

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ
ВЕСТНИК
ПОВОЛЖЬЯ**

№3 2016

Направления:

01.01.00 — ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИКА

02.00.00 — ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

**05.02.00 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАШИНОСТРОЕНИЕ И
МАШИНОВЕДЕНИЕ**

**05.11.00 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — ПРИБОРОСТРОЕНИЕ,
МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ
ПРИБОРЫ**

**05.13.00 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — ИНФОРМАТИКА,
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ**

Казань

2016

УДК 60

ББК 30-1

Н-66

Н-66 Научно-технический вестник Поволжья. №3 2016г. – Казань:
Научно-технический вестник Поволжья, 2016. – 170 с.

ISSN 2079-5920

Журнал зарегистрирован в Управлении Федеральной службы по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций ПИ № ФС77-41672 от 13 августа 2010г.

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» № 12025.

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.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

© Научно-технический вестник Поволжья, 2016 г.

СОДЕРЖАНИЕ**01.01.00 — ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИКА**

<i>С.И. Абакумова, М.С. Апостолиди</i> РАССМОТРЕНИЕ НЕКОТОРЫХ МЕТОДОВ ОТЫСКАНИЯ ОСНОВНОЙ ЕДИНИЦЫ	9
<i>Е.А. Вячкина, Р.В. Петров, В.О. Каледин, Е.С. Вячкин</i> МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСЧЕТА ПЛАТЫ ЗА ВЫБРОСЫ ПРИ ПОЖАРЕ В СТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТАХ	13
<i>Н.Н. Дондукова, Б.В. Заятуев</i> КОНТАКТНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ МНОГООБРАЗИИ КЕНМОЦУ	17
<i>В.В. Дружинин, А.А. Лазарев</i> СУММЫ ОБОБЩЕННЫХ АРИФМЕТИЧЕСКИХ ПРОГРЕССИЙ С ДРОБНЫМИ СТЕПЕНЯМИ	20
<i>В.Г. Шармин, Т.Н. Шармина</i> ОБ ОДНОМ СВОЙСТВЕ L - ПОЛЯРНЫХ ГИПЕРПОВЕРХНОСТЕЙ	22

05.02.00 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

<i>О.Ю. Богомолова, М.П. Данилаев</i> ПАРАМЕТРЫ ТЕЧЕНИЯ МНОГОФАЗНЫХ ГАЗОВЫХ ПОТОКОВ В ЗАДАЧЕ КАПСУЛИРОВАНИЯ СУБМИКРОННЫХ ЧАСТИЦ ПОЛИМЕРОМ	25
<i>А.П. Буйносов, И.В. Умылин</i> О РАЗРАБОТКЕ ОГРАНИЧИТЕЛЯ ТОКА ЗАРЯДКИ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ НА ЭЛЕКТРОПОЕЗДАХ	28
<i>Г.Е. Кокиева</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ РОСТА МИКРОБНЫХ КЛЕТОК ОТ КОНЦЕНТРАЦИИ БИОМАССЫ В ПРОЦЕССЕ ПОЛУЧЕНИЯ КОРМОВЫХ ДРОЖЖЕЙ	31
<i>Е.А. Новикова, А.В. Жданов, А.Б. Иванченко, И.В. Шинаков</i> ПРОБЛЕМЫ СОЗДАНИЯ ПРЕЦИЗИОННЫХ МЕХАНИЗМОВ ПОСТУПАТЕЛЬНОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ ОПТОМЕХАНИКИ	34
<i>Э.А. Петровский, М.Н. Медведев</i> ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ТРУБОПРОВОДНОГО ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ НЕФТИ ПРИМЕНЕНИЕМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО АКТИВАТОРА ЖИДКИХ СРЕД	37
<i>А.А. Плющик, Е.А. Сопов, В.В. Бухтояров</i> ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ПРОЦЕССА БУРЕНИЯ ПУТЕМ ОПТИМИЗАЦИИ УПРАВЛЯЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА БУРЕНИЯ	40
<i>П.М. Салов, В.Н. Цай, С.С. Сайкин, Д.А. Юрпалов, Т.Г. Виноградова, Н.В. Мулюхин, Е.А. Андреева, Е.В. Антонова, Д. П. Салова</i> ДЕФОРМАЦИИ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ ПРИ ШЛИФОВАНИИ	44
<i>А.В. Степенькин, Д.О. Кочетов, И.В. Шинаков, А.В. Жданов</i> СМЕЩЕНИЕ РЕЗЬБЫ ЭЛАСТИЧНОГО ЭЛЕМЕНТА РОЛИКОВИНТОВОГО МЕХАНИЗМА	47
<i>Ю.Н. Сургутанова, Н.А. Сургутанов, Н.Н. Микушев, П.Е. Киселев, П.А. Шляпников, А.А. Мещерякова</i> ЗАВИСИМОСТЬ ПРЕДЕЛА ВЫНОСЛИВОСТИ ОБРАЗЦОВ С НАДРЕЗАМИ ОТ ТОЛЩИНЫ УПРОЧНЁННОГО ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ	50

