также начальные смещения напряжения подложки, полученные на предыдущем этапе. На рисунках 2, 3 представлены примеры статических характеристик, полученных в ходе моделирования и их сравнение с экспериментальными данными.

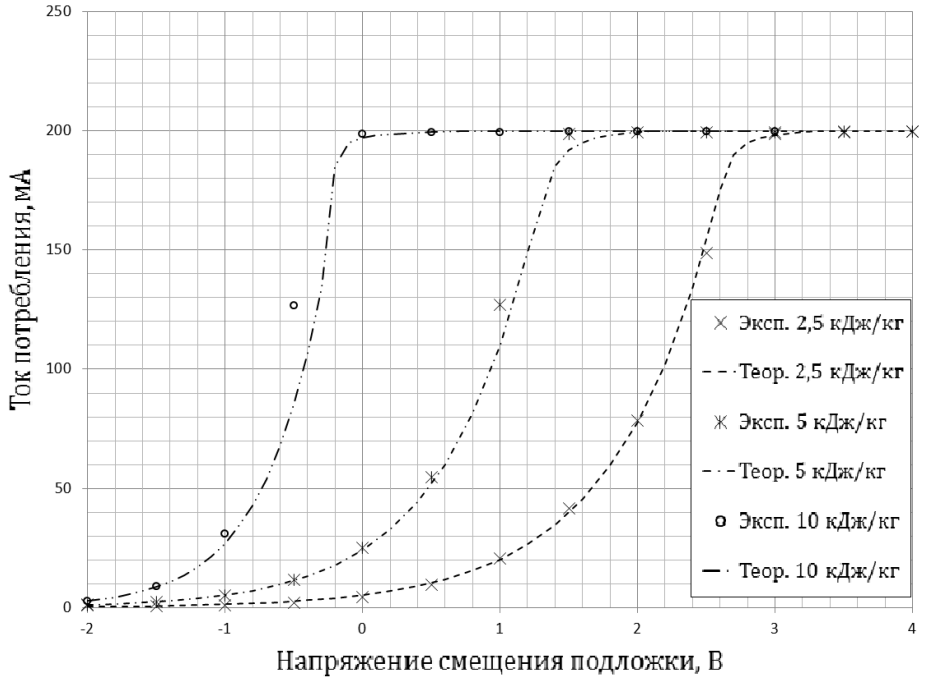



Рис. 2. Теоретические и экспериментальные статические вольт-амперные характеристики p-канальных транзисторов при различных дозах облучения

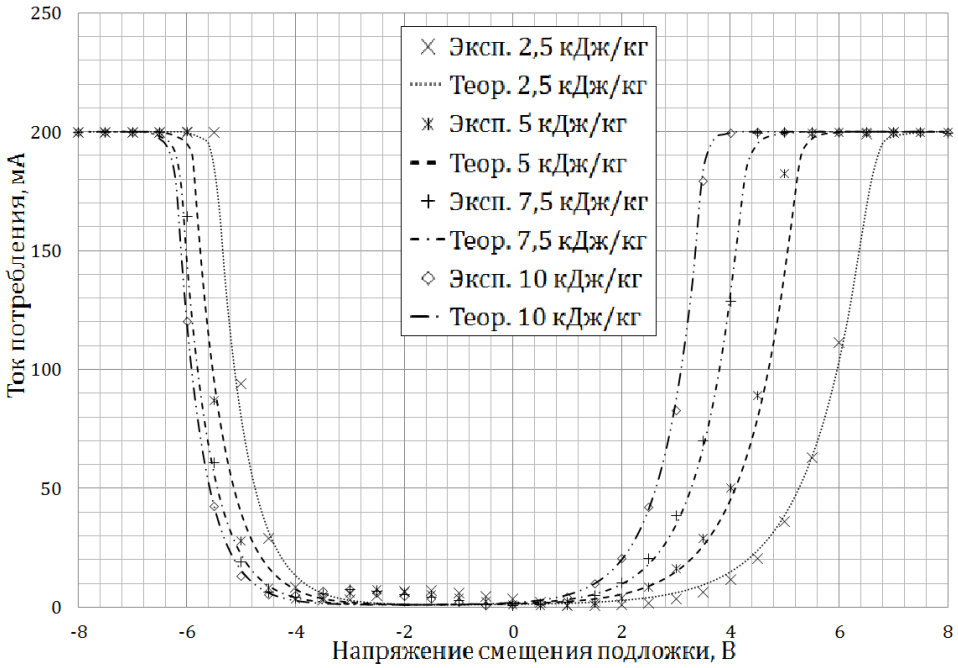



Рис. 3. Теоретические и экспериментальные статические вольт-амперные характеристики КМОП-ячейки при различных дозах ионизирующего излучения

Из полученных графиков видно, что с увеличением дозы ионизирующего излучения происходит постепенное снижение динамики изменения характеристик. Результаты расчетов статических вольт-амперных характеристик совпадают с экспериментальными данными с погрешностью в 9%, что сопоставимо с дозиметрической погрешностью[5].

**Заключение**

Результаты анализа, представленные в данной работе, позволили сделать следующие выводы:

1) В рамках работы было проведено моделирование деградации статических вольтамперных характеристик при воздействии низкоинтенсивных проникающих излучений. Сравнение результатов расчетов с экспериментальными данными показало адекватность предложенного подхода.

2) Полученные результаты хорошо согласуются с известными на данный момент данными и представлениями, что вместе с остальными исследованиями[6] позволяет использовать модель для неразрушающей отбраковки готовых цифровых микросхем высокой степени интеграции, оценивая уровень, при котором будет происходить параметрический отказ при воздействии низкоинтенсивных проникающих излучений.

***Список литературы***

1. *Забавичев И.Ю., Насеткин К.А., Потехин А.А., Пузанов А.С., Оболенский С.В., Козлов В.А.* Моделирование процесса формирования разупорядоченной области радиационных дефектов в кремнии // В кн.: Труды XXIII Международного симпозиума (Нижний Новгород, 11-14 марта 2019 г.) – Нижний Новгород, 2019 г. С.690-691.

2. *Obolenskii S.V., Kitaev M.A.,* NEGATIVE DIFFERENTIAL CONDUCTANCE OF A QUASI-BALLISTIC MESFET //Russian Microelectronics. 2001. Т. 30. № 6. С. 394-400.

3. *Петросянц К.О., Самбурский Л.М., Харитонов И.А.* Компактная макромодель КНИ/КНС МОП-транзистора, учитывающая радиационные эффекты // Известия ВУЗов. Электроника. 2011. №1(87). С.20-28.

4. *Гергель В.А., Мокеров В.Г., Тимофеев М.В., Федоров Ю.В.* Ультраквази-гидродинамический электронный транспорт в субмикронных полевых МДП-транзисторах и гетеротранзисторах // Физика и техника полупроводников, 2000, Т.34, №2, С. 239.

5. *Насеткин К.А., Забавичев И.Ю., Потехин А.А., Пузанов А.С., Оболенский С.В., Козлов В.А.* Моделирование реакции субмикронных структур «кремний на изоляторе» на воздействие низкоинтенсивных проникающих излучений // В кн.: Труды XXIII Международного симпозиума (Нижний Новгород, 11-14 марта 2019 г.) – Нижний Новгород, 2019 г. С.774-775.

6. *Киселева Е.В., Китаев М.А., Оболенский С.В., Трофимов В.Т., Козлов В.А.,* Радиационная стойкость перспективных арсенид галлиевых полевых транзисторов Шотки// Журнал технической физики. 2005. Т. 75. № 4. С. 136-138.

*05.13.18*

**[1]В.Д. Павлидис д-р педагог. наук, [1]Р.Д. Сулейменова канд. педагог. наук,**
**[2]Д.В. Левченко канд. педагог. наук**

[1]ФГБОУ ВО Оренбургский государственный аграрный университет,
Институт управления рисками и комплексной безопасности,
кафедра «Информатика и прикладная математика»,
[2]Оренбургский институт путей сообщения,
филиал ФГБОУ ВО «Самарский государственный университет путей сообщения»,
Оренбург, pavlidis@mail.ru, raislu_2707.ru@mail.ru, lev_lev75@mail.ru

# АНАЛИЗ И ОЦЕНКА ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО РИСКА РАБОТНИКОВ БУРОВОЙ ФИЛИАЛА «ОРЕНБУРГБУРЕНИЕ» ООО «ГАЗПРОМБУРЕНИЕ»

*В работе выполнена оценка и анализ профессионального риска работников буровой установки на основании данных по предприятию ООО «Газпромбурение». Результаты могут быть использованы для разработки мероприятий по улучшению условий труда работников, а также прогнозирования вероятности развития профессиональных заболеваний работников буровой.*

Ключевые слова: *индивидуальный профессиональный риск, работники нефтегазовой отрасли, интегральная оценка условий труда.*

На современном этапе развития техники и технологии роль и значение управления рисками является общемировой тенденцией, которая наиболее ярко проявляется в планировании и организации работы топливно-энергетического комплекса (ТЭК) России.

Оценка и управление производственными рисками - это насущная экономическая необходимость. Состояние здоровья работников, которое определяет качество трудовых ресурсов, демографическую ситуацию в стране и возможности роста производительности труда, является одним из важных компонентов здоровья общества [1].

Под вероятностью потери здоровья или утраты жизни, которая связана с реализацией сотрудником функций по трудовому соглашению в регрессии от условий труда на его рабочем месте, мы понимаем индивидуальный профессиональный риск (ИПР) работника. Индивидуальный профессиональный риск работника зависит от следующих факторов риска: условий труда, состояния здоровья работника, возраста, трудового стажа работника буровой во вредных условиях труда [2]. Основными показателями профессионального риска являются профессиональная заболеваемость и производственный травматизм.

В нашей статье выполнена оценка и анализ профессионального риска работников буровой филиала «Оренбургбурение» ООО «Газпромбурение» на основании данных по предприятию. Результаты могут быть использованы для разработки мероприятий по улучшению условий труда работников, а также прогнозирования вероятности развития профессиональных заболеваний работников буровой.

Буровая бригада - это команда, которая объединяет разных по профессии и обязанностям сотрудников для осуществления определенного спектра работ по строительству скважины.

Во время бурения скважин используют машины и механизмы, работа которых увеличивает уровень шума и вибраций. На организм человека это оказывает вредное воздействие. Тяжелые и крупногабаритные инструменты представляют собою опасность во время работ. Возможность их падения на персонал может привести к тяжелым последствиям - травмам, увечьям, летальному исходу [3].

Для расчета профессиональных рисков работников буровой мы будем применять «Методику расчета индивидуального профессионального риска в зависимости от условий труда и состояния здоровья работника» [4]. Авторы методики предлагают с помощью

интегральной оценки условий труда (ИОУТ) производить оценку общей пагубности и небезопасности условий труда на рабочих местах при совокупном влиянии разнообразных промышленных причинах. Адаптируя эту методику к условиям работы буровой бригады, рассчитаем интегральную оценку условий труда. Она учитывает величину риска травмирования и защищенность работников средствами индивидуальной защиты (СИЗ). ИОУТ высчитывается с помощью трех величин: показатель вредности условий труда (ПВ); показатель риска травмирования работника (РТ); показатель защищенности работника средствами индивидуальной защиты (ОЗ) [5].

ПВ находится по формуле:

$$ПВ=(В_Ф-В_Д)\ К_{БМ}, \quad (1)$$

где $В_ф$ – сумма баллов, характеризующая фактический уровень условий труда, $В_ф$ определяется по формуле:

$$B_Ф = \sum_{i=1}^{m} v_i \ , \quad (2)$$

где $v_i$ – вес в баллах, для каждого производственного фактора;

m – количество производственных факторов для определенного функционирующего места.

$В_д$ – общее количество баллов для каждого из факторов рабочего места, вредность при переаттестации признана классом 2 (допустимые). В данном обстоятельстве вес в баллах для каждого фактора будет равен 2 ($v_i = 2$), а общее количество баллов составит:

$$B_Д = 2 \cdot m, \quad (3)$$

$К_{БМ}$ = 0,5 – компонент сведения к безразмерному виду.

Риск рассматривается как комплекс вероятности появления в эксплуатационной работе опасного случая, травмы или другого урона для здоровья человека, вызванных этим событием. В теорию управления охраной труда включено понятие «трудовая деятельность» (ГОСТ 12.0.230-2007).

Интегральная оценка условий труда на производстве вычисляется по формуле (4):

$$ИОУТ = \frac{100 \cdot [(ПВ - 1) \cdot 6 + Р]}{2334}, \quad (4)$$

где ПВ – показатель вредности, который находится по формуле (1);

Р – ранг высчитанный в соответствии с показателями РТ и ОЗ для конкретного рабочего места;

100 – индекс соответствия;

2334 – число, показывающее все трансцендентно возможные сочетания значений ПВ ≥ 1, ОЗ и РТ.

Для фактических расчетов за наибольшее значение ИОУТ следует принять значение ИОУТ = 15.

Результаты оценки наших изысканий считаются основополагающими исходными данными для оценки профессиональных рисков.

Значение индивидуального профессионального риска конкретного работника будем использовать как рассчитанное обобщение индивидуальных параметров. При этом веса ($W_i$) каждого из факторов риска вычислим на основе экспертных оценок. Итог весовых коэффициентов должен быть равен единице.

Порядок определения ИПР состоит в следующем: каждому параметру приписывается весовой коэффициент; абсолютные значения показателей параметров переводятся в относительные; рассчитывается суммирование взвешенных значений всех параметров, которые приведены к относительным значениям:

$$SUM = W_1 \cdot (1/15) \cdot ИОУТ + W_2 \cdot (1/5) \cdot З + W_3 \cdot (1/5) \cdot В + W_4 \cdot (1/5) \cdot С, \quad (5)$$

Индивидуальный профессиональный риск (ИПР) сотрудника буровой находится по формуле (6):

$$ИПР = SUM \cdot П_Т \cdot П_З \quad (6)$$

где SUM – общее количество взвешенных значений параметров ИОУТ, З, В, С;

$П_т$ – показатель оценки травматизма за прошлый год;

$П_з$ – показатель оценки заболеваемости за прошлый год.

На основании применения ИОУТ на буровой, общего самочувствия сотрудника буровой, его возраста и трудового стажа во вредных или опасных условиях труда построим алгоритм подсчета индивидуального профессионального риска.

Для расчета величины профессионального риска, были проанализированы карты специальной оценки условий труда работников филиала «Оренбургбурение» ООО «Газпромбурение»: начальник буровой; мастер буровой; бурильщик 7 и 6 разрядов; помощник бурильщика 5 разряда; машинист 5 разряда; старший дизелист 6 разряда; слесарь 6 разряда; электрогазосварщик; электромонтер 5 разряда; оператор котельной 3 разряда.

Проанализировав карты специальной оценки условий труда бурильщика можно сказать, что данная категория работников имеет третий класс второй подкласс опасности вредности условий труда, а неблагоприятные условия труда у всех работников кроме начальника буровой.

Данные, полученные по результатам исследования карт специальной оценки условий труда бурильщика:

- показатели единой оценки условий труда на буровой, взятые из карты специальной оценки условий труда;
- рабочее место не соответствует требованиям обеспеченности работников СИЗ.

За истекший год на рабочем месте бурильщика не было зарегистрировано случаев травматизма, случаев профзаболеваний. Возраст работника – 34 года, трудовой стаж во вредных условиях труда – 10 лет.

В соответствии с разработанным алгоритмом расчета индивидуального профессионального риска, проведем вычисления в несколько этапов.

На первом этапе вычислим интегральную оценку условий труда бурильщика применяя показатели вредности (ПВ), показатели защищенности работника средствами индивидуальной защиты (ОЗ) и показатели риска травмирования работника (РТ).

Определим значение показателя вредности условий труда бурильщика на его рабочем месте:

1.Определяется по формуле суммарная вредность на рабочем месте:

$В_{Ф=}$ 2 балла $\cdot 3 +$ 4 балла $\cdot 2 +$ 8 баллов $\cdot 1 =$ 22 балла

2.Производственный фактор равен:

$В_д = 2$ балла $\cdot 6 = 12$ баллов

3.Показатель вредности условий труда вычисляется по формуле:

ПВ = (22 балла – 12 баллов) · 0,5 = 5

Используя эти результаты найдем значения ОЗ и РТ .

Если ПВ $\geq$1, то интегральная оценка условий труда на рабочем месте вычисляется по формуле (4):

$$ИУОТ = \frac{100 \cdot [(5-1) \cdot 6 + 3]}{2334} = 1{,}15$$

Показатель состояния здоровья работника находится на втором этапе. Следует отметить, что это значение равно трем, то есть $З_д$=3. Показатель возраста работника и его трудового стажа определяется на третьем этапе. С имеющимися данными о сотруднике буровой относим его ко второй группе. Показатель его возраста равен двум, В=2.