05.11.00 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

<i>А.В. Алексеев</i> ОПЫТ СОЗДАНИЯ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ЛАБОРАТОРИИ В ТЕХНИЧЕСКОМ ВУЗЕ	53
<i>А.П. Буйносов, Д.С. Денисов</i> ПРИБОР ДЛЯ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО МЕТОДА КОНТРОЛЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ РЕЛЬСОВ	56
<i>М.П. Данилаев, Н.В. Дорогов, Е.А. Богослов, В.И. Гурьев</i> ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ СТЕНД ПО ОТРАБОТКЕ УПРАВЛЕНИЯ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОТЕПЛОВОЙ ПРОТИВООБЛЕДЕНИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМОЙ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА	59

<i>В.А. Казаров, О.Г. Морозов, Л.М. Сарварова, И.И. Нуреев</i> КОМПЛЕКСИРОВАННЫЙ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЙ ДАТЧИК КОНТРОЛЯ РАБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК АККУМУЛЯТОРА	62
<i>А.С. Кириллов, В.Р. Агафонов</i> ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ МОДУЛИ ВВОДА СИГНАЛОВ ТЕРМОПАР С ОБЪЕКТОВ ТЕРМОЭМИССИОННОЙ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ	65
<i>И.И. Нуреев</i> СТАТИЧЕСКАЯ И ДИНАМИЧЕСКАЯ РАДИОФОТОННАЯ ИНТЕРРОГАЦИЯ ОДНОТИПНЫХ ВОЛОКОННЫХ БРЭГГОВСКИХ РЕШЕТОК ПРИ ПОЛИГАРМОНИЧЕСКОМ ЗОНДИРОВАНИИ	69
<i>А.Ю. Стрюков, А.В. Федотов, П.С. Иванов</i> ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ ПО РАЗРЕШАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ	72
05.13.00 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ	
<i>Н.Н. Беспалов, Ю.В. Горячкин, Д.В. Тундыков</i> ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ УПРАВЛЯЮЩЕГО УСТРОЙСТВА НА ПЛИС ДЛЯ ОБМЕНА ДАННЫМИ ПО ИНТЕРФЕЙСУ SPI	75
<i>В.Т. Бобронников, Т.С. Терещенко</i> ОБ АНАЛИЗЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ АВТОНОМНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ ЭНЕРГИЮ СОЛНЦА, С УЧЕТОМ ОБЛАЧНОСТИ	79
<i>А.П. Буйнов</i> АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ УРАВНЕНИЙ ТРАНСЛЯЦИОННОЙ ДИНАМИКИ ДВИЖЕНИЯ КОЛЕСНОЙ ПАРЫ В РЕЛЬСОВОЙ КОЛЕЕ	87
<i>А.В. Вицентий, А.Г. Олейник, Д.В. Рябов</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ ВЫЧИСЛЕНИЙ НА ГРАФИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОРАХ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ	91
<i>Л.Р. Галимуллина, О.Г. Морозов, М.А. Салихова, Л.М. Сарварова, И.Т. Ибрагимов</i> ДАТЧИКИ МОНИТОРИНГА МЕЖЧЕЛЮСТНОГО ДАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ БРЭГГОВСКИХ РЕШЕТОК	94
<i>Л.В. Галина, А.М. Черноусова, С.Ю. Шамаев</i> АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ВЫСОКОАВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ	97
<i>Л.Ю. Грудцына, И.Ю. Мышкина</i> ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УСПЕШНОСТИ ОБУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ РЕТРОСПЕКТИВНОЙ ИНФОРМАЦИИ	100
<i>Н.Ю. Дегтярев, Г.П. Жигулин, Р.А. Шакирова, С.А. Бондарев</i> АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЛАЧНЫХ СЕРВИСОВ	104
<i>И.Т. Ибрагимов, О.Г. Морозов, Л.Р. Галимуллина, М.А. Салихова, В.В. Садчиков</i> ДАТЧИКИ МОНИТОРИНГА СЕРДЦЕБИЕНИЯ И ДЫХАТЕЛЬНОЙ ФУНКЦИИ ЧЕЛОВЕКА НА ОСНОВЕ БРЭГГОВСКИХ РЕШЕТОК	107