Показатель травматизма ($П_т$) на рабочем месте высчитывается на четвертом этапе по формуле:

$$П_т = К_С \cdot К_Т, \; П_т = 1 \cdot 1 = 1$$

Норматив заболеваемости ($П_з$) на буровой за прошлый год вычисляется на пятом этапе. В соответствии с таблицей, показатель заболеваемости $П_з$ =1.

Значение индивидуального профессионального риска работника буровой с учетом весовых коэффициентов и коэффициентов, используемых для преобразования показателей величин из абсолютных в относительные, решается на шестом этапе по формулам (5) и (6):

$$ИПР = \left[0{,}5 \cdot \left(\frac{1}{15}\right) \cdot 1{,}15 + 0{,}2 \cdot \left(\frac{1}{5}\right) \cdot 3 + 0{,}1 \cdot \left(\frac{1}{5}\right) \cdot 2 + 0{,}2 \cdot \left(\frac{1}{5}\right) \cdot 1\right] \cdot 1 \cdot 1$$

$$ИПР = 0{,}23$$

Это соответствует высокому риску.

Таблица 1 Величина индивидуального профессионального риска работников буровой филиала «Оренбургбурение» ООО «Газпромбурение»

| Наименование специальности | Показатель вредности $П_в$ | Показатель возраста В | Показатель стажа С | Показатель травматизма $П_т$ | Показатель состояния здоровья $З_д$ | Значение величины ИПР |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Бурильщик | 5 | 2 | 1 | 1 | 3 | 0,23 |
| Мастер буровой | 4 | 1 | 1 | 1 | 2 | 0,18 |
| Помощник бурильщика | 5 | 2 | 2 | 1 | 2 | 0,22 |
| Машинист | 4 | 2 | 1 | 1 | 1 | 0,15 |
| Дизелист | 3 | 1 | 2 | 1 | 1 | 0,20 |
| Слесарь | 3 | 2 | 2 | 1 | 1 | 0,21 |
| Электросварщик | 2 | 3 | 2 | 1 | 2 | 0,20 |
| Электромонтер | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 0,15 |
| Оператор котельной | 3 | 1 | 2 | 1 | 2 | 0,17 |

В таблице 1 показана калькуляция величины индивидуального профессионального риска работников буровой.

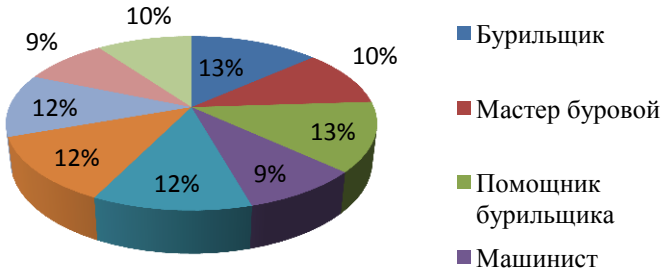



Рис. 1- Диаграмма значений величин индивидуального профессионального риска

Проанализировав данные, можно сделать вывод о том, что наиболее высокие значения индивидуального профессионального риска у бурильщика и помощника бурильщика и рекомендовать следующую систему мероприятий по снижению рисков:

1. Для сведения к минимуму ошибки в сочленениях деталей (перекосы, неверные расстояния между центрами) обеспечить технологии и системы сборки деталей агрегатов;
2. Для смазки соударяющихся деталей применить вязкие жидкости;
3. Оборудовать буровой насос звукоизолирующим кожухом.

Для оценки эффективности предложенных мероприятий был проведен повторный расчет профессионального риска:

$$ИПР = \left[0{,}5 \cdot \left(\frac{1}{15}\right) \cdot 0{,}98 + 0{,}2 \cdot \left(\frac{1}{5}\right) \cdot 3 + 0{,}1 \cdot \left(\frac{1}{5}\right) \cdot 2 + 0{,}2 \cdot \left(\frac{1}{5}\right) \cdot 1\right] \cdot 1 \cdot 1$$

$$ИПР = 0{,}21$$

Таким образом, после внедрения шагов по уменьшению рисков, величина индивидуального профессионального риска бурильщика снизилось с 0,23 до 0,21. По шкале индивидуального профессионального риска (ИПР) это значение можно отнести к категории среднего риска. Следует сделать вывод об их эффективности, так как величина риска снизилась до средней величины.

***Список литературы***

1. *Елин А.М.* Социально-экономические реформирования охраны труда в Российской Федерации//Охрана труда.-№8.-2012г.-С.10-15.
2. *Махутов Н.А., Новосёлов Н.В., Пермяков В.Н, Спасибов В.М.* Обоснование безопасности промышленных объектов по критериям рисков и ранней диагностики //Безопасность в техносфере.-2014.-№4.-С.8-17.
3. *Владимиров А.И., Кершенбаум В.Я.* Промышленная безопасность и надёжность магистральных трубопроводов., М.: Национальный институт нефти и газа, 2016. – С. 696.
4. Методика расчета индивидуального профессионального риска в зависимости от условий труда и состояния здоровья работника. Методические рекомендации. – Утв. Председателем Научного совета 45 Минздравсоцразвития России и РАМН. Медико-экологические проблемы здоровья работающих. 23.06.2011. – М. – С. 20.
5. *Ефремова, О.С.* Охрана труда в организации в схемах и таблицах / О.С. Ефремова. - М.: Альфа-Пресс, 2012. – С.108.

*05.13.18*

**К.Ю. Панькин, Н.Н. Беспалов канд. техн. наук,**
**Ю.В. Горячкин канд. техн. наук, П.М. Дёмкин**

Национальный исследовательский
Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва,
кафедра электроники и наноэлектроники,
Саранск, ka-mgu@mail.ru

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В СИЛОВОМ ДИОДЕ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ ПРЯМОГО ТОКА

*Для экспериментального определения теплового сопротивления необходимо перегреть полупроводниковую структуру силового полупроводникового прибора до определённого значения температуры структуры. В статье приведено моделирование переходных тепловых процессов в силовом диоде при длительном воздействии прямого тока. Результаты исследования получены на основе моделирования в приборно-технологической среде Synopsys TCAD. Установлено, что импульс тока длительностью 3 с можно заменить на серию кратковременных импульсов тока и добиться такой же температуры перегрева практически за то же время, что и при длительном импульсе тока.*

Ключевые слова: *прямой ток, импульс тока, падение напряжения, моделирование, силовой полупроводниковый диод, длительность, температура.*

**Введение.** Современные устройства силовой электроники (УСЭ) реализуются на основе силовых полупроводниковых приборов (СПП). Надёжность УСЭ в целом существенно зависит от выбора тепловых режимов работы СПП. Для выбора оптимального теплового режима работы СПП необходимо с высокой точностью определять тепловые параметры и характеристики СПП, в частности, установившееся значение теплового сопротивления $R_{th}$. От точности определения теплового сопротивления $R_{th}$ зависит, во-первых, объективность отбора потенциально ненадёжных СПП, для которых тепловое сопротивление $R_{th}$ обычно существенно выше, чем $R_{th}$ для приборов генеральной совокупности, а, во-вторых, объективный подбор приборов в групповые соединения УСЭ для обеспечения приблизительной одинаковости их тепловых режимов при эксплуатации. Эти меры позволяют повысить эксплуатационную надёжность УСЭ.

Для экспериментального определения теплового сопротивления $R_{th}$ необходимо перегреть полупроводниковую структуру (ПС) СПП до определённого значения температуры $T_j$. Техническое решение этой задачи достаточно сложно выполнить. Это обусловлено необходимостью разогревать СПП в состоянии высокой проводимости током, например, постоянным по форме, с относительно большими величинами амплитуды и длительности. В данной работе приводятся результаты моделирования переходных тепловых процессов в силовом диоде (СД) при длительном воздействии постоянного прямого тока и при воздействии коротких импульсов тока длительное время с целью определения интервала времени, который требуется для достижения заданного значения температуры перегрева ПС СД. Моделирование проводилось в программной среде приборно-технологического моделирования Synopsys TCAD [1].

**Моделирование тепловых и электрических режимов.** В качестве объекта моделирования была использована структура выпрямительного СД таблеточной конструкции диаметром полупроводниковой структуры 76 мм, рассчитанного на величину повторяющегося обратного напряжения $U_{RRM}$ = 5000 В и предельный прямой ток $I_{FAV}$ = 2500 А. В программе Structure Editor [2], была разработана структура такого диода [3]. Разработанная модель учитывает эффекты высокого уровня инжекции и влияние

концентрации легирующей примеси на электрофизические параметры полупроводниковой структуры, а также разогрев ПС СД от протекающего прямого тока. Подробное описание этих эффектов приведено в [4]. Исследуемая модель не учитывает способ и режимы охлаждения моделируемого диода с помощью внешнего радиатора.

Моделирование проводилось в программе Sentaurus Device [5]. Моделировались процессы в ПС СД при воздействии импульсов тока при которых в установившемся режиме температура перегрева структуры $\Delta T_j$, становилась равной +50 °С. Моделировались процессы в ПС при прохождении импульсов прямого тока $i_F$ длительностью $\Delta\tau$ = 3 с с разной амплитудой $I_{F1}$ = 5000 А, $I_{F2}$ =7000 А и $I_{F3}$ = 8100. Начальная температуры структуры $T_{j0}$ была задана равной +27 °С. Для получения значения перегрева структуры $\Delta T_j$, = +50 °С необходимо, чтобы максимальная температура структуры $T_{jmax}$ составила +77 °С.

На рисунке 1 приведены временные диаграммы импульсов тока, пропускаемых через СД длительностью $\Delta\tau$ = 3 с.

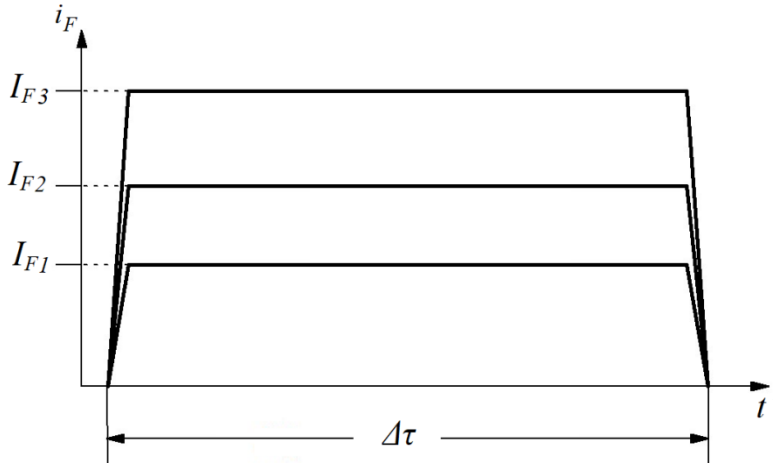



Рис. 1 - Временные диаграммы длительных испытательных импульсов тока

На рисунке 2 показан график изменения температуры $T_j$ ПС СД во время протекания через неё длительных импульсов прямого тока разной амплитуды.

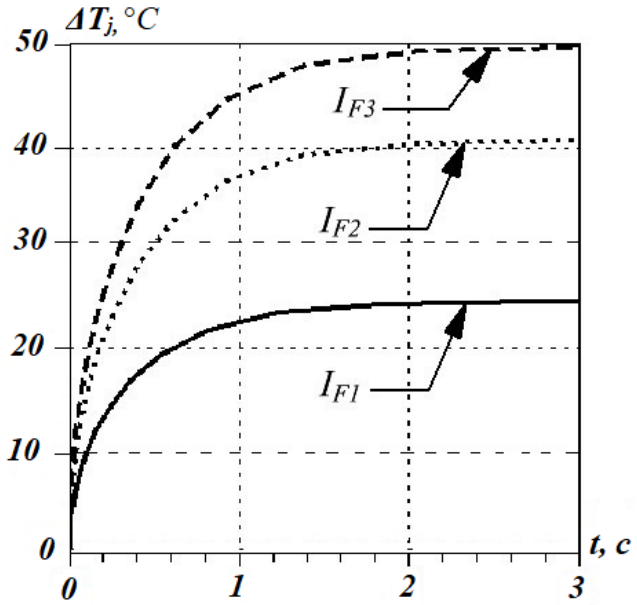



Рис. 2 - График изменения температуры Tj ПС СД во времени

Из рисунка 2 видно, что заданный перегрев структуры $\Delta T_j$ = +50 °С достигается при токе импульсе тока с амплитудой 8100 А в момент времени $\Delta\tau$ = 3 с. Получить импульс прямого тока длительностью $\Delta\tau$ = 3 с с постоянной амплитудой 8100 А технически достаточно сложно. Для этого потребуется создать сложное силовое испытательное устройство. Однако технически проще решить эту задачу если применить ряд импульсных источников тока,

которые формируют через испытуемый прибор импульсы прямого тока с относительно малой длительностью и которые последовательно переключаясь создадут необходимый испытательный токовый режим в СД. Получить такие импульсы можно путём создания двух или нескольких генераторов тока и переключать эти генераторы тока с определённой частотой.

Нами выбран метод нагрева СД путем пропускания через него серии испытательных квазипрямоугольных импульсов тока длительностью 10 мс и с амплитудой $I_{имп}$ = 8100 А, которые следуют друг за другом с паузой в 200 мкс. На рисунке 3 приведены временная диаграмма серии таких испытательных импульсов тока через СД, которые задавались при моделировании.

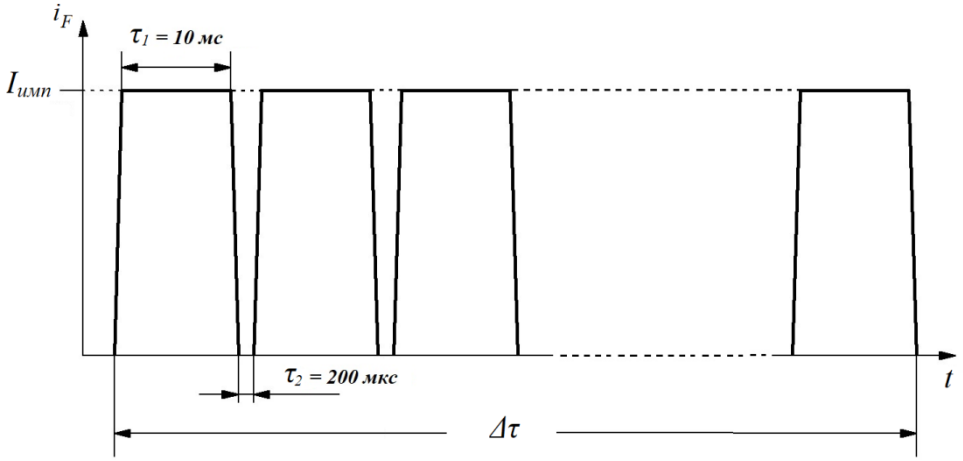
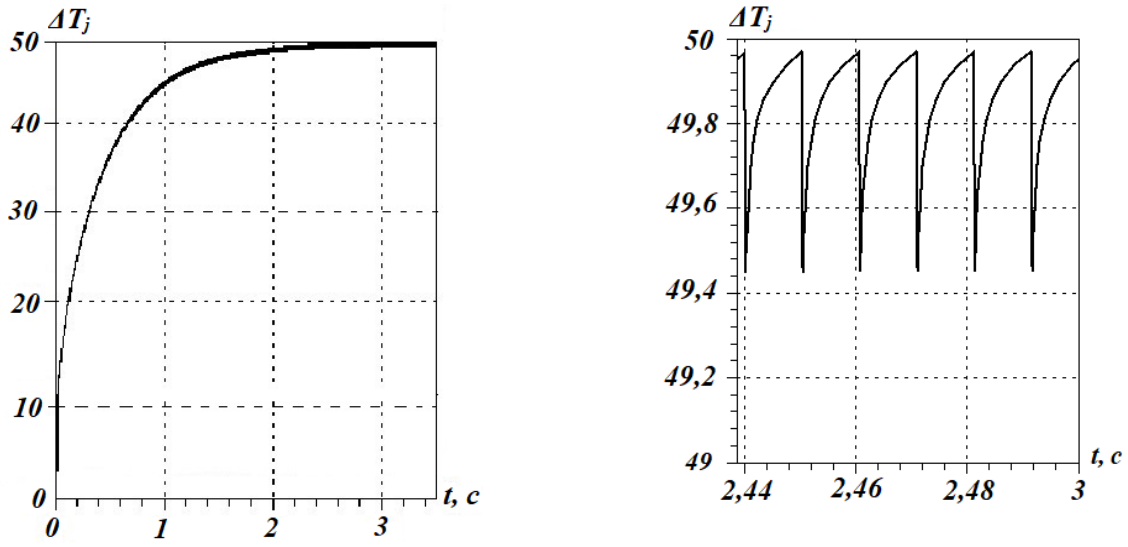



Рис. 3 - Временная диаграмма испытательных импульсов прямого тока через СД, которые использовались при моделировании




а) б)

Рис. 4 - Изменение температуры перегрева структуры $\Delta T_j$ от времени при протекании кратковременных импульсов тока в обычном масштабе (а), в увеличенном масштабе (б)

На рисунке 4 показаны полученные временные зависимости температуры $T_j$ ПС при пропускании серии испытательных импульсов прямого тока.

Из рисунка 4, а видно, что перегрев структуры $\Delta T_j$ = +50 °С при пропускании серии испытательных импульсов тока, как и в случае подачи одного длительного импульса тока достигается $\Delta\tau$ = 3 с. Однако при этом наблюдаются некоторые пульсации температуры $\Delta T_{jиульс}$ примерно в 0,45 $^0$С. Величина этих пульсаций незначительна и не будет существенно влиять на точность определения характеристик испытуемого прибора. При этом пульсации $\Delta T_{jиульс}$ можно снизить уменьшением паузы между импульсами, а потому этим фактором можно пренебречь.

**Заключение.** По полученным результатам моделирования электрических и тепловых процессов в СД выявлено, что необходимый перегрев в ПС возможно достичь применяя пропускание через СД в прямом направлении серии кратковременных импульсов тока. Полученные результаты моделирования в дальнейшем будут использованы при разработке экспресс-метода и аппаратуры для нагрева СПП при определении ряда их электрических и тепловых характеристик и параметров.

***Список литературы***

1. Technology Computer Aided Design (TCAD). – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.synopsys.com/silicon/tcad.html.
2. Structure Editor. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.synopsys.com/silicon/tcad/structure-editor.html.
3. *Беспалов Н.Н.* Исследование стартовых тепловых режимов работы силовых полупроводниковых приборов при различных начальных значениях температуры. / *Н. Н. Беспалов, Ю.В. Горячкин, К.Ю. Панькин П.М. Дёмкин* // Материалы XIII Всероссийской научно-технической конференции: Чебоксары: Чувашский. гос. ун-т, 2019. – С. 262 - 265.
4. *Горячкин Ю.В.* Физико-топологическое моделирование в САПР TCAD / *Ю.В. Горячкин, С.А. Нестеров, Б.П. Сурин.* – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2006. – 124 с.
5. Sentaurus Device. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.synopsys.com/silicon/tcad/device-simulation/sentaurus-device.html.

*05.13.18*

**[1]Р.Д. Сулейменова канд. педагог. наук, [2]Д.В. Левченко канд. педагог. наук**

[1]ФГБОУ ВО Оренбургский государственный аграрный университет,
Институт управления рисками и комплексной безопасности,
кафедра «Информатика и прикладная математика»,
[2]Оренбургский институт путей сообщения,
филиал ФГБОУ ВО «Самарский государственный университет путей сообщения»,
Оренбург, raislu_2707.ru@mail.ru, lev_lev75@mail.ru,

# МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РИСКОВ РАЗВИТИЯ ВУЗА

*В статье представлена математическая модель расчета рисков развития вуза. Выявлены ключевые показатели конкурентоспособности вузов. Риски интерпретируются как скалярная функция дивергенции, обосновано использование аппарата векторного анализа.*

Ключевые слова: *конкурентоспособность вуза, риски развития вуза, математическая модель рисков, дивергенция, векторная функция.*

В настоящее время в высшей школе происходят значительные преобразования, заставляющие по-новому реализовывать образовательную политику, применять рыночные стратегии, изучать механизмы спроса, предложения, конкуренции на рынке образовательных услуг. Конкурентоспособность образовательных организаций коррелирует с притоком абитуриентов, спектром предлагаемых образовательных услуг, возможностями развития кадрового состава.

В работе И.Б. Романовой конкурентоспособность вуза рассматривается как такое его свойство, которое определяет отношение части релевантного рынка относящихся к данному вузу образовательных услуг и возможности блокирования перераспределения рынка в пользу других образовательных организаций. Конкурентоспособность высшего учебного заведения рассматривается исследователем в контексте рыночных отношений, когда вуз становится производителем смешанного блага. Это позволяет использовать подходы, применяемые к организациям как в сфере материального, так и нематериального производства с учетом специфики значимых факторов. По мнению автора, конкурентоспособность вуза означает его способность работать в динамичной конкурентной среде при удержании имеющихся конкурентных преимуществ с позитивной динамикой [1, с. 61].

Положение ВУЗа на рынке образовательных услуг напрямую связано с конкурентоспособностью выпускника. Как отмечает Р.А. Фатхутдинов, ВУЗ должен готовить специалистов высокой квалификации, которые способны выдерживать конкуренцию на внутреннем либо внешнем рынке труда. ВУЗ также должен предлагать актуальные новшества, связанные со сферой научных изысканий, а также обеспечивать воспроизводство кадров и материально-технических ресурсов [2, с. 37].

Конкурентоспособность становится востребованной при наличии других вузов – на уровне города (региона), соседних регионов и федеральных (международных) научно-образовательных центров, куда возможен отток выпускников - потенциальных абитуриентов. Четко высвечивается проблема конкуренции вузов на уровне региона, если прослеживать динамику по какой-либо одной или смежным специальностям, по которым осуществляется подготовка в нескольких образовательных организациях. Обобщая все составляющие конкурентоспособности, отметим в качестве интегрального фактора ориентированность образовательных услуг на будущее рынка труда, развитие производства и технологий.

Повышение требований общества к качеству подготовки бакалавров, непрерывное обновление технологий обучения, изменение экономических условий деятельности вузов, наличие права на собственную предпринимательскую и иную приносящую доход деятельность, обострение конкурентной борьбы на рынке образовательных услуг требует просчитывания и прогнозирования предполагаемых рисков от осуществления образовательной деятельности.

В теории достаточно разработаны экономические модели рисков, их классификации, финансовые издержки и принятие управленческих решений в связи с рисковой ситуацией. Изучение публикаций по проблеме рисков деятельности высших учебных заведений исчерпывающе раскрывает качественные характеристики факторов, имеющих негативные последствия для деятельности вуза. Имеются классификации рисков по различным основаниям (по причинам возникновения, по длительности воздействия; по характеру возможных потерь, по возможности страхования и др.) [3; 4]. В то же время, количественный расчет рисков деятельности вуза представлен единичными работами [5; 6].

Одним из определяющих факторов конкурентоспособности вуза становится его способность систематически и целенаправленно обеспечивать приток абитуриентов – потребителей предоставляемых образовательных услуг. Важными факторами являются также востребованность специалистов на рынке труда и финансовая составляющая деятельности вуза, а именно: снижение доли бюджетного финансирования, недофинансирование, сокращение объёма исполняемых хоздоговорных исследовательских работ, необходимость закупок дорогостоящего материально-технического обеспечения и т.д.

Таким образом, специфика деятельности вуза может рассматриваться в пространстве трех переменных: $x$ – количество потенциальных абитуриентов; $y$ – количество выпускников, затребованных рынком труда; $z$ - количество бюджетных средств на реализацию образовательных программ.

Эмпирически любая деятельность вуза, и особенно инновационная, должна в той или иной мере давать прирост и по количеству абитуриентов/выпускников, и по притоку финансовых средств. Рассмотрим трехмерную систему координат, положив по оси $x$ – количество абитуриентов; по оси $y$ – количество трудоустраиваемых выпускников; по оси $z$ - количество бюджетных средств. Тогда экономическая деятельность вуза рассматривается в системе трех координат, что хорошо интерпретируется координатами трехмерного вектора $\overrightarrow{F}(\alpha,\beta,\gamma) = \alpha\vec{\imath} + \beta\vec{\jmath} + \gamma\vec{k}$. При этом в зависимости от текущих значений $x$, $y$, $z$ прирост по каждой переменной (координате) может быть различным, следовательно, координаты вектора зависят от точки приложения: $\alpha = P(x,y,z)$, $\beta = Q(x,y,z)$, $\gamma = R(x,y,z)$.

Это позволяет рассмотреть векторную функцию

$\vec{F}(x,y,z)=P(x,y,z)\vec{\imath} + Q(x,y,z)\vec{\jmath} + R(x,y,z)\vec{k}$, характеризующую некоторый вид деятельности вуза. При этом функция $P(x,y,z)$ – прирост количества абитуриентов в результате рассматриваемой деятельности; $Q(x,y,z)$ – прирост количества трудоустраиваемых выпускников; $R(x,y,z)$ – прирост бюджета вуза.

Если значения данных функций (в идеале) совпадают с прогнозными, то имеем редкий случай полного соответствия целей и результатов. На практике возможно рассматривать не только прогнозируемые конкретные значения, но и допускаемые интервалы значений каждой из функций, а также отклонения от прогнозируемых значений.

Опираясь на исследование А.А. Новакова, определяющего риск как «вероятность несовпадения показателя в горизонте прогноза с некоторым заранее планируемым, просчитываемым значением» [6], отклонение от прогнозных значений (интервалов) в меньшую или большую сторону можно интерпретировать как риски.

Каждый из предусмотренных уставом вуза видов образовательной деятельности (реализация основных образовательных программ разной направленности, программ дополнительного образования; исследовательская деятельность по грантам и договорам и др.) может интерпретироваться как векторная функция или векторное поле. Замечая, что

планирование требует определения целевых показателей (в общем случае, по всем выбранным нами переменным), можно рассматривать и некоторую функцию, интегрально представляющую образовательную деятельность вуза, и, соответственно, предполагать наличие векторного поля развития вуза в целом.

Рассмотрим точку *M*, координаты которой *x* – количество абитуриентов на данный момент времени; *y* – текущее количество трудоустроенных по профессии выпускников; *z* – количество бюджетных средств на текущую дату. Естественно, значения данных переменных должны принадлежать некоторым интервалам. Так, количество абитуриентов ограничено минимальным нулевым значением и максимальным в соответствии с планом приема; количество трудоустроенных выпускников не может превышать количество студентов, включенных в приказ о выпуске; финансовые поступления из бюджета также регламентированы. Обозначим в качестве области *T* часть пространства, ограниченную по осям данными интервалами.

Из курса высшей математики известно, что если в каждой точке *M(x, y, z)* области *T* определено векторное поле $\vec{F}(x,y,z)=P(x,y,z)\vec{\imath} + Q(x,y,z)\vec{\jmath} + R(x,y,z)\vec{k},$, компоненты которого *P, Q, R* дифференцируемы в этих точках, то можем ввести скалярную функцию дивергенции, которая имеет вид $divF = \frac{dP}{dx} + \frac{dQ}{dy} + \frac{dR}{dz}$. Данная функция в нашем понимании показывает риски осуществления образовательной или иной деятельности вуза. Применяя инструментарий математического анализа [7], векторному полю $\vec{F}(x, y, z)$ (образовательной деятельности вуза) в некоторой области *T* поставим в соответствие скалярное поле $div\ \vec{F}(x, y, z)$ .

Функция дивергенции поля $\vec{F}(x, y, z)$ в отдельно взятых точках области *T* (при конкретных частных значениях *x, y, z*) показывает текущие риски применительно к данному моменту времени. Для вычисления суммарной дивергенции (суммарных рисков) по всей области *T* применим тройной интеграл $\iiint_T div\vec{F}(x,y,z)dxdydz.$

Таким образом, предлагаемая модель может быть использована для оценки суммарных рисков вуза в контексте бюджетного финансирования, динамики набора абитуриентов, востребованности выпускников работодателями с учетом всех реализуемых направлений учебной, исследовательской и инновационной деятельности образовательной организации.

### *Список литературы*

1. *Романова И.Б.* Управление конкурентоспособностью высшего учебного заведения. – Ульяновск: Средневолжский научный центр, 2005. – 140 с.

2. *Фатхутдинов Р.А.* Управление конкурентоспособностью вуза. // Высшее образование в России. – 2006. - №9. – С. 37-38.

3. *Гелета И.В., Орел Д.И.* Управление предпринимательскими рисками и методы их оценки // Экономика и менеджмент инновационных технологий. 2016. № 11 [Электронный ресурс]. URL: http://ekonomika.snauka.ru/2016/11/13096 (дата обращения: 02.07.2019)

4. *Даниленкова В.А.* Риски в экологической образовательной среде технического вуза // Молодой ученый. — 2015. — №16. — С. 410-413. — URL https://moluch.ru/archive/96/21552/ (дата обращения: 05.07.2019)

5. *Винтизенко И.Г., Новаков А.А.* Векторная модель экономических рисков параллельных проектов. // Научный журнал КубГАУ (электронный ресурс). – Краснодар: КубГАУ, 2011. – №72(08) – URL http://ej.kubagro.ru/2011/08/pdf/16/pdf (дата обращения: 14.05.2019).

6. *Новаков А.А.* Концепция векторного представления риска в современной вариативной экономике // Управление экономическими системами: электронный научный журнал. — 2011. — №10. — URL http://uecs.ru/uecs-34-342011/item/701-2011-10-19-05-57-13 (дата обращения: 08.06.2019).

7. *Павлидис В.Д.* Специальный раздел математического анализа. Учебное издание. – М.: Омега-Л; Оренбург: Изд. центр ОГАУ, 2015.

*05.13.18*

**А.Г. Щербинин д-р техн. наук, А.Ю. Сухоруков, В.И. Горбунов, Т.Д. Белоглазова**

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Электротехнический факультет,
кафедра Конструирования и технологий в электротехнике,
Пермь, ktei@pstu.ru

# ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПРОЦЕССОВ В СИЛОВЫХ КАБЕЛЯХ ПРИ КОРОТКОМ ЗАМЫКАНИИ

*В статье рассмотрено математическое моделирование электромагнитных процессов в силовых кабелях при коротком замыкании. Получено распределение магнитного поля, приведены результаты расчетов сил, вызванных магнитным полем токов короткого замыкания. Поставленная задача решалась методом конечных элементов с использованием программного комплекса ANSYS Maxwell.*

Ключевые слова: *короткое замыкание, магнитное поле, электродинамические силы*.

В настоящее время для передачи больших объёмов электроэнергии используются силовые кабельные линии. Они могут быть выполнены в качестве воздушных кабельных линий, могут быть проложены в кабельных каналах в земле, в туннелях, коллекторах, эстакадах. При некоторых способах прокладки используются крепления, необходимые для обеспечения устойчивости кабельной линии. При протекании по силовым кабельным линиям токов короткого замыкания крепления могут не выдержать силового воздействие магнитного поля, что повлечёт за собой разрушение конструкции кабельной линии.

В результате протекания электрического тока вокруг кабеля возникает магнитное поле. Это поле действует на проложенные рядом кабели. В данной работе рассматривается прокладка силовых кабелей в туннелях, эстакадах и других объектах, в которых для прокладки кабельных линий используются крепления. И при протекании таких больших токов, как при коротком замыкании, возникают силы, которые могут повредить конструкцию кабельной линии.

Короткое замыкание (КЗ) – это аварийный режим электрической сети, который характеризуется наличием пути с минимальным сопротивлением для протекания тока в обход сопротивления нагрузки для ликвидации разности потенциала. При этом режиме происходит резкий рост тока, который влечёт за собой существенный нагрев участка цепи с коротким замыканием и усиление магнитного поля вокруг проводника.

Причины короткого замыкания:

1) Повреждение изоляции кабелей при прокладке силовых линий или при работах по ремонту и отделке помещений.
2) Ошибки в подсоединении кабелей к приёмному устройству.
3) Использование в работе неисправных приборов, в которых есть прямая возможность возникновения короткого замыкания.

Исследование режимов короткого замыкания проводится на примере силового кабеля ПвВ 1х800/35-10. На рисунке 1 приведена плоская геометрическая модель задачи, представляющая собой два кабеля одинаковой конструкции.

В процессе решения были сделаны следующие допущения:

- процесс стационарный;
- вдоль кабельной линии поле не изменяется, поэтому рассматривается двухмерная задача;
- электромагнитные параметры материалов постоянны.