<i>А.В. Казаков, М.В. Фроленко</i> ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО ХЛАДАГЕНТА СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ НА ОСНОВЕ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ	110
<i>В.О. Каледин, О.А. Штейнбрехер</i> АЛГОРИТМ ОПТИМИЗАЦИИ МНОГОЭЛЕМЕНТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ОГРАНИЧЕНИЯМИ ПО ПРОЧНОСТИ И ГАБАРИТАМ	113
<i>А.О. Киклевич, Е.А. Хлютина, Г.П. Жигулин</i> МЕТОД И МОДЕЛЬ СНИЖЕНИЯ АПРИОРНОЙ ЭНТРОПИИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ УГРОЗ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ОСНОВЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО АНАЛИЗА	116
<i>Т.А. Кузнецова, П.В. Репп</i> РАЗРАБОТКА РОБАСТНОЙ БОРТОВОЙ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ УПРАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ	120
<i>Д.Г. Лазаренко</i> ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ОТРАБОТКЕ КОНСТРУКЦИИ ТЕРМОЭМИССИОННОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ	123

<i>А.А. Медведев, Е.Н. Созинова</i> ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЙ ЭТАП ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ВНУТРЕННЕГО АУДИТА ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОРГАНИЗАЦИЙ НА ОСНОВЕ РИСК-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПОДХОДА	126
<i>А.Р. Насыбуллин</i> ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ НА ОСНОВЕ ПОЛОСКОВЫХ БРЭГГОВСКИХ СТРУКТУР ДЛЯ СВЧ ДАТЧИКОВ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ	129
<i>А.Д. Наумов, А.Н. Югансон, И.Б. Бондаренко, Д.А. Заколдаев, Ю.А. Гатчин</i> ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ КОМПОНЕНТОВ ВИРТУАЛЬНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СРЕДЫ ВИРТУАЛИЗАЦИИ	132
<i>И.Ю. Попов, А.О. Алексеенко, Б.А. Крылов, Ю.А. Гатчин</i> МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ МИНИМАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПЕРСОНАЛЬНЫХ ДАННЫХ ПО ТРЕБОВАНИЯМ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ	135
<i>С.В. Рыков, И.В. Кудрявцева, В.А. Рыков, М.И. Полторацкий</i> МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АСИМПТОТИЧЕСКОЙ ОКРЕСТНОСТИ КРИТИЧЕСКОЙ ТОЧКИ	138
<i>Я.И. Савченко, О.Ю. Гаценко, Г.П. Жигулин</i> ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ ПРИ ИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ПО ОТКРЫТЫМ КАНАЛАМ СВЯЗИ	141
<i>Е.В. Субботин, А.А. Рыков</i> РАСЧЕТ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ НЕИЗОТРОПНЫХ МАТЕРИАЛОВ В УСЛОВИЯХ ТЕМПЕРАТУРНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ	144
<i>Н.М. Труфанова, И.Я. Дятлов</i> АНАЛИЗ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ПОДЗЕМНОГО КАБЕЛЬНОГО КАНАЛА В РЕЖИМЕ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ	147
<i>Е.В. Шаврина</i> РАСЧЕТ НЕИЗОБАРИЧЕСКИХ СВЕРХЗВУКОВЫХ СТРУЙ С ПОПРАВКАМИ НА СЖИМАЕМОСТЬ В МОДЕЛИ ТУРБУЛЕНТНОСТИ	151
<i>Е.С. Якуба, В.С. Тынченко, В.В. Бухтояров, В.В. Тынченко</i> СИСТЕМА АНАЛИЗА ДОКУМЕНТАЦИИ ПО ГОСУДАРСТВЕННЫМ ЗАКУПКАМ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИ OLAP	154
АННОТАЦИИ	158