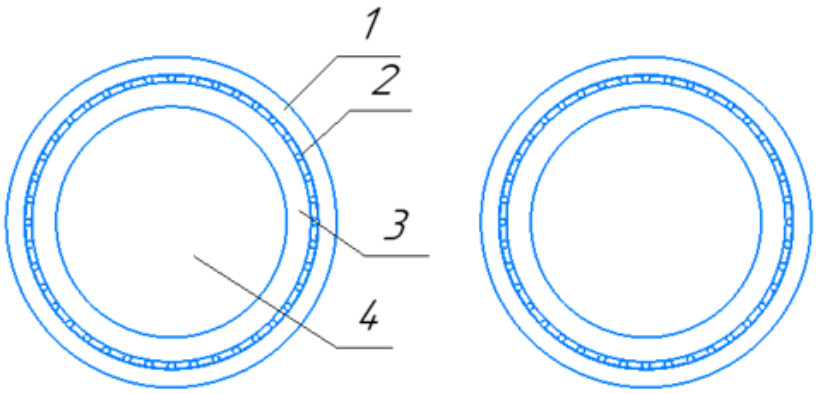



Рис. 1 – Геометрическая модель для исследования режима короткого замыкания.
1 – оболочка, 2 – экран , 3 – изоляция; 4 – токопроводящая жила

Исходя из принятых допущений, дифференциальные уравнения для продольной компоненты векторного магнитного потенциала для проводящей и диэлектрической среды выглядит следующим образом [1]:

проводящая среда

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{1}{\mu_a}\frac{\partial A_z}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{1}{\mu_a}\frac{\partial A_z}{\partial y}\right)+j=0, \quad (1)$$

диэлектрическая среда

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{1}{\mu_a}\frac{\partial A_z}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{1}{\mu_a}\frac{\partial A_z}{\partial y}\right)=0. \quad (2)$$

где $A_z$ – продольная компонента векторного магнитного потенциала; $\mu_a$ – абсолютная магнитная проницаемость; $j$ – плотность тока, которая определяется по формуле

$$j=\frac{I}{S}$$

Здесь: $I$ – заданный ток; $S$ – площадь поперечного сечения токопроводящей жилы.

Граничное условие на внешней границе исследуемой области задается на основании равенства нулю магнитного потенциала на бесконечном удалении.

Система уравнений (1), (2) решается методом конечных элементов в среде ANSYS Maxwell.

Компоненты вектора магнитной индукции в двухмерной постановке определяются по полученному распределению магнитного потенциала по формулам

$$B_x=\frac{\partial A_z}{\partial y}, \quad (3)$$

$$B_y=-\frac{\partial A_z}{\partial x}. \quad (4)$$

Вектор напряженности магнитного поля связан с вектором магнитной индукции выражением

$$\bar{B}=\mu_a\bar{H}. \quad (5)$$

По распределению напряжённости магнитного поля $\bar{H}$ и магнитной индукции $\bar{B}$ магнитная сила определяется по уравнению [2]:

$$\bar{F}=\frac{1}{2}\int\left(\bar{H}\left(\bar{n}\cdot\bar{B}\right)+\bar{B}\left(\bar{n}\cdot\bar{H}\right)-\bar{n}\left(\bar{H}\cdot\bar{B}\right)\right)ds. \quad (6)$$

Здесь: $\bar{n}$ – единичный вектор внешней нормали к поверхности. Интегрирование ведется по замкнутой поверхности окружающей заданный объем.

На рис. 2 представлено распределение напряженности магнитного поля для двух кабелей, расположенных вплотную, по токопроводящим жилам которых протекает ток короткого замыкания равный 120 кА. Сила, действующая на кабель, определяется по формуле (6). На

рисунке 3 построены графики силы, действующей на кабели в зависимости от расстояния между ними при различных значениях тока короткого замыкания.

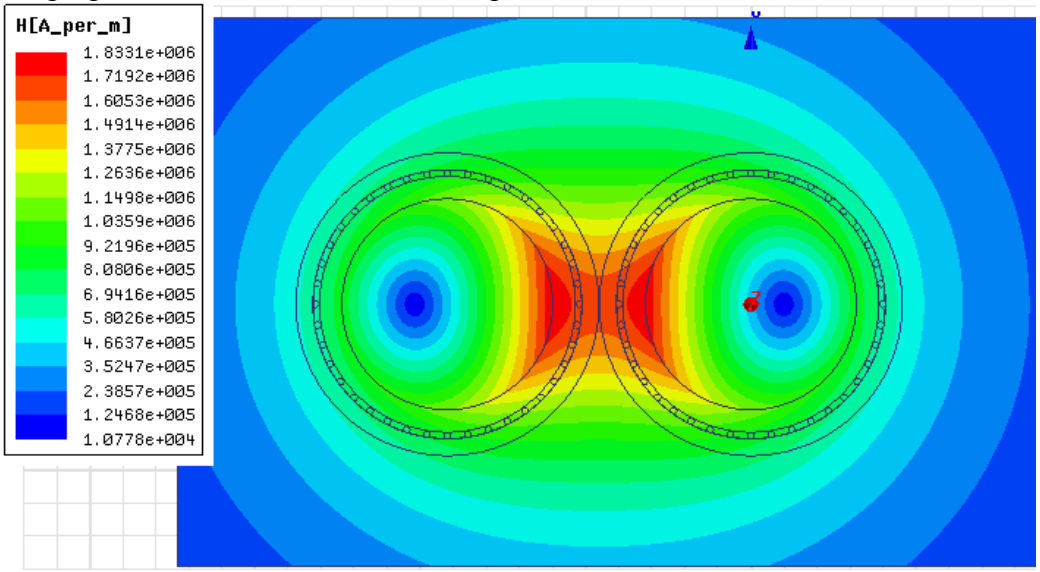



Рис. 2. Распределение напряжённости магнитного поля при токе короткого замыкания 120 кА

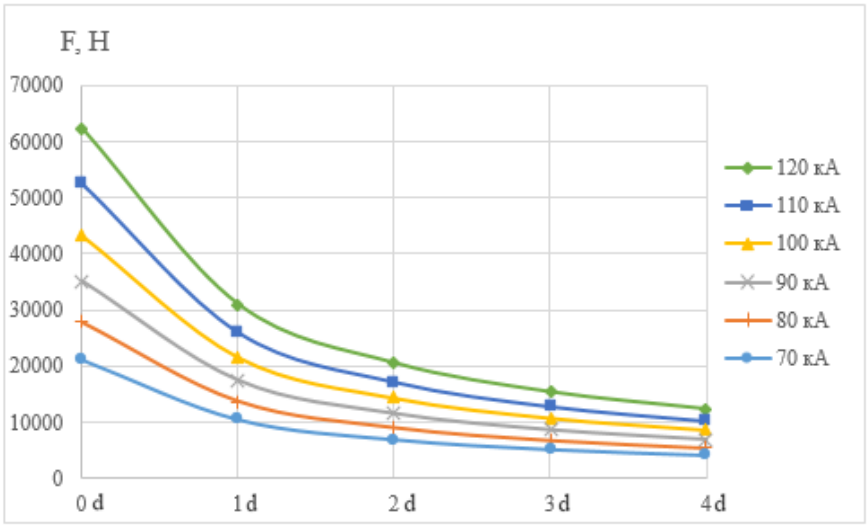



Рис. 3 – Зависимость силы от расстояния между кабелями для токов короткого замыкания разной величины (d – диаметр кабеля)

Из рисунка 3 видно, что сила падает при увеличении расстояния между кабелями. Максимальное значение силы, равное 63 кН, достигается при токе короткого замыкания 120 кА и при расположении кабелей вплотную. При этом увеличение расстояния между кабелями до четырех диаметров кабеля в свету позволяет снизить силу взаимодействия более чем в 4,5 раза. Снижение тока со 120 кА до 70 кА при расположении кабелей вплотную приводит к уменьшению силы в три раза.

Таким образом, при разработке устройств крепления кабельных линий необходимо учитывать силы, которые будут прикладываться к кабелям в условиях режимов короткого замыкания. Следует учитывать, что увеличение расстояния между кабелями позволяет достаточно существенно снизить силы взаимодействия.

### *Список литературы*

1. *Соловейчик Ю.Г., Рояк М.Э., Персова М.Г.* Метод конечных элементов для решения скалярных и векторных задач: учебное пособие. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2007. 895 с.
2. Производственный кооператив ТОР Санкт-Петербург. ELCUTМоделирование двумерных полей методом конечных элементов. Версия 5.8. Руководство пользователя, 2010. 211 с.
3. *Бате К.Ю.* Методы конечных элементов. М.: Физматлит, 2010. 1022 с.

## ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ — МЕТОДЫ И СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ, ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ (05.13.19)

*05.13.19*

**А.В. Комарова**

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики»,
факультет безопасности информационных технологий,
Санкт-Петербург, piter-ton@mail.ru

# ОБОБЩЕННЫЕ МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ СТОЙКОСТИ СХЕМ АУТЕНТИФИКАЦИИ

*В статье представлены общие методы комбинирования различных задач теории чисел и задач теории решеток в одной схеме аутентификации. За счет этого, можно достичь повышения стойкости существующих схем аутентификации, в том числе к потенциальным атакам, выполняемым на квантовом компьютере. В статье также показано, что предлагаемые методы могут быть применимы с любыми схемами электронной подписи на основе теории решеток.*

Ключевые слова: *постквантовая криптография, электронная подпись, аутентификация, теория решеток, теория чисел.*

В настоящее время в современной криптографии большое внимание уделяется постквантовому разделу. Одним из наиболее важных вопросов является вопрос обеспечения повышенного уровня стойкости существующих схем аутентификации к потенциальным атакам, выполняемым с помощью квантового компьютера. В статьях [1-2] автором были предложены комбинированные схемы, алгоритмы и протокол аутентификации, обеспечивающие требуемое повышение стойкости.

Осуществить процедуру аутентификации в криптографических протоколах можно также посредством электронной подписи, которая помимо аутентичности обеспечивает также доступность, неотрекаемость и целостность передаваемой информации.

Целью настоящей работы является разработка обобщённых методов формирования модифицированных схем электронной подписи путем комбинирования нескольких схем подписи из разных алгебраических структур в одной общей схеме. Подобный подход предлагался в работах [3-4], однако возможность комбинирования пост-квантовых схем с классическими асимметричными схемами не была предложена, и соответственно не было разработано обобщенных методов. Предлагаемые в данной работе обобщенные методы комбинирования задач теории чисел и задач теории решеток в одной схеме электронной подписи являются новыми и до настоящего момента в открытых источниках не были обнаружены. Этот факт обеспечивает актуальность и новизну данного исследования.

В силу того, что постквантовые схемы электронной подписи на решетках в качестве открытого и закрытого ключей используют «плохой» и «хороший» базис решетки соответственно [5], то данный факт позволяет использовать предлагаемые методы повышения стойкости не только в комбинации со схемой Falcon, как предложено в статьях [1-2], но и с любой другой схемой электронной подписи, основанной на теории решеток, например, предлагаемых в работах [6-9].

*Метод 1*. Необходимо представить вектор **s** [1], который является постквантовой частью подписи, в виде соответствующего числового значения *a* с помощью алгоритма *Compress(***s***),* который принимает на вход многочлен и выводит его числовое представление. Далее число *a* следует использовать в асимметричной схеме на основе теории чисел в качестве

первообразного корня по составному модулю *n*, где *n=pq*. Далее необходимо вычислить значение комбинированноц подписи *s'*, $s' = a^{\frac{1}{2}} \bmod n$. Таким образом, можно добиться встраивания постквантовой схемы в классическую асимметричную схему без необходимости повышения окончательной длины подписи. Однако следует отметить, что для корректной работы данного метода необходимо, чтобы число *s'* являлось квадратичным вычетом, то есть необходимо осуществлять проверку выполнимости сравнений $a^{\frac{p-1}{2}} \equiv 1 \bmod p$ и $a^{\frac{q-1}{2}} \equiv 1 \bmod q$, в случае невыполнения какого-либо из них, возвращаться к генерации нового *a.*

Теорема о квадратичном вычете гласит, что количество простых множителей составного числа $\varphi(n)$ определяет мощность множества $QR_n$. Таким образом, для того, чтобы можно было на практике осуществить процесс вычисления параметра *s'*, необходимо, чтобы число $\varphi(n)$ имело структуру: $\varphi(n) = rq$, где числа *r* и *q* являются большими простыми числами. В этом случае можно добиться наибольшей в данных условиях мощности множества $QR_n$, которая будет составлять четвертую часть элементов группы $Z_n$: $\#QR_n \in \frac{1}{2^2}(\#Z_n)$.

Предлагаемый метод позволяет сохранить исходную длину подписи, Однако, так как лишь четвертая часть элементов группы будет удовлетворять накладываемым условиям, производительность схемы снижается в среднем в 4 раза.

*Метод 2.* Необходимо представить вектор **s** [1], который является постквантовой частью подписи, в виде соответствующего числового значения *a* с помощью алгоритма *Compress(***s***),* который принимает на вход многочлен и выводит его числовое представление. Далее значение *a* «встроить» в классическую асимметричную схему вместо значения хэш-функции *h.* Так как значение *a* уже содержит в себе случайный элемент *r* [1], то вырабатывать новое случайное *R* для классической асимметричной части подписи не является необходимым.

Создавая связь между схемами таким образом, можно добиться наибольшей независимости друг от друга сложно вычислимых задач, положенных в основу комбинируемых схем, и, соответственно, понижения вероятности взлома комбинированных схем. К недостатку данного метода можно отнести возросшую длину итоговой комбинированной подписи.

*Метод 3*. Необходимо создать постквантовую часть подписи **s** [1]. Далее к **s** добавить случайный вектор ошибок ***e*** представить результат в виде вектора **z**, **z=s+e.** С помощью алгоритма *Compress(***z***)* найти числовое представление вектора *z* – число *z=Compress(***z***).* В силу того, что полученное значение *z* содержит в себе вектор **e**, выбранный из случайного равномерного распределения, то полученное значение *z* может быть использовано в асимметричной схеме на основе теории чисел в качестве случайного параметра *k,* который является порядком первообразного корня *a.*

К преимуществу данного метода можно отнести возросший уровень безопасности за счет использования случайного вектора ошибок **e**. Однако данный метод может использоваться только в комбинации с асимметричными схемами на основе трудности решения задачи дискретного логарифмирования в различных полях.

*Метод 4.* Метод заключается в использовании случайного значения *R* ($R \equiv a^k \bmod p$) из асимметричной схемы на основе задачи дискретного логарифмирования в качестве параметра *r* из постквантовой схемы, которое выбирается из некоторого случайного равномерного распределения. Соответственно, далее значение хэш-функции следует вырабатывать уже с новым параметром *R*.

С помощью данного метода можно добиться снижения длины итоговой подписи, а также повышения быстродействие модифицированной схемы. Однако данный метод применим только для комбинирования задачи дискретного логарифмирования в разных полях со схемами теории решеток, использующими хэш-функцию, а не модель Фиата-Шамира.

Таким образом, в настоящей статье были предложены уникальные методы комбинирования задач теории решеток (постквантовой криптографии) и задач теории чисел (классической асимметричной криптографии) в одной схеме электронной подписи. Каждый из них обладает определенными преимуществами и недостатками, которые необходимо учитывать при создании модифицированных схем, однако все предложенные методы на порядок повышают стойкость итоговых схем аутентификации.

***Список литературы***

1. *Комарова А.В., Коробейников А.Г.* Комбинирование задач теории решёток и теории чисел в схемах, алгоритмах и протоколах аутентификации // Вестник УрФО. Безопасность в информационной сфере. - 2019. - № 2(32). – С. 18 – 24.
2. *Комарова А.В., Коробейников А.Г.* Модифицированная схема электронной подписи, стойкая к квантовому компьютеру // Научно-технический вестник Поволжья. - №6. – 2019 г. – Казань: ООО «Рашин Сайнс», 2019. – С. – 138-140.
3. *Дернова Е.С.* Механизмы аутентификации информации, основанные на двух вычислительно трудных задачах: дис. … канд. тех. наук: 05.13.19 / Дернова Евгения Сергеевна. – СПб., 2009. – 162 с.
4. *Дернова Е.С., Нгуен Ле Минь, Костина А.А., Щербаков В.А.* Схемы цифровой подписи, взлом которых требует решения двух трудных задач в одной конечной группе // XI Санкт-Петербургская международная крнференция Региональная информатика-2008 (РИ-2008) СПб, 22-24 октября 2008г. Материалы конференции. СПб, 2008. С.97-98.
5. *Пискова А.В., Коробейников А.Г.* Особенности применения теории решеток в схемах электронной цифровой подписи // Кибернетика и программирование - 2016. - № 2. - С. 8-12.
6. NIST software performance signatures. - Режим доступа: https://www.safecrypto.eu/pqclounge/round-1-candidates/software-analysis-signatures, свободный (дата обращения: 05.07.2019).
7. *Vadim Lyubashevsky.* Lattice signatures without trapdoors. In David Pointcheval and Thomas Johansson, editors, Advances in Cryptology - EUROCRYPT 2012, volume 7237 of Lecture Notes in Computer Science, pages 738 - 755, Cambridge, UK, April 15 - 19, 2012. Springer, Berlin, Germany.
8. *Albrecht M.R., Deo A.* Large modulus Ring-LWE ≥ Module-LWE, Advances in Cryptology – ASIACRYPT, 2017, P. 267-296.
9. *Langlois A., Stehl´e D.* Worst-case to average-case reductions for module lattices, Des. Codes & Cryptography, 2015, №75(3), P. 565–599.

*05.13.19*

**Н.А. Тишина канд. техн. наук, И.А. Щудро канд. техн. наук,**
**Е.Н. Чернопрудова канд. техн. наук, Л.Ф. Тагирова канд. педагог. наук**

Оренбургский государственный университет,
кафедра программного обеспечения вычислительной техники и автоматизированных систем,
Оренбург, tnatalia_oren@mail.ru

# ОЦЕНКА РИСКОВ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЛАЧНЫХ СРЕД НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОГО МЕТОДА АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ

*В данной статье представлены результаты исследования по решению задачи оценка рисков информационной безопасности (ИБ) облачных сред (ОС). Для решения задачи в статье предложены методика и алгоритм оценки рисков ИБ ОС на основе применения модели обобщенного нечеткого числа и многоуровневой классификации угроз ОС в нечетком методе анализа иерархий, позволяющие учитывать различные мнения экспертов, различную важность факторов рисков, неопределенность событий ОС, специфику архитектуры ОС и актуальные угрозы ОС.*

Ключевые слова: *облачные среды, угрозы безопасности информации, многоуровневая классификация, оценка рисков, нечеткие метод анализа иерархий.*

## Введение

В этот оцифрованный век использование информационных систем (ИС) на предприятиях для поддержки и выполнения своих задач постоянно растет, что приводит к росту затрат на обслуживание ИС и к более дорогостоящим последствиям из-за нарушения безопасности ИС. Как следствие, все чаще предприятия переносят свои ИС в ОС. Поскольку облачные среды являются сложными и динамичными, задача анализа и оценки рисков безопасности может быть очень сложной. Существует множество различных методологий оценки риска с их собственными преимуществами и недостатками [1,2]. Большинство методик не адаптированы под особенности ОС. В результате этот документ направлен на решение данных проблем, предлагая новую методику, которая соответствует целям:

- определение методологии оценки риска для ОС с учетом различных мнений экспертов или исторических данных;
- применение подхода для взвешивания важности факторов рисков;
- использование модели для расчета уровня риска, учитывающей неопределенность событий ОС;
- учет специфики архитектуры ОС и актуальных угроз ОС.

## 2 Предлагаемая методика

### 2.1 Многоуровневая классификация угроз безопасности в облачных вычислениях

ОС могут быть описаны на разных уровнях, то есть SaaS (программное обеспечение как услуга), PaaS (платформа как услуга) и IaaS (инфраструктура как услуга), каждый уровень имеет свои проблемы безопасности. Следовательно, оценка рисков должна быть основана на многоуровневой классификации для трех облачных уровней с точки зрения облачной службы, типов атак, типа облаков и уровней риска. Облачные слои рассматриваются в качестве первого уровня, за которым следуют облачные службы в качестве второго уровня, а типы атак для этих служб – в качестве третьего [3]. Риск рассматривается в связи с каждым уровнем этой классификации, тогда оценку рисков целесообразно основать на многокритериальной иерархической модели.

**2.2 Нечеткий метод анализа иерархий**

В предлагаемой методике нечеткий метод анализа иерархии (НМАИ) позволяет взвешивать важность критериев оценки рисков и позволяет учесть в модели оценки рисков ИБ неопределенность ЛПР относительно выбора значений показателей для оценки риска ИБ. Т.е. эксперт, не обладая полной уверенностью относительно значений показателей, вправе варьировать степень уверенности в своих мнениях об этих значениях [4].

Наиболее целесообразно положить в основу НМАИ обобщенные нечеткие числа (ОНЧ) с трапециевидной функцией принадлежности, обладающей низкой вычислительной сложностью, хорошо описывающей различные виды неопределенности и легко трансформирующейся в треугольную функцию. На рисунке 1 представлена система показателей оценки информационной безопасности.

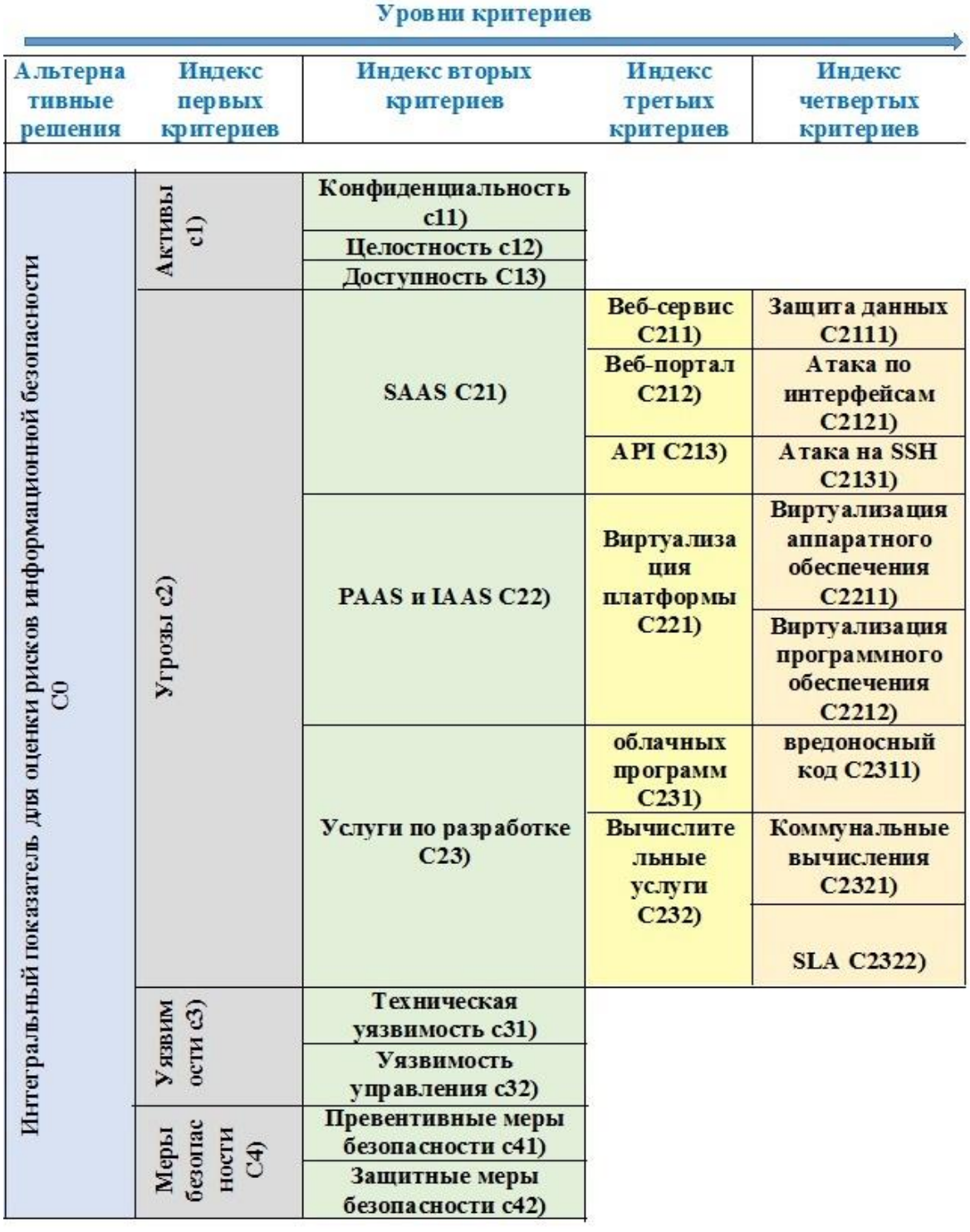



Рис. 1 – Иерархическая структура показателей оценки рисков ИБ ОС

Полученное дерево показателей оказалось не симметричным в том смысле, что его ветви имеют различную длину (измеряемую в количестве уровней), считая от корня. В данном случае целесообразно применить одну из модификаций НМАИ: многокритериальный выбор на иерархиях с различным числом и составом критериев на каждом уровне.

Метод предполагает выполнение следующих шагов.

*Шаг 1.* Экспертная оценка критериев на основе метода парного сравнения, позволяющая определить относительную важность критериев каждого уровня. В результате формируется матрица попарного сравнения (1).

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1p} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2p} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{r1} & a_{r2} & \dots & a_{rp} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где экспертные оценки $a_{ij}$ представляют собой числа, показывающие, во сколько раз значимость критерия $A_i$ больше значимости критерия $A_j$, выраженные в нечетких числах. Для оценки критериев эксперты выбирают связанные лингвистические переменные, которые затем для расчетов конвертируются в шкалу, включающую ОНЧ [5].

*Шаг 2.* Пусть экспертные предпочтения представлены *с* помощью ОНЧ с трапециевидной функцией принадлежности: $\mu_{Rij}(r_{ij})$ и $\mu_{\omega i}(\omega_i)$, при этом оценка *j*-го критерия с *i-м* критерием представлена нечетким числом $R_{ij}$, а относительная важность *i*-го критерия задается коэффициентом $\omega_i$, $i = 1,2 \dots, n$.

Тогда, если коэффициенты *a*, нормированы, то взвешенная оценка *j*-го критерия, а также кумулятивный показатель оценки вычисляются по формуле

$$R_j = \sum_{i=1}^{n} \omega_i R_{ij} \quad (2)$$

т.е. взвешенная оценка *j*-го критерия *Rj* является результатом линейной комбинации нечетких чисел (аддитивной свертки показателей) и также будет иметь трапециевидную функцию принадлежности.

**2.3 Алгоритм оценки риска**

Алгоритм оценки риска ИБ ОС описывается следующим образом.

1. Задать все переменные в лингвистической форме.

Эксперт выбирает лингвистические термы для переменных и их числовые характеристики. Вероятность проявления каждого фактора риска и величины весов факторов также задаются в лингвистической форме.

2. Сформировать перечень факторов и оценить их значимость весов из метода НМАИ. Для формирования матрицы парного сравнения (1) эксперт отвечает на вопрос анкеты, заключающийся в выборе предпочтения.

3. Приписать степень уверенности эксперта для каждого фактора риска. Эксперт проставляет параметр степени уверенности отнесения задаваемого значения фактора к терму, $w, 0 \le w \le 1$

4. Рассчитать показатель риска ИБ ОС как взвешенное среднее вероятности неудачи по каждому фактору риска с весами $w_i$ из метода НМАИ. Взвешенная оценка *j*-го критерия $R_j$ рассчитывается по формуле (2), на самом нижнем уровне $R_j$ определяется как вероятность проявления фактора. Так как все параметры являются ОНЧ, то все вычисления необходимо выполнять по правилам арифметических операций с ОНЧ. В результате эксперт получит значение переменной риска в нечетком виде.

5. Рассчитать меру сходства, полученной в п. 4 переменной риска ИБ ОС с каждым из термов, заданных в пункте 1 лингвистической переменной риска по известным формулам [4,5].

6. Определить терм для переменной риска ИБ ОС по мере сходства, полученной в п. 5. в соответствии с максимальным значением меры сходства значения переменной со всеми термами.

7. Рассчитать точное значение риска БИ. Для получения точного значения риска ИБ ОС эксперту необходимо выполнить деффазификацию по известным формулам [4,5].

**Заключение**

В результате проведенного исследования получено:

1. определена иерархическая структура показателей оценки рисков ИБ ОС;

2. предложена методика и алгоритм оценки рисков ИБ ОС на основе гибридной модели НМАИ с многоуровневой классификацией угроз ОС и обобщенными нечеткими числами.

***Список литературы***

1. *Mohamed S. Saleh* A new comprehensive framework for enterprise information security risk management / Mohamed S. Saleh, Abdulkader Alfantookh / Applied Computing and Informatics (2011) 9, 107–118

2. *Ming-Chang Lee* Information Security Risk Analysis Methods and Research Trends: AHP and Fuzzy Comprehensive Method / International Journal of Computer Science & Information Technology (IJCSIT) Vol 6, No1, February 2014

3. *Syed Asad Hussain* Multilevel classification of security concerns in cloud computing / Syed Asad Hussain, Mehwish Fatima, Atif Saeed, Imran Raza, Raja Khurram Shahzad / Applied Computing and Informatics (2017) 13, 57–65

4. *Гавриленко, М.А.* Применение теории нечетких множеств в оценке рисков инвестиционных проектов// Аудит и финансовый анализ, №5. – 2013.

5. *Xiaoyan Su*, Wen Jiang, Jianling Xu, Peida Xu, Yong Deng. A New Fuzzy Risk Analysis Method based on Generalized Fuzzy Numbers // Expert systems with applications. 2012.

**АННОТАЦИИ**
**ABSTRACTS**

С.В. Анаников, А.Г. Кутузов, И.В. Логинова

ОБОБЩЕННОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ДЛЯ КОНЕЧНОГО ЦИЛИНДРА. СООБЩЕНИЕ 1. ВЫВОД ОБОБЩЕННОГО РЕШЕНИЯ

*Ключевые слова: теплопроводность, граничные условия, тепловой поток, преобразование Фурье, преобразование Ханкеля.*

*В работе решается задача нестационарной теплопроводности для конечного цилиндра при заданных наиболее общих переменных граничных условиях первого и второго родов. Решение находится последовательным применением конечного интегрального косинус-преобразования Фурье и конечного интегрального преобразования Ханкеля. Полученное обобщенное решение является базой для нахождения большого количества частных решений для разнообразных сочетаний граничных условий.*

S.V. Ananikov, A.G. Kutuzov, I.V. Loginova

COMMON SOLUTION OF HEAT CONDUCTION TASK FOR END CYLINDER. COMMUNICATION 1. DEDUCTION OF COMMON SOLUTION

*Keywords: heat condition, boundary conditions, local heat scream, Fourie-transformation, Hankel-transformation.*

*In article of unstable heat conduction for end cylinder a task is solved. Is selected the most common of all variable boundary conditions of first and second kinds. Solution is found one after another by end integral cosine Fourie-transformation and end integral Hankel-transformation. In result was obtained common correlation which is basis for big number particular solutions for various combination boundary conditions.*

Н.А. Абышев, А.В. Ключников, М.Д. Шагимуратов

КОМПЕНСАЦИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДИСБАЛАНСОВ, ВЫЗВАННЫХ ФАЗОВЫМИ СДВИГАМИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИГНАЛОВ БАЛАНСИРОВОЧНОГО СТЕНДА

*Ключевые слова: динамический балансировочный стенд, дисбаланс, датчик, измерительный сигнал, погрешность измерений.*

*Обсуждён вопрос экспериментального определения и устранения ошибок фазовых сдвигов дисбалансов в процессе балансировки роторов на динамическом вертикальном балансировочном стенде с газостатическими подшипниками.*

N.A. Abyshev, A.V. Klyuchnikov, M.D. Shagimuratov

COMPENSATION OF DISBALANCE DETERMINFNION ERRORS WHICH ARE COUSED BY PHASE DISPLASEMENT OF MEASURING SIGNALS OF A CJUNTERBALANCING STAND

*Keywards: dynamic counterbalancing stand, disbalance, sensor, measuring signal, errors of measures.*

*The question of disbalance signals phase angle errors measurement for their elimination during a rotor's balancing experiment is discussed. The experiment is performing on a dynamic untuned vertical balancing stand with conical gas bearings.*

С.В. Бережная, А.А. Саченков, Э.З. Якупов

СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДАННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ВОЛОС И ОЦЕНКИ НЕВРОЛОГИЧЕСКОГО СТАТУСА, ПОЛУЧЕННОЙ ПО ФОРМАЛИЗОВАННЫМ БАЛЬНЫМ ШКАЛАМ, У ПАЦИЕНТОВ С ХРОНИЧЕСКОЙ ИШЕМИЕЙ МОЗГА

*Ключевые слова: микроэлементный баланс, статистическая обработка данных, хроническая ишемия мозга.*

*В работе представлены методы статистической обработки данных, полученных в результате оценки неврологического статуса пациентов и количественного микроэлементного состава их волос. Исходные данные по каждому пациенту записывались в учетных карточках и размещались полистно в одном из файлов программного пакета Microsoft Excel XP, содержащем первичную документацию диссертационной работы.*

S.V. Berezhnaya, A.A. Sachenkov, E.Z. Yakupov

STATISTICAL TREATMENT OF DATA OF MEASUREMENTS OF THE ELEMENTAL COMPOSITION OF HAIR AND EVALUATION OF THE NEUROLOGICAL STATUS OBTAINED ON A FORMALIZED BALK SCALE, IN PATIENTS WITH A CHRONIC ISCHEMIA OF THE BRAIN

*Keywords: microelement balance, statistical data processing, chronic brain ischemia.*