THE RELEASE MAINTENANCE**01.01.00 — PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES — MATHEMATICS**

<i>S.I. Abakumova, M.S. Apostolidi</i> CONSIDERATION OF SOME METHODS OF FINDING THE BASIC UNIT	9
<i>E.A. Vyachkina, R.V. Petrov, V.O. Kaledin, E.S. Vyachkin</i> MATHEMATICAL MODEL FOR CALCULATING BOARD FIRE FOR EMISSIONS OF BUILDING OBJECTS	13
<i>N.N. Dondukova, B.V. Zayatyuev</i> CONTACT-GEODESIC TRANSFORMATIONS OF KENMOTSU MANIFOLD	17
<i>V.V. Druzhinin, A.A. Lazarev</i> SUM OF GENERALIZED ARITHMETIC PROGRESSIONS WITH FRACTIONAL DEGREES	20
<i>V.G. Sharmin, T.N. Sharmina</i> ABOUT SINGLE PROPERTY OF L - POLAR HYPERSURFACES	22

05.02.00 — TECHNICAL SCIENCES — MECHANICAL ENGINEERING AND ENGINEERING SCIENCE

<i>O.Yu. Bogomolova, M.P. Danilaev</i> PARAMETERS OF MULTIPHASE GAS FLOWS FOR ENCAPSULATION OF SUBMICRON PARTICLES WITH POLYMER	25
<i>A.P. Buinosov, I.V. Umylin</i> ABOUT DEVELOPMENT OF THE LIMITER OF CURRENT OF CHARGING OF RECHARGEABLE BATTERIES ON ELECTRIC TRAINS	28
<i>G.E. Kokieva</i> DEPENDENCE OF GROWTH MICROBIAL BIOMASS CONCENTRATION DURING THE PRODUCTION OF FODDER YEAST	31
<i>E.A. Novikova, A.V. Jdanov, A.B. Ivanchenko, I.V. Shinakov</i> PROBLEMS OF THE PRECISION MECHANISMS FOR TRANSLATION OF THE OPTOMECHANICS PROMISING DIRECTIONS	34
<i>E.A. Petrovsky M.N. Medvedev</i> ENSURING THE RELIABILITY OF PIPELINE TRANSPORTATION OF CRUDE OIL BY USING AN ELECTROMAGNETIC FLUID ACTIVATOR	37
<i>A.A. Plyuschik, E.A. Sopov, V.V. Buhtoyarov</i> IMPROVING RELIABILITY OF THE DRILLING PROCESS BY OPTIMIZING CONTROLLED PARAMETERS OF THE DRILLING MODE	40
<i>P.M. Salov, V.N. Tsay, S.S. Saykin, D.A. Yurpalov, T.G. Vinogradova, N.V. Muliukhin, E.A. Andreeva, E.V. Antonova, D.P. Salova</i> STRAIN IN GRINDING PROCESS IN THE SYSTEM	44
<i>A.V. Stepenkin, D.O. Kochetov, I.V. Shinakov, A.V. Jdanov</i> OFFSET OF THE THREAD ELASTIC MEMBER OF ROLLER SCREW MECHANISM	47
<i>Yu.N. Surgutanova, N.A. Surgutanov, N.N. Mikushev, P.E. Kiselev, P.A. Shlyapnikov, A.A. Meshcheryakova</i> FATIGUE POINT DEPENDENCE OF NOTCHED SPECIMENTS UPON THE THICKNESS OF HARDENED SURFACE LAYER	50