*The paper presents methods for statistical processing of data obtained as a result of assessing the neurological status of patients and the quantitative microelement composition of their hair. The initial data for each patient were recorded in registration cards and were placed in sheets in one of the files of the Microsoft Excel XP software package containing the primary documentation of the dissertation work.*

С.В. Бережная, Э.З. Якупов, А.А. Саченков

ИССЛЕДОВАНИЕ НАРУШЕНИЙ БАЛАНСА МАКРО- И МИКРОЭЛЕМЕНТОВ У ПАЦИЕНТОВ С ХРОНИЧЕСКОЙ ИШЕМИЕЙ МОЗГА

*Ключевые слова: микро- и макроэлементный баланс, хроническая ишемия мозга.*

*Представлены результаты исследования элементного баланса у пациентов с хронической ишемией мозга в амбулаторной практике. Определены особенности биоэлементного портрета пациентов с хронической ишемией мозга I и II стадии.*

S.V. Berezhnaya, E.Z. Yakupov, A.A. Sachenkov,

INVESTIGATION OF DISTURBANCES OF BALANCE OF MACRO AND MICROELEMENTS IN PATIENTS WITH CHRONIC ISCHEMIA OF THE BRAIN

*Keywords: micro and macroelement balance, chronic brain ischemia.*

*The results of the study of elemental balance in patients with chronic cerebral ischemia in outpatient practice are presented. The features of the bioelement portrait of patients with chronic cerebral ischemia stage I and II have been determined.*

И.Н. Бояршинова, И.Н. Беляев

НЕЙЛОРОВСКАЯ СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

*Ключевые слова: система поддержки принятия решений, теорема Байеса, нейлоровские экспертные системы.*

*В работе рассматриваются результаты применения разработанной нейлоровской диагностической экспертной системы для выявления общих заболеваний на основе данных клинических исследований увеитов. Описаны особенности нейлоровских экспертных систем. Рассмотрена архитектура разработанной нейлоровской экспертной системы.*

I.N. Boyarshinova, I.N. Belyaev

NAYLOR SUPPORT SYSTEM FOR DIAGNOSTIC DECISION MAKING

*Keywords: decision support systems, Bayes theorem, Naylor expert systems.*

*The paper discusses the development and the results of the use of Naylor diagnostic expert system for the detection of common diseases based on data from clinical studies of uveitis. The features of the neural expert systems are described. The architecture of the developed Naylor expert system is considered.*

А.П. Буйносов, Д.Л. Худояров, И.А. Тюшев

СОПРОТИВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЮ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СОСТОЯНИЯХ ПОВЕРХНОСТЕЙ РЕЛЬСОВ

*Ключевые слова: подвижной состав, рельс, поверхность, состояние, различие, движение, сопротивление.*

*В статье приводится результаты испытания по определению сопротивления движению локомотива и вагонов по железнодорожным рельсам с различным состоянием их поверхностей. Получены зависимости удельного сопротивления движения подвижного состава в зависимости от скорости.*

A.P. Buinosov, D.L. Khudoyarov, I.A. Tyushev

THE RESISTANCE TO MOVEMENT OF ROLLING STOCK IN VARIOUS STATES OF THE SURFACES OF THE RAILS

*Keywords: rolling stock, rail, surface, condition, difference, movement, resistance.*

*The article presents the results of the test to determine the resistance to the movement of the locomotive and wagons on railway rails with different state of their surfaces. The dependences of the specific resistance of the rolling stock movement depending on the speed are obtained.*

Я.Е. Агапитов, Л.М. Каримова, Т.А. Хажимухаметов, Е.Ю. Мешков, Н.А. Бобыренко

РАЗРАБОТКА СХЕМЫ ГИДРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ВЫСОКОСЕРНИСТЫХ МЕДНЫХ СУЛЬФИДНЫХ КОНЦЕНТРАТОВ

*Ключевые слова: выщелачивание, высокосернистый медный концентрат, окислы азота, азотная кислота, нитрозные газы, сорбция.*

*В результате проведенных исследований разработана принципиальная схема азотнокислотного выщелачивания высокосернистых концентратов КОФ при атмосферном давлении, осуществляемого в режиме двухстадиального ступенчатого противотока с использованием на стадии выщелачивания продуктов абсорбции окислов азота в виде нитрозилсерной кислоты, нитрит-нитратных щелоков, оборотных растворов. Использование данного способа выщелачивания сульфидного концентрата меди позволяет сократить расход азотной кислоты с 4,5 до 0,5 г/г концентрата при сохранении степени извлечения меди, цинка, железа, мышьяка на уровне 99,5-99,8%. Остаточная кислотность продуктивного раствора при этом снижается с 4,5÷5 до 0,2-0,3 г·экв/дм$^3$ а ОВП с ≥850 до ≈ 600 мВ. Продуктивный раствор был использован для получения товарной продукции: катодная медь, высокочистый железный концентрат и катодный цинк, была разработана принципиальная схема переработки продуктивного раствора.*

Y.E. Agapitov, L.M. Karimova, T.A. Khazhimuhametov, E.Y. Meshkov, N.A. Bobyrenko

DEVELOPMENT OF A SCHEME FOR HYDROMETALLURGICAL PROCESSING OF HIGH-SULFUR COPPER SULPHIDE CONCENTRATES

*Keywords: leaching, copper concentrate, solution, nitric acid, sorption.*

*As a result of laboratory research, a schematic diagram of a two-stage countercurrent leaching was developed with 99.9% extraction of copper, iron, and zinc into a solution; 98.7% and 99.6%, respectively, as well as with the possibility of regeneration of nitric acid. To obtain marketable products, such as cathode copper, high-purity iron concentrate and cathode zinc, a schematic diagram of the processing of the productive solution was developed. As a result of the carried out researches the basic scheme of nitric acid leaching of high sulfur concentrates of COF at atmospheric pressure is developed, carried out in a mode of a two-stage step-by-step counterflow with use at a stage of leaching of products of absorption of nitrogen oxides in the form of nitrosilic acid, nitrite-nitrate alkalis, circulating solutions. The use of this method of leaching of copper sulphide concentrate allows reducing the consumption of nitric acid from 4.5 to 0.5 g/g of concentrate while maintaining the degree of extraction of copper, zinc, iron and arsenic at 99.5-99.8%. Residual acidity of the productive solution decreases from 4.5÷5 to 0.2-0.3 g-eqv/dm3 and ORP from ≥850 to ≈600 mV. The productive solution was used to obtain marketable products: cathode copper, high-purity iron concentrate and cathode zinc.*

А.В. Волков, С.А. Шиков, О.О. Темаева

ПРИМЕНЕНИЕ КРИТЕРИЯ УИЛКОКСОНА ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ ОСВЕЩЕНИЕМ В ТЕПЛИЦАХ

*Ключевые слова: фотосинтез, математическая модель, экспериментальное исследование.*

*Критерий Уилкоксона был использован для оценки двух не зависимых измерений зависящих от процессов, происходящих в теплице на основе дифференциальных уравнений. В работе также использовали алгоритм оценки сходимости временных рядов по определённому количественному признаку. Затем данный метод протестировали на предприятии АО «Тепличное» для оценки влияния параметров освещённости, а также функционирования фотосинтезирующего хлорофиллового аппарата зелёных растений. Полученные результаты моделирования совпадают с результатами эксперимента.*

A.V. Volkov, S.A. Shikov, O.O. Temaeva

APPLICATION OF THE WITCHOXONE CRITERIA FOR THE IMPLEMENTATION OF THE ALGORITHMS FOR LIGHTING MANAGEMENT IN GREENHOUSES

*Keywords: photosynthesis, mathematical model, experimental research.*

*The Wilcoxon test was used to evaluate two independent measurements, depending on the processes occurring in the greenhouse, based on differential equations. We also used an algorithm for evaluating the convergence of time series for a specific quantitative trait. Then this method was tested at the enterprise JSC "Teplichnoye" to assess the influence of the parameters of illumination. We also investigated the functioning of the photosynthetic chlorophyll apparatus of green plants. The obtained simulation results coincide with the experimental results.*

В.А. Егоров

МОДЕРНИЗИРОВАННАЯ ТИПОВАЯ НАСТРОЙКА -3-1-3 ДЛЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Ключевые слова: *типовая настройка, система автоматического управления, регулятор, сервосистема.*

*Автоматическая система с настройкой -3-1-3обладает предельно допустимой колебательностью. Предлагается модернизированная «типовая» настройка -3-1-3, позволяющая задавать требуемый коэффициент колебательности замкнутой системы. Приведён пример использования настройки для расчета регулятора положения сервосистемы.*

V.A. Egorov

MODERNIZED TYPICAL ADJUSTMENT -3-1-3 FOR AUTOMATIC CONTROL SYSTEM

*Keywords: typical setting, automatic control system, regulator, servo system.*

*The automatic system with the setting -3-1-3 has the maximum permissible oscillation. A modernized "typical" setting -3-1-3 is proposed, which allows you to set the desired oscillation coefficient of a closed system. An example of using the setting to calculate the servo position controller is given.*

И.Н. Егоров

О НЕЛИНЕЙНОЙ КОРРЕКЦИИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ МАНИПУЛЯТОРОВ ДВУСТОРОННЕГО ДЕЙСТВИЯ

*Ключевые слова: коррекция, манипулятор, робот, система, оператор, управление.*

*Представлено структурно-алгоритмическое обеспечение нелинейной коррекции систем управления манипуляционных роботов, основанной на применении логико-динамических алгоритмов управления и координатно-параметрических силовых связей.*

I.N. Egorov

ON NONLINEAR CORRECTION OF MANAGEMENT SYSTEMS FOR BILATERAL ACTION MANIPULATORS

*Keywords: correction, manipulator, robot, system, operator, control.*

*The structural-algorithmic support of non-linear correction of control systems for manipulation robots, based on the use of logical-dynamic algorithms and coordinate-parametric power links, is presented.*

А.В. Жданов, Н.С. Довбыш

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КПД РВМ НА ОСНОВЕ СРАВНИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА ПОВЕРХНОСТЕЙ С ПОКРЫТИЕМ

*Ключевые слова: прогнозирование, покрытия, роликовинтовые механизмы (РВМ), коэффициент полезного действия (КПД), трение.*

*В работе представлены результаты влияния материалов, смазки и типа покрытий в РВМ фрикционного типа на значения коэффициентов трения и полезного действия, необходимые для прогнозирования КПД приводов. Теоретические исследования проводились для PVD покрытий разного типа. Полученные результаты можно использовать для прогнозирования функциональных характеристик механизмов при проектировании.*

A.V. Zhdanov, N.S. Dovbysh

FORECASTING CHANGE OF THE EFFICIENCY OF THE RVM ON THE BASIS OF COMPARATIVE ANALYSIS OF COATED SURFACES

*Keywords: forecasting, coatings, roller screw mechanisms (RVM), efficiency (efficiency), friction.*

*The paper presents the results of influence of materials, lubricants and the type of coverings in the RVM of a friction type to values of coefficients of friction and the useful actions required to predict the efficiency of the drives. Theoretical studies were carried out for PVD coatings of different types. The results can be used to predict the functional characteristics of the mechanisms in the design.*

В.Ф. Пегашкин, Г.А. Осипенкова, М.С. Кузнецов

МОДИФИКАЦИИ ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛЕЙ ИЗ СПЛАВОВ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

*Ключевые слова: кавитационная обработка поверхности, шероховатости поверхности, ультразвуковая обработка.*

*Рассмотрен процесс отделочной кавитационной обработки поверхностей деталей из цветных металлов в различных средах и ее влияния на упрочнение и шероховатость поверхности с применением крутильных ультразвуковых колебаний. Определены математические модели глубины и степени упрочнения, а так же высоты микронеровностей обработанной поверхности в зависимости от параметров обработки.*

V.F. Pegashkin, G.A. Osipenkova, M.S. Kuznetsov

SURFACE MODIFICATION OF NON-FERROUS METAL ALLOY PARTS

*Keywords: cavitation surface treatment, surface roughness, ultrasonic treatment.*

*The process of finishing cavitation treatment of surfaces of parts from nonferrous metals in different mediums and its influence on surface roughness with the use of torsional ultrasonic oscillations is considered. The mathematical model of height of microroughness of the processed surface depending on parameters of processing is defined.*

М.П. Овчинцев

ОПТИМАЛЬНОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ ОГРАНИЧЕННЫХ АНАЛИТИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ, ЗАДАННЫХ В ПОЛУПЛОСКОСТИ ПО ИХ ЗНАЧЕНИЯМ В КОНЕЧНОМ ЧИСЛЕ ТОЧЕК

*Ключевые слова: оптимальное восстановление, наилучший метод, линейный наилучший метод, погрешность наилучшего метода, экстремальные функции.*

*В работе находится линейный наилучший метод приближения значений в точке ограниченных аналитических функций, заданных в верхней полуплоскости по их значениям в конечном числе различных точек. Статья разбита на четыре раздела. В первом разделе (введение) приводятся некоторые результаты из работы К.Ю. Осипенко. Во втором определяется погрешность наилучшего метода и выписывается соответствующая экстремальная функция. В третьем разделе находятся коэффициенты линейного наилучшего метода. В четвертом разбираются частные случаи рассматриваемой задачи оптимального восстановления.*

M.P. Ovchintsev

OPTIMAL RECOVERY OF BOUNDED ANALYTIC FUNCTIONS DEFINED IN A HALF PLANE BY THEIR VALUES AT A FINITE NUMBER OF POINTS

*Keywords: optimal recovery, the best method, the best linear method, the error of the best method, extremal function*

*In this paper I find the best linear method for approximating the values at the point of bounded analytic functions defined in the upper half-plane by their values in a finite number of different points. The article is divided into four sections. The first section (introduction) presents some results from the work of K. Yu. Osipenko. In the second part I calculate the error of the best method and find the corresponding extreme function. The third section contains the coefficients of the linear best method. In the fourth part, I analyzed the special cases of the location of points in relation to the imaginary axis.*

А.П. Даденкова

ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМА СНИЖЕНИЯ НАГРУЗКИ И ПОВЫШЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ ПОИСКА ДАННЫХ В DHT-СЕТИ

*Ключевые слова: имитационное моделирование, протоколы поиска данных, децентрализованные файлообменные сети, AnyLogic, DHT, P2P.*

*В работе выполняется анализ влияния параметров модели протокола DHT на сетевую нагрузку, и предлагаются способы ее снижения с повышением вероятности нахождения данных в файлообменной сети.*

A.P. Dadenkova

DEVELOPMENT OF ALGORITHMS TO REDUCE THE LOAD AND MAKE MORE EFFICIENT RETRIEVAL OF DATA IN THE DHT-NETWORK

*Keywords: simulation modeling, data retrieval protocols, decentralized file sharing networks, AnyLogic, DHT, P2P.*

*The paper analyzes the influence of DHT protocol model parameters on the network load, and suggests ways to reduce it with increasing probability of finding data in a file-sharing network.*

Т.А. Деменкова, А.И. Александров, А.О. Индришенок
ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ В ЗАДАЧЕ АППАРАТНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ АЛГОРИТМОВ

*Ключевые слова: аппаратная реализация алгоритмов, фильтр Калмана, программное обеспечение, языки программирования.*

*В работе проведено исследование вопросов аппаратной реализации алгоритмов на современной элементной базе. Описываются возможности различных платформ при создании программного обеспечения на основе фильтра Калмана. Описан общий алгоритм программы и алгоритм расчета ковариации шума измерения для задачи фильтрации одномерного потока данных с шумящего датчика. Показана возможность применения предложенных решений для реализации алгоритмов в системах, требующих повышенных требований по быстродействию.*

T.A. Demenkova, A.I. Alexandrov, A.O. Indrishenok
SOFTWARE IN THE PROBLEM OF HARDWARE IMPLEMENTATION OF ALGORITHMS

*Keywords: hardware implementation of algorithms, Kalman filter, software, programming languages.*

*The paper studies the issues of hardware implementation of algorithms on modern elemental base. It describes the capabilities of various platforms for creating software based on the Kalman filter. A general program algorithm and an algorithm for calculating the measurement noise covariance for the problem of filtering a one-dimensional data stream from a noisy sensor are described. The possibility of using the proposed solutions for the implementation of algorithms in systems that require increased requirements for speed is shown.*

Т.А. Деменкова, Г.С. Кожевников, В.С. Томашевская
АНАЛИЗ МЕХАНИЗМОВ АДАПТАЦИИ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ИНТЕРФЕЙСА В КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМАХ

*Ключевые слова: программные средства дистанционного обучения, компьютерные системы, пользовательский интерфейс, механизмы адаптации.*

*В работе рассматривается проблема внедрения механизмов адаптации для построения продуктивного интерфейса между человеком и компьютерной системой для задач программной реализации дистанционного обучения. Рассмотрено понятие адаптации и дана его интерпретация относительно системы "человек-машина", а также структура адаптивной человеко-машинной системы. Предложен обобщенный алгоритм функционирования адаптивного пользовательского интерфейса.*

T.A. Demenkova, G.S. Kozhevnikov, V.S. Tomashevskaya
ANALYSIS OF MECHANISMS OF ADAPTATION FOR IMPLEMENTATION OF THE INTERFACE IN COMPUTER SYSTEMS

*Keywords: distance learning software, computer systems, user interface, adaptation mechanisms.*

*The paper deals with the problem of introducing adaptation mechanisms for building a productive interface between a person and a computer system for the tasks of software implementation of distance learning. The concept of adaptation is considered and its interpretation is given regarding the man-machine system, as well as the structure of the adaptive man-machine system. A generalized algorithm for the functioning of an adaptive user interface is proposed.*

А.М. Семенов, Л.Ф. Тагирова, В.К. Тагиров
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЧЕТКИХ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ ПРИ РАЗРАБОТКЕ АДАПТИВНЫХ ЧЕЛОВЕКО-МАШИННЫХ ИНТЕРФЕЙСОВ

*Ключевые слова: адаптивный интерфейс, искусственный интеллект, экспертная система.*

*В статье описана методика создания адаптивного интерфейса прикладной программы с применением элементов искусственного интеллекта. Предлагается использование экспертной системы, работа которой основана на анализе характеристик пользователя и подбора наиболее подходящего интерфейса.*

A.M. Semenov, L.F. Tagirova, V.K. Tagirov
USE OF INDISTINCT EXPERT SYSTEMS WHEN DEVELOPING ADAPTIVE HUMAN MACHINE INTERFACES

*Keywords: adaptive interface, artificial intelligence, expert system.*

*In article the technique of creation of the adaptive interface of the application program using elements of artificial intelligence is described. Development use of expert system which work is based on the analysis of characteristics of user and selection of the most suitable interface is offered.*

А.И. Акимов, И.А. Акимов, В.А. Урбан
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И РЕШЕНИЕ МНОГОСЛОЙНЫХ ЗАДАЧ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ В ПРОИЗВОДСТВЕ КОМПОЗИТНЫХ ИЗДЕЛИЙ МЕТОДОМ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ НА ОСНОВЕ КОНЕЧНЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ

*Ключевые слова: композиты, интегральное преобразование полимеризация, многослойные конструкции, математическое моделирование, теплообмен.*

*В работе рассмотрен метод конечных интегральных преобразований и возможности его применения к решению многослойных задач теплопроводности в производстве композитов методом полимеризации в декартовой, цилиндрической и сферической системах координат.*

A.I. Akimov, I.A. Akimov, V.A. Urban
MATHEMATICAL MODELLING AND THE SOLUTION OF MULTILAYERED PROBLEMS OF HEAT CONDUCTIVITY IN PRODUCTION OF COMPOSITE PRODUCTS BY THE POLYMERIZATION METHOD ON THE BASIS OF FINAL INTEGRATED TRANSFORMATIONS

*Keywords: composites, integrated transformation polymerization, multilayered designs, mathematical modeling, heat exchange.*

*In work the method of final integrated transformations and a possibility of its application to the solution of multilayered problems of heat conductivity in production of composites by a polymerization method in the Cartesian, cylindrical and spherical systems of coordinates is considered.*

Г.М. Алимирзоев, М.С. Муравьев, К.А. Насеткин, А.С. Пузанов, Д.А. Литовский
МОДЕЛИРОВАНИЕ УТРОИТЕЛЯ ЧАСТОТЫ НА ГЕТЕРОБАРЬЕРНОМ ВАРАКТОРЕ В 3 ММ ДИАПАЗОНЕ ДЛИН ВОЛН

*Ключевые слова: гетеробарьерный варакторный диод, CST Studio, AWR Microwave office, умножитель частоты.*

*В настоящем исследовании была построена модель утроителя частоты диапазона 90-96 ГГц. Построенная модель позволяет в дальнейшем оптимизировать конструкцию с целью получения необходимых параметров мощности и ширины полосы выходной АЧХ.*

G.M. Alimirzoyev, M.S. Muravev, K.A. Nasetkin, A.S. Puzanov, D.A. Litovsky
MODELING OF THE FREQUENER OF THE FREQUENCY AT A HETEROBARRIER WATER IN 3 MM RANGE OF WAVES LONG

*Keywords: heterobarrier varactor diode, CST Studio, AWR Microwave office, frequency multiplier.*

*In the present study, a model of frequency multiplier of the range 90-96 GHz was constructed. The constructed model allows to further optimize the design in order to obtain the necessary parameters of power and bandwidth of the output frequency response.*

Н.Н. Беспалов, Ю.В. Горячкин, П.М. Дёмкин, К.Ю. Панькин
МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В СИЛОВОМ ДИОДЕ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ УДАРНОГО ТОКА В ПРОГРАММНОЙ СРЕДЕ SYNOPSYS TCAD

*Ключевые слова: SYNOPSYS TCAD, силовой диод, моделирование, ударный ток.*

*В статье приведены результаты моделирования электрических и тепловых процессов, протекающих в силовом диоде, который рассчитан на предельный ток 2500 А, при воздействии ударных токов. Моделирование проведено в программной среде SYNOPSYS TCAD. Полученные результаты могут быть использованы для выбора предельных режимов работы силовых диодов при эксплуатации.*

N.N. Bespalov ,Y.V. Goryachkin, P.M. Dyomkin, K.Y. Pankin.
MODELING OF ELECTRICAL AND HEAT PROCESSES IN THE POWER DIODE UNDER THE EXPOSURE OF A SHOCK CURRENT IN A PROGRAM ENVIRONMENT SYNOPSYS TCAD

*Keywords: CAD TCAD, simulation, shock current, power diode.*

*The article presents the results of modeling the electrical and thermal processes occurring in a power diode, which is designed for a limit current of 2500 A, when subjected to shock currents. The simulation was carried out in TCAD CAD. The results obtained can be used to select the limiting modes of operation of power diodes during operation.*

Н.Н. Беспалов, Ю.В. Горячкин, П.М. Дёмкин, К.Ю. Панькин, Д.С. Кондрашин
МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МОЩНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ В СОСТАВНЫХ ЧАСТЯХ СТРУКТУРЫ СИЛОВОГО ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ПРИБОРА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ПРЯМОГО УДАРНОГО ТОКА

*Ключевые слова: моделирование, силовой полупроводниковый прибор, силовой диод, ударный ток, Multisim.*

*В статье приведены результаты исследования распределения мощности электрических потерь на составных частях структуры силового полупроводникового прибора при воздействии прямого ударного тока. Исследование проводилось на основе моделирования электрических процессов протекающих в силовых диодах в программной среде Multisim. Полученные результаты могут быть использованы при разработке силовых полупроводниковых приборов и мощных преобразователей электрической энергии на их основе.*

N.N. Bespalov, Y.V. Goryachkin, P.M. Dyomkin, K.Y. Pankin, D.S. Kondrashin
MODELING OF THE POWER DISTRIBUTION OF ELECTRIC LOSSES IN THE COMPONENT PARTS OF THE STRUCTURE POWER SEMICONDUCTOR DEVICE UNDER EXPOSURE TO DIRECT SHOCK CURRENT

*Keywords: simulation, power semiconductor device, power diode, shock current, Multisim.*

*The article presents the results of a study of the power distribution of electrical losses in the component parts of the structure of a power semiconductor device when exposed to a direct shock current. The study was conducted on the basis of modeling the electrical processes occurring in power diodes in the Multisim software environment. The results obtained can be used in the development of power semiconductor devices and high-power electrical energy converters based on them.*

Е.С. Гольцов, И.Я. Дятлов, Н.М. Труфанова
ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА ПРИ СИЛАНОВОЙ СШИВКЕ В ВОДНОЙ ВАННЕ

*Ключевые слова: вулканизация, силановая сшивка, теплообмен, кабель, вода, математическая модель.*

*В работе были рассмотрены две нестационарные двумерные математические модели тепловых процессов с кабелем с силаносшиваемой изоляцией, намотанным на барабан в силанольной ванне. В одной из моделей кабель, намотанный на барабан, заменен на материал с усредненными теплофизическими свойствами. Проведен анализ работоспособности двух предложенных моделей. Определена возможность использования упрощённой модели с монолитной плитой, для определения параметров процесса и управлением процессом сшивки.*

E.S. Goltsov, I.Ya. Djatlov, N.M. Trufanova
NUMERICAL ANALYSIS OF HEAT AND MASS TRANSFER DURING THE PROCESS OF SILANE CROSSLINKING IN WATER BATH

*Keywords: vulcanization, silane crosslinking, heat exchange, cable, water, mathematic model*

*In the work were considered two two-dimensional nonstationary mathematical model of thermal processes with silane crosslinking cable with insulation wound on a drum in silanole tub. In one of the models, the cable wound on the drum is replaced by a material with averaged thermophysical properties. The analysis of the performance of the two proposed models. The possibility of using a simplified model with a monolithic plate to determine the parameters of the process and control the crosslinking process.*

Ю.В. Горячкин, Н.Н. Беспалов, К.Ю. Панькин, П.М. Дёмкин, Д.С. Кондрашин
МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРЯМЫХ ВОЛЬТ-АМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СИЛОВОГО ДИОДА

*Ключевые слова: силовой полупроводниковый диод, прямой ток, вольт-амперная характеристика, температурный коэффициент напряжения, моделирование, температура.*

*Для определения оптимального теплового режима работы полупроводниковой структуры силового полупроводникового прибора обычно используют экспериментальные методы оценки температуры полупроводниковой структуры по изменениям термочувствительных параметров. В статье приведены результаты моделирования прямых вольт-амперных характеристик силового диода при различных значениях температуры. Результаты исследования получены на основе моделирования в приборно-технологической среде Synopsys TCAD. Показано, что температурный коэффициент напряжения имеет максимальную величину в диапазоне значений прямого тестового тока от 1 А до 10 А.*

Y.V. Goryachkin, N.N. Bespalov, K.Y. Pankin, P.M. Dyomkin, D.S. Kondrashin
SIMULATION AND RESEARCH THE PARAMETERS OF THE DIRECT CURRENT-VOLTAGE CHARACTERISTICS OF A POWER DIODE

*Keywords: power semiconductor diode, forward current, current-voltage characteristic, the temperature coefficient of voltage, simulation, temperature.*

*To determine the optimal thermal mode of operation of a semiconductor structure of a power semiconductor device, experimental methods for estimating the temperature of a semiconductor structure from changes in heat-sensitive parameters are usually used. The article presents the results of modeling the direct current-voltage characteristics of a power diode at various temperatures. The results of the study were obtained on the basis of simulation in the instrument-technological environment Synopsys TCAD. It is shown that the temperature coefficient of voltage has a maximum value in the range of values of direct test current from 1 A to 10 A.*

А.А. Зайдуллин, О.Ш. Даутов

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ СПЕКТРА РАДИОЛОКАЦИОННОГО ИМПУЛЬСА ПРИ РАСПРОСТРАНЕНИИ ЧЕРЕЗ НЕОДНОРОДНУЮ ПОГЛОЩАЮЩУЮ СРЕДУ

*Ключевые слова: неоднородная среда, распространение радиоволн, расчет электромагнитного поля, изменение спектра сигнала, электромагнитная волна, характеристическое сопротивление.*

*В работе представлены результаты исследования прохождения зондирующих радиолокационных радиоимпульсов через неоднородную двухслойную среду с кусочно-линейной зависимостью волнового сопротивления вдоль направления распространения.*

A.A. Zaydullin, O.Sh. Dautov

CONVERSION OF THE SPECTRUM OF A RADIOLOCATION PULSE DURING SPREAD THROUGH AN INHOMOGENEOUS ABSORBING MEDIUM

*Keywords: inhomogeneous medium, radio wave propagation, calculation of the electromagnetic field, change in the signal spectrum, electromagnetic wave, characteristic resistance.*

*The paper presents the results of the study of the passage of probing radar pulses through an inhomogeneous two-layer medium with a piecewise linear dependence of the wave resistance along the direction of propagation.*

М.А. Зубрицкий, О.Ю. Ушаков, Л.С. Сабитов

УЧЕТ ВЫСШИХ ФОРМ КОЛЕБАНИЙ ПРИ ОЦЕНКЕ СЕЙСМОСТОЙСКОСТИ СИСТЕМ НЕЛИНЕЙНЫМ СТАТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

*Ключевые слова: численное моделирование, максимальное расчетное землетрясение, напряженно-деформированное состояние.*

*В статье предложена методика учета высших форм колебаний при оценке сейсмостойкий систем на воздействия уровня «Максимальное расчетное землетрясение» (МРЗ). В рамках исследования выполнен комплекс динамических и статических расчетов нелинейной постановке с целью верификации предложенной методики нахождения модифицированной системы сил. Установлено, что расчет на воздействия уровня МРЗ с учетом высших форм колебаний позволяет значительно снизить дефицит сейсмостойкости систем*

M.A. Zubritsky, O.Yu. Ushakov, L.S. Sabitov

THE CONSIDERATION OF HIGHER FORMS OF OSCILLATIONS IN THE EVALUATION OF SEISMIC RESISTANCE OF SYSTEMS OF NONLINEAR STATIC METHOD

*Keywords: numerical simulation, maximum calculated earthquake, stress-strain state.*

*The article proposes a method of accounting for higher forms of vibration in the assessment of earthquake-resistant systems on the impact of the level of "Maximum design earthquake" (MRZ). The complex of dynamic and static calculations of nonlinear statement for the purpose of verification of the offered technique of finding of the modified system of forces is executed within research. It was found that the calculation of the impact on the level of MRZ, taking into account the higher forms of vibration can significantly reduce the deficit of seismic resistance of systems*

М.А. Зубрицкий, О.Ю. Ушаков, Л.С. Сабитов

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ СИСТЕМ ПРИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ УРОВНЯ «МАКСИМАЛЬНОЕ РАСЧЕТНОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ»

*Ключевые слова: численное моделирование, максимальное расчетное землетрясение, напряженно-деформированное состояние.*

*В статье представлен краткий обзор методов оценки сейсмостойкий систем при воздействиях уровня «Максимальное расчетное землетрясение». В рамках исследования выполнен комплекс динамических и статических расчетов с целью сравнения основных методов расчета систем при действии МРЗ: нелинейного статического метода (НСМ) / Pushover-анализ и прямого динамического метода. Установлено, что НСМ достаточно точно позволяет определить локализацию пластических деформаций, но дает значительную погрешность по сравнению с динамическим методом в части внутренних усилий и горизонтальных перемещений.*

M.A. Zubritsky, O.Yu. Ushakov, L.S. Sabitov

METHODS OF STRESS-STRAIN STATE OF THE SYSTEM UNDER SEISMIC LOADING LEVEL "MAXIMUM CREDIBLE EARTHQUAKE»

*Keywords: numerical simulation, maximum calculated earthquake, stress-strain state.*

*The article presents a brief overview of methods for assessing earthquake-resistant systems under the influence of the level of "Maximum design earthquake". Within the framework of the study, a set of dynamic and static calculations was performed to compare the main methods of calculating systems under the action of MRZ: nonlinear static method (NCM) / Pushover analysis and direct dynamic method. It is found that the NCM accurately determines the localization of plastic deformations, but gives a significant error in comparison with the dynamic method in terms of internal forces and horizontal displacements.*

А.А. Корелин, И.Я. Дятлов, Н.М. Труфанова

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СШИВКИ ПОЛИЭТИЛЕНА В ВУЛКАНИЗАЦИОННОЙ ТРУБЕ В СРЕДЕ АЗОТА

*Ключевые слова: математическая модель, полиэтиленовая изоляция, вулканизационная труба, сшивка, степень сшивки, тепломассоперенос.*

*В работе рассматривается стационарная осесимметричная математическая модель процесса сшивки полиэтиленовой изоляции в вулканизационной трубе. Получены температурные поля для исследуемой области. Построены зависимости температур изоляции, жилы кабеля и степень сшивки от скорости изолирования по длине заготовки. По результатам расчетов была определена оптимальная скорость изолирования.*

A.A. Korelin, I.Y. Djatlov, N.M. Trufanova

NUMERICAL STUDY OF CROSS-LINKING OF POLYETHYLENE IN VULCANIZATION TUBE IN A NITROGEN ENVIRONMENT

*Keywords: mathematical model, polyethylene insulation, vulcanization tube, cross-linking, cross-linking degree, heat and mass transfer.*

*The paper deals with a axisymmetric mathematical model of the polyethylene insulation cross-linking process in the vulcanization tube. The temperature fields for the study area are obtained. The dependence of the temperature of insulation and the cable core and the cross-linking degree on the insulation rate was obtained along the line length. According to the results of calculations, the optimal rate of isolation was determined.*