05.11.00 — TECHNICAL SCIENCES — INSTRUMENTATION, METROLOGY AND INFORMATION-MEASURING DEVICES

<i>A.V. Alekseev</i> EXPERIENCE OF THE BIOLOGICAL LABORATORIES IN THE TECHNICAL UNIVERSITY	53
<i>A.P. Buinosov, D.S. Denisov</i> THE DEVICE FOR THE NONDESTRUCTIVE CONTROL METHOD OF RAILWAY RAILS	56
<i>M.P. Danilaev, E.A. Bogoslov, N.V. Dorogov, V.I. Gurev</i> EXPERIMENTAL STAND FOR INTEGRATED ELECTROTHERMAL ANTI-ICING SYSTEM TESTING	59
<i>V.A. Kazarov, O.G. Morozov, L.M. Sarvarova, I.I. Nureev</i> COMPLEXED FIBER OPTIC SENSORS FOR BATTERY PERFORMANCE MONITORING	62
<i>A.S. Kirillov, V.R. Agafonov</i> INTELLIGENT THERMOCOUPLE INPUT MODULES FOR THERMIONIC EXPERIMENTAL FACILITY	65

<i>I.I. Nureev</i> STATIC AND DYNAMIC MICROWAVE PHOTONICS INTERROGATION OF SIMILAR FIBER BRAGG GRATINGS AT POLYHARMONIC PROBING	69
<i>A.J. Strjgov, A.V. Fedotov, P.S. Ivanov</i> FORECASTING RESIDUAL LIFE OF OPTOELECTRONIC DEVICES ACCORDING TO THE CRITERION LIMIT OF RESOLUTION	72
05.13.00 — TECHNICAL SCIENCES — COMPUTER SCIENCE, COMPUTER ENGINEERING AND MANAGEMENT	
<i>N.N. Beshpalov, Y.V. Goryachkin, D.V. Tundykov</i> SOFTWARE IMPLEMENTATION CONTROL DEVICES ON FPGA FOR DATA INTERCHANGE ON SPI INTERFACE	75
<i>V.T. Bobronnikov, T.S. Tereshchenko</i> EFFICIENCY ANALYSIS OF THE STAND-ALONE ENERGY SYSTEMS USING SOLAR ENERGY, TAKING INTO ACCOUNT CLOUDINESS	79
<i>A.P. Buinosov</i> ALGORITHM OF CREATION OF THE EQUATIONS OF TRANSMITTING DYNAMICS OF THE MOVEMENT OF WHEEL PAIR IN THE RAIL GAUGE	87
<i>A.V. Vicentiy, A.G. Oleynik, D.V. Ryabov</i> THE STUDY OF FEATURES OF COMPUTING ON GENERAL PURPOSE GRAPHICS PROCESSORS	91
<i>L.R. Gallimulina, O.G. Morozov, M.A. Salikhova, L.M. Sarvarova, I.T. Ibragimov</i> SENSORS FOR ROSTRAL PRESSURE MONITORING BASED ON BRAGG GRATINGS	94
<i>L.V. Galina, A.M. Chernousova, C.Y. Shamaev</i> AUTOMATED ESTIMATION OF EFFICIENCY OF FUNCTIONING OF HIGHLY AUTOMATED MANUFACTURING SYSTEMS	97
<i>L.Yu. Grudtsyna, I.Yu. Myshkina</i> PREDICTION OF ACADEMIC SUCCESS BASED ON RETROSPECTIVE INFORMATION	100
<i>N.Yu. Degtyarev, G.P. Zhigulin, R.A. Shakirova, S.A. Bondarev</i> ANALYSIS OF CLOUD SECURITY CHALLENGES	104
<i>I.T. Ibragimov, O.G. Morozov, L.R. Gallimulina, M.A. Salikhova, V.V. Sadchikov</i> SENSORS BASED ON BRAGG GRATING FOR MEN'S HEART RATE AND RESPIRATORY FUNCTION MONITORING	107
<i>M.V. Frolenko, A.V. Kazakov</i> SELECTING THE OPTIMAL REFRIGERANT COOLING SYSTEM BASED ON NUMERICAL SIMULATIONS	110
<i>V.O. Kaledin, O.A. Shteinbreher</i> ALGORITHM OF OPTIMIZATION OF MULTIELEMENT CONSTRUCTION WITH RESTRICTIONS ON DURABILITY AND DIMENSIONS	113
<i>A.O. Kiklevich, E.A. Khlyupina, G.P. Zhigulin</i> METHOD AND MODEL OF REDUCING A PRIORI ENTROPY OF EMERGING OF THE INFORMATION SECURITY THREATS BASED ON PARAMETRIC ANALYSIS	116
<i>T.A. Kuznetsova, P.V. Repp</i> THE ROBUST ON-BOARD INFORMATION AND MEASUREMENT CONTROL SYSTEMS' DEVELOPMENT	120
<i>D.G. Lazarenko</i> DETERMINATION OF THE PARAMETERS OF EXPERIMENT FOR THERMIONIC CONVERTER DESIGN OPTIMIZATION	123
<i>A.A. Medvedev, E.N. Sozinova</i> THE PREPARATORY STAGE IN CONDUCTING INTERNAL AUDIT OF INFORMATION SECURITY OF ORGANIZATIONS BASED ON THE RISK-BASED APPROACH	126
<i>A.R. Nasybullin</i> CONVERSION ELEMENTS BASED ON BRAGG STRIPLINE STRUCTURES FOR MICROWAVE SENSORS OF TECHNOLOGICAL PROCESSES PARAMETERS	129