С.Л. Марулин, А.Р. Динисламов, А.П. Буйносов
ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТИЧЕСКОЙ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ЛОКОМОТИВА ПО НЕРОВНОСТЯХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ ПРИ КОЛЕБАНИЯХ ГАЛОПИРОВАНИЯ

*Ключевые слова: железнодорожный транспорт, путь, неровность, различие, локомотив, движение, галопирование, колебания.*

*В статье приводится результаты вывода зависимости для расчета критической скорости движения локомотива по неровностях железнодорожного пути при колебаниях галопирования. Получены зависимости для определения частот собственных и вынужденных колебаний тягового подвижного состава.*

S.L. Marulin, A.R. Dinislamov, A.P. Buinosov
DETERMINATION OF CRITICAL SPEED OF THE LOCOMOTIVE ON THE RAILWAY TRACK IRREGULARITIES IN THE VIBRATIONS OF GALERANI

*Keywords: railway transport, track, roughness, difference, locomotive, traffic, galloping, oscillation.*

*The summary: The article presents the results of the derivation of the dependence for the calculation of the critical speed of the locomotive on the irregularities of the railway track with galloping fluctuations. The dependences for determining the frequencies of natural and forced oscillations of the traction rolling stock are obtained.*

В.Ю. Мельцов, А.А. Чудинов, А.К. Крутиков
ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ АЛГОРИТМОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ КАРТОГЕНЕРАЦИИ В КОМПЬЮТЕРНЫХ ИГРАХ

*Ключевые слова: картогенерация, ландшафты, нейросетевые алгоритмы, функция активации.*

*В работе рассматривается проблема картогенерации, например, при разработке компьютерных игр. Предлагается применить для повышения качества формирования карт и их уникальности нейросетевые алгоритмы. На основе проведённых экспериментов демонстрируется эффективность нейросетевого подхода и реалистичность получаемых ландшафтных карт.*

V.Yu. Meltsov, A.A. Chudinov, A.K. Krutikov
FORECASTING OUTCOMES OF SPORTING EVENTS USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS USED FOR REGRESSION PROBLEMS AND CLASSIFICATION

*Keywords: generalized regression neural network, probabilistic neural network, sports event, result, prediction of sports results, neural network, training sample, sport.*

*The article discusses the possibility of using probabilistic and generalized regression neural network to predict the outcome of sporting events in individual and team sports. The software module developed for modeling of networks operation is considered, some results of experiments are given. Approaches to the creation of training samples, and approaches to the technology of sports forecasting, using artificial neural networks are described. Features of application of the program module, accuracy and correctness of forecasting are estimated.*

М.С. Муравьев, Г.М. Алимирзоев, К.А. Насеткин, А.С. Пузанов, Д.А. Литовский
КОНСТРУИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ СВЧ ДЕТЕКТОРА НА БАЗЕ БЕСКОРПУСНОГО СМЕСИТЕЛЬНО-ДЕТЕКТОРНОГО ДИОДА С БАЛОЧНЫМИ ВЫВОДАМИ

*Ключевые слова: детекторная секция СВЧ, CST Studio, AWR Microwave office,смесительно-детекторный диод.*

*В настоящем исследовании построена модель СВЧ детектора и получены характеристики регулировочных элементов. Экспериментально исследованы изготовленные макеты детекторов с рабочей частотой 52÷80 GHz. Проведён синтез конкретного схемотехнического решения в виде волноводной конструкции на основании полученных данных.*

M.S. Muravyev, G.A. Alimirzoev, K.A. Nassetkin, A.S. Puzanov, D.A. Litovsky
DESIGN AND CALCULATION OF THE DIODE MICROWAVE DETECTOR ON THE BASIS OF A PACKAGELESS MIXING-DETECTOR DIODE WITCH BEAM CONCLUSIONS

*Keywords: microwave detection section, CST Studio, AWR Microwave office, mixing-detection diode.*

*This study examines the methods for developing the basic design of a microwave detector. Manufactured detector mock-ups with an operating frequency of 52 ÷ 80 GHz were experimentally investigated. A specific circuit design solution was synthesized in the form of a waveguide structure based on the data obtained.*

К.А. Насеткин, М.С. Муравьев, Г.М. Алимирзоев, А.С. Пузанов, И.Ю. Забавичев, А.А. Потехин
МОДЕЛИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СУБМИКРОННЫХ СТРУКТУР «КРЕМНИЙ НА ИЗОЛЯТОРЕ» С УЧЕТОМ РАДИАЦИОННЫХ ЭФФЕКТОВ

*Ключевые слова: полевые транзисторы, «кремний на изоляторе», радиационная стойкость, низкоинтенсивное проникающее излучение.*

*Исследование посвящено апробации компактной модели короткоканальных полевых транзисторов со структурой металл-оксид-полупроводник, изготовленных по технологии «кремний-на-изоляторе», с учетом воздействия низкоинтенсивных проникающих излучений, позволяющей решить важную задачу прогнозирования и повышения радиационной стойкости цифровых микросхем высокой степени интеграции в условиях существенного ограничения объема экспериментальных исследований.*

K.A. Nasetkin, M.S. Muravyev, G.A. Alimirzoev, A.S. Puzanov, I.Y. Zabavichev, A.A. Poteckhin
MODELING OF SUBMICRON SOI MOSFET CHARACTERISTICS TAKING INTO ACCOUNT RADIATION EFFECTS

*Keywords: FET, SOI MOSFET, hardness, low-intensity penetrating radiation.*

*The research was intended to practical evaluation of compact model SOI MOSFET taking into account low-intensity penetrating radiation. It allowing you to solve the important task of predicting and increasing the hardness of large-scale integration microchip in the context of meaningful constraints to experiments.*

В.Д. Павлидис, Р.Д. Сулейменова, Д.В. Левченко
АНАЛИЗ И ОЦЕНКА ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО РИСКА РАБОТНИКОВ БУРОВОЙ ФИЛИАЛА «ОРЕНБУРГБУРЕНИЕ» ООО «ГАЗПРОМБУРЕНИЕ»

*Ключевые слова: индивидуальный профессиональный риск, работники нефтегазовой отрасли, интегральная оценка условий труда.*

V.D. Pavlidis, R.D. Suleimenova, D.V. Levchenko
ANALYSIS AND ASSESSMENT OF THE PROFESSIONAL RISK OF EMPLOYEES OF THE DRILLING BRANCH «ORENBURGBURGENY» LLC «GAZPROMBURENIE»

*Keywords: individual professional risk, oil and gas industry, working conditions, integrated assessment of working conditions.*

*В работе выполнена оценка и анализ профессионального риска работников буровой установки на основании данных по предприятию ООО «Газпромбурение». Результаты могут быть использованы для разработки мероприятий по улучшению условий труда работников, а также прогнозирования вероятности развития профессиональных заболеваний работников буровой.*

*The work has carried out an assessment and analysis of the professional risk of drilling rig workers on the basis of data from the company LLC «Gazpromburenie». The results can be used to develop measures to improve the working conditions of workers, as well as predict the likelihood of development of occupational diseases of drilling workers.*

К.Ю. Панькин, Н.Н. Беспалов, Ю.В. Горячкин, П.М. Дёмкин
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В СИЛОВОМ ДИОДЕ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ ПРЯМОГО ТОКА

*Ключевые слова: прямой ток, импульс тока, падение напряжения, моделирование, силовой полупроводниковый диод, длительность, температура.*

*Для экспериментального определения теплового сопротивления необходимо перегреть полупроводниковую структуру силового полупроводникового прибора до определённого значения температуры структуры. В статье приведено моделирование переходных тепловых процессов в силовом диоде при длительном воздействии прямого тока. Результаты исследования получены на основе моделирования в приборно-технологической среде Synopsys TCAD. Установлено, что импульс тока длительностью 3 с можно заменить на серию кратковременных импульсов тока и добиться такой же температуры перегрева практически за то же время, что и при длительном импульсе тока.*

K.Y. Pankin, N.N. Bespalov, Y.V. Goryachkin, P.M. Dyomkin
SIMULATION OF TRANSIENT THERMAL PROCESSES IN A POWER DIODE WITH PROLONGED EXPOSURE TO DIRECT CURRENT

*Keywords: forward current, current pulse, voltage drop, simulation, power semiconductor diode, duration, temperature.*

*For an experimental determination of the thermal resistance is necessary to overheat the semiconductor structure of a power semiconductor device to a certain temperature value of the structure. The article presents the simulation of transient thermal processes in a power diode with long-term exposure to direct current. The results of the study were obtained based on simulation in the instrument-technological environment Synopsys TCAD. It has been established that a current pulse with a duration of 3 s can be replaced with a series of short current pulses and achieve the same overheat temperature in almost the same time as with a long current pulse.*

Р.Д. Сулейменова, Д.В. Левченко
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РИСКОВ РАЗВИТИЯ ВУЗА

*Ключевые слова: конкурентоспособность вуза, риски развития вуза, математическая модель рисков, дивергенция, векторная функция.*

*В статье представлена математическая модель расчета рисков развития вуза. Выявлены ключевые показатели конкурентоспособности вузов. Риски интерпретируются как скалярная функция дивергенции, обосновано использование аппарата векторного анализа.*

R.D. Suleimenova, D.V. Levchenko
MATHEMATICAL MODELING OF THE RISKS OF UNIVERSITY DEVELOPMENT

*Keywords: university competitiveness, university development risks, mathematical risk model, divergence, vector function.*

*The article presents a mathematical model for calculating the risks of the university development. Identified key indicators of the competitiveness of universities. Risks are interpreted as a scalar divergence function, the use of the vector analysis apparatus is justified.*

А.Г. Щербинин, А.Ю. Сухоруков, В.И. Горбунов, Т.Д. Белоглазова
ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПРОЦЕССОВ В СИЛОВЫХ КАБЕЛЯХ ПРИ КОРОТКОМ ЗАМЫКАНИИ

*Ключевые слова: короткое замыкание, магнитное поле, электродинамические силы*

*В статье рассмотрено математическое моделирование электромагнитных процессов в силовых кабелях при коротком замыкании. Получено распределение магнитного поля, приведены результаты расчетов сил, вызванных магнитным полем токов короткого замыкания. Поставленная задача решалась методом конечных элементов с использованием программного комплекса ANSYS Maxwell.*

A.G. Shcherbinin, A.Y. Suhorukov, V.I. Gorbunov, T.D. Beloglazova
MATHEMATICAL MODELLING OF ELECTROMAGNETIC PROCESSES IN POWER CABLES AT SHORT CIRCUIT

*Keywords: short circuit, magnetic field, electrodynamic forces.*

*Mathematical modeling of electromagnetic processes in power cables with short circuit is considered in the article. The resulting distribution of the magnetic intensity, the results of calculations of the forces generated by the magnetic field short-circuit currents. The assigned task was solved by the finite element method using ANSYS Maxwell software.*

А.В. Комарова
ОБОБЩЕННЫЕ МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ СТОЙКОСТИ СХЕМ АУТЕНТИФИКАЦИИ

*Ключевые слова: постквантовая криптография, электронная подпись, аутентификация, теория решеток, теория чисел*

*В статье представлены общие методы комбинирования различных задач теории чисел и задач теории решеток в одной схеме аутентификации. За счет этого, можно достичь повышения стойкости существующих схем аутентификации, в том числе к потенциальным атакам, выполняемым на квантовом компьютере. В статье также показано, что предлагаемые методы могут быть применимы с любыми схемами электронной подписи на основе теории решеток.*

A.V. Komarova
GENERALIZED METHODS OF INCREASING THE RESISTANCE OF AUTHENTICATION SCHEMES

*Keywords: post-quantum cryptography, electronic signature, authentication, number theory, lattice theory*

*The paper presents general methods of combining different number theory problems and lattice theory problems in one authentication scheme. Due to this, it is possible to increase the resistance of existing authentication schemes, including potential attacks performed on the quantum computer. The paper also shows that the proposed methods can be applied to any electronic signature schemes based on lattice theory.*

Н.А. Тишина, И.А. Щудро, Е.Н. Чернопрудова, Л.Ф. Тагирова

ОЦЕНКА РИСКОВ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЛАЧНЫХ СРЕД НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОГО МЕТОДА АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ

*Ключевые слова: облачные среды, угрозы безопасности информации, многоуровневая классификация, оценка рисков, нечеткие метод анализа иерархий*

*В данной статье представлены результаты исследования по решению задачи оценка рисков информационной безопасности (ИБ) облачных сред (ОС). Для решения задачи в статье предложены методика и алгоритм оценки рисков ИБ ОС на основе применения модели обобщенного нечеткого числа и многоуровневой классификации угроз ОС в нечетком методе анализа иерархий, позволяющие учитывать различные мнения экспертов, различную важность факторов рисков, неопределенность событий ОС, специфику архитектуры ОС и актуальные угрозы ОС.*

N.A. Tishina, I.A. Shudro, E.N. Chernoprudova, L.F. Tagirova

INFORMATION SECURITY RISK ASSESSMENT OF CLOUD ENVIRONMENTS BASED ON A FUZZY METHOD FOR ANALYSIS OF HIERARCHIES

*Keywords: cloud environments, information security threats, multi-level classification, risk assessment, fuzzy hierarchy analysis method.*

*This article presents the results of a study on the solution of the problem of assessing information security (IS) risks of cloud environments (CE). To solve the problem, the article proposes a method and an algorithm for assessing the risks of the information security based on the application of the generalized fuzzy number model and the multi-level classification of OS threats in a fuzzy hierarchy analysis method that take into account different expert opinions, different importance of risk factors, OS events uncertainty, OS architecture specifics and actual OS threats.*

**Публичный лицензионный договор-оферта о правах на статью**

Редакция журнала «Научно-технический вестник Поволжья» предлагает Вам присылать свои статьи для публикации на страницах журнала, а также на сайте Научной электронной библиотеки (НЭБ). Предоставление Автором своего произведения является полным и безоговорочным акцептом, т.е. данный договор считается заключенным с соблюдением письменной формы. Присылая для публикации произведение, Автор также предоставляет Редакции журнала права на использование произведения и гарантирует, что он обладает достаточным объемом прав на передаваемое произведение. Также Автор предоставляет редакции журнала право переуступить на договорных условиях частично или полностью полученные по настоящему Договору права третьим лицам без выплаты Автору вознаграждения. Все авторские права регулируются в соответствии с действующим законодательством России.

**Договор публичной оферты по обработке персональных данных**

В процессе осуществления выпуска журнала "Научно-технический вестник Поволжья", ООО "Рашин Сайнс" осуществляется обработка персональных данных, предоставленных авторами статей в рамках сообщения своих регистрационных данных для осуществления публикации в журнале (имя, фамилия, отчество, адрес автора, контактный телефон и e-mail приводятся в регистрационной форме, заполняемой авторами при отправке статьи в журнал). Обработка осуществляется редакцией журнала для целей надлежащей отправки журнала автору и возможности связи с автором  лиц, заинтересованных в результатах труда автора статьи. Под обработкой персональных данных в контексте настоящего согласия понимаются действия редакции по сбору, систематизации, накоплению, хранению, использованию, распространению, уничтожению персональных данных, а также действия по их дальнейшей обработке с помощью автоматизированных систем управления базами данных, и иных программных средств, используемых редакцией журнала. Настоящее согласие автора на обработку персональных данных является бессрочным и может быть отозвано в любой момент путем отказа автора от получения журнала и дальнейшей обработки его персональных данных.

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

# Н А У Ч Н О - Т Е Х Н И Ч Е С К И Й  В Е С Т Н И К  П О В О Л Ж Ь Я

**№7 2019**

**Направления:**

**05.13.01 – СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ (технические науки)**
**05.13.06 – АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ (технические науки)**
**05.13.11 – МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ (физико-математические науки)**
**05.13.11 – МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ (технические науки)**
**05.13.18 – МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ (технические науки)**
**05.13.19 – МЕТОДЫ И СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ, ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ (физико-математические науки)**

**www.ntvp.ru**

Реестровая запись от 08.05.2019 серия ПИ № ФС 77 -75732
Подписано в печать 24.07.2019 Формат А4. Печать цифровая.
Дата выхода в свет 24.07.2019
10,2 усл.печ.л. 11,8 уч.изд.л. Тираж 500 экз. Заказ 2110.

Учредитель: ООО "Рашин Сайнс":
420111, г. Казань, ул.Университетская, 22, помещение 23.
Адрес редакции, издательства, типографии – ООО "Рашин Сайнс":
420111, г. Казань, ул.Университетская, 22, помещение 23.
Цена свободная.

© Рашин Сайнс
тел. (843) 216-30-35
Отпечатано с готового оригинал-макета
ООО «Рашин Сайнс»