<i>A.D. Naumov, A.N. Yougunson, I.B. Bondarenko, D.A. Zakoldaev, Iu.A. Gatchin</i> IMPROVING THE RELIABILITY OF THE COMPONENTS OF A VIRTUAL INFRASTRUCTURE WHEN USING VIRTUALIZATION ENVIRONMENT	132
<i>I.Y. Popov, A.O. Alekseenko, B.A. Krylov, Y.A. Gatchin</i> THE METHOD OF THE CONSTRUCTION OF MINIMUM PROTECTION OF INFORMATION SYSTEM OF PERSONAL DATA FOR USERS REQUIREMENTS	135
<i>S.V. Rykov, I.V. Kudryavtseva, V.A. Rykov, M.I. Poltoratskiy</i> MATHEMATICAL MODELING OF THE ASYMPTOTIC NEAR THE CRITICAL POINT	138
<i>Ya.I. Savchenko, O.Yu. Gazenko, G.P. Jigulin</i> IDENTIFICATION OF USERS DURING THEIR INTERACTION THROUGH OPEN COMMUNICATION CHANNELS	141
<i>E.V. Subbotin, A.A. Rykov</i> CALCULATION OF THE STRESS-STRAIN STATE OF NON-ISOTROPIC MATERIALS IN A THERMAL EXPOSURE	144
<i>N.M. Trufanova, I.Y. Dyatlov</i> OPERABILITY ANALYSIS OF UNDERGROUND CABLE CHANNEL IN SHORT CIRCUIT MODE	147
<i>E.V. Shavrina</i> CALCULATION OF ISOBARIC SUPERSONIC JETS AMENDED FOR COMPRESSIBILITY TURBULENCE MODEL	151
<i>E.S. Yakuba, V.S. Tynchenko, V.V. Bukhtoyarov, V.V. Tynchenko</i> THE SYSTEM FOR GOVERNMENT TENDERS DOCUMENTS ANALYSIS ON THE BASIS OF OLAP TECHNOLOGY	154
ABSTRACTS	158

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИКА (01.01.00)

01.01.06

С.И. Абакумова, М.С. Апостолиди

Институт сервиса, туризма и дизайна (филиал)
 ФГАОУ ВПО «Северо-Кавказский федеральный университет» в г. Пятигорске,
 svetaabaku@rambler.ru

РАССМОТРЕНИЕ НЕКОТОРЫХ МЕТОДОВ ОТЫСКАНИЯ ОСНОВНОЙ ЕДИНИЦЫ

Одной из главных задач теории алгебраических полей является построение системы основных единиц. В настоящей статье проведен анализ метода Вельмина и конструкции Поклингтона нахождения единиц чисто кубических полей. Дан обзор методик этих методов. Использована $J_k(\zeta)$ -дзета-функция Дедекинда поля, составлено уравнение, содержащее бесконечное произведение по возрастающим рациональным простым числам p . В результате решения уравнения найдено K , при котором $\sqrt[k]{\eta}$ будет числом кубического поля. Задан алгоритм преобразований и обнаружен множитель пропорциональности. Решены примеры вычисления конкретных единиц чисто кубических полей.

Ключевые слова: основная единица, кубические поля, дзета-функция, идеалы.

Еще А.А.Марков [1] показал, как с помощью разложения целых элементов (чисел) чисто кубического поля с малыми нормами в произведение идеалов можно получить единицы поля (не обязательно основные) и представителей классов идеалов.

Построенная Марковым таблица единиц содержала и не основные единицы. Естественно, для перехода к основной единице следует дополнить процедуру операцией извлечения корня из единицы.

С другой стороны, Дедекинд [2] установил связь числа классов идеалов h чисто кубического поля и основной единицы ε с вычетом дзета-функции поля. С помощью кубического закона взаимности Дедекинд свел вычисление вычета дзета-функции к суммированию некоторого условно сходящегося ряда, используемого в теории эллиптических функций. Построение же такого рода, вообще говоря, осуществимо, если известен характер разложения в чисто кубическом поле простых чисел, не превышающих, к примеру, 200.

Следуя Вельмину [3] изложим указанное сочетание приемов Маркова и Дедекинда, позволяющее найти искомую основную единицу.

Пусть $J_k(\zeta)$ -дзета-функция Дедекинда поля, тогда $\lim_{\zeta \rightarrow 1} (\zeta - 1) \cdot J_k(\zeta) = h \cdot \frac{2^{n_1+n_2} \cdot \pi^{n_2} \cdot R}{w \cdot \sqrt{|D|}}$,

где R -регулятор, D -дискриминант поля, n_1 - число действительных корней, n_2 -число пар комплексных корней порождающего уравнения.

В нашем случае $n_1 = n_2 = 1, R = \log \varepsilon, w = 2$ и далее

$$\lim_{\zeta \rightarrow 1} (\zeta - 1) \cdot J_k(\zeta) = h \cdot \frac{2 \pi \log \varepsilon}{\sqrt{|D|}}. \quad (1)$$

Левую часть (1) представим бесконечным произведением по возрастающим рациональным простым числам p .

$$\text{Действительно, } J_{k(s)} = \prod_p \frac{1}{1 - \text{Norm}(p)^{-s}}. \quad (2)$$

Теперь разобьем рациональные простые числа на следующие пять групп:

- 1) числа p_1 , остающиеся простыми в кубическом поле,
- 2) числа p_2 , которые разлагаются в произведение двух простых идеалов первого,

соответственно второго порядков,

3) числа p_3 , разлагающиеся на произведение трех простых идеалов,

4) числа p_4 , которые представляют произведение простого идеала на квадрат другого простого идеала,

5) числа p_5 , являющиеся кубами простых идеалов.

Числу p_1 в произведении (2) отвечает множитель $\frac{1}{1-p_1^{-3s}} = \frac{1}{1-p_1^{-s}} \cdot \frac{1}{1+p_1^{-s}+p_1^{-2s}}$,

числу p_2 соответствует множитель вида $\frac{1}{1-p_2^{-s}} \cdot \frac{1}{1-p_2^{-2s}}$,

числу p_3 ставится в соответствие множитель $\frac{1}{(1-p_3^{-s})^3} = \frac{1}{1-p_3^{-s}} \cdot \frac{1}{(1-p_3^{-s})^2}$,

далее числу p_4 отвечает множитель $\frac{1}{(1-p_4^{-s})^2} = \frac{1}{1-p_4^{-s}} \cdot \frac{1}{1-p_4^{-s}}$

Наконец, числу p_5 отвечает множитель $\frac{1}{1-p_5^{-s}} = \frac{1}{1-p_5^{-s}} \cdot 1$.

Имеем: $J_k^{(s)} = \prod_{(p)} \frac{1}{1-p^{-s}} \cdot \prod_1 \prod_2 \prod_3 \prod_4$, где

$$\prod_1 = \prod_{(p_1)} \frac{1}{1+p_1^{-s}+p_1^{-2s}}, \prod_2 = \prod_{(p_2)} \frac{1}{1-p_2^{-2s}}, \prod_3 = \prod_{(p_3)} \frac{1}{(1-p_3^{-s})^2}, \prod_4 = \prod_{(p_4)} \frac{1}{1-p_4^{-s}}$$

Но $\prod_{(p)} \frac{1}{1-p^{-s}} = J(s)$, $\lim_{s \rightarrow 1} (s-1)J(s) = 1$,

откуда можно записать $\lim_{s \rightarrow 1} (s-1)J_k(s) = \lim_{s \rightarrow 1} \prod_1 \prod_2 \prod_3 \prod_4 = A$, (3)

и если обозначить

$$B_1(n) = - \sum_{p_1 \leq n} \{ \log(p_1^2 + p_1 + 1) - \log(p_1^2) \}$$

$$B_2(n) = \sum_{p_2 \leq n} \{ \log p_2^2 - \log(p_2^2 - 1) \}$$

$$B_3(n) = 2 \sum_{p_3 \leq n} \{ \log p_3 - \log(p_3 - 1) \}$$

$$B_4 = \sum_{p_4 \leq n} \{ \log p_4 - \log(p_4 - 1) \}$$

то выражение (3) переписывается следующим образом: $\log A = \lim_{n \rightarrow \infty} \{ B_1 + B_2 + B_3 + B_4 \}$

Числа B_i определяются из специальных таблиц [4], а остаточный член имеет порядок $\frac{1}{n}$, поэтому для $n=200$ число A получается с относительной погрешностью ~1%, что вообще говоря достаточно для расчетов.

Из формулы (1) имеем: $h = \frac{A\sqrt{|D|}}{2\pi \log \varepsilon}$

и если некоторая единица $\eta = \varepsilon^k$, где ε – основная единица, то $\log \varepsilon = \frac{1}{k} \log \eta$, где K – целое

рациональное число, откуда $h = \frac{KA \cdot \sqrt{|D|}}{2\pi \log \eta} = KN_1$.

Здесь K равно наибольшему из чисел K_i , при котором $\sqrt[k_i]{\eta}$ будет числом кубического поля.

Аналогичным образом можно составить новое множество преобразований, тогда легко обнаруживается множитель пропорциональности, равный

$-1+4\alpha - 2\alpha^2$, и легко видеть, что это единица чисто кубического поля $K(\sqrt[3]{5})$.

Остается убедиться в том, что она не является степенью другой единицы того же поля $K(\sqrt[3]{5})$. В самом деле, обратная единица есть $41+24\alpha + 14\alpha^2 \approx 126$.

Но $1+\alpha + \alpha^2 \approx 5,634$, а потому найденная единица, если и может быть степенью другой единицы, то либо второй, либо третьей. Прямой расчет убеждает в невозможности этого, а потому элемент $41+24\alpha + 14\alpha^2$ является основной единицей.

На основе такой процедуры составлена таблица основных единиц ε и обратных единиц ε^{-1} чисто кубических колец для $2 \leq m \leq 33$.

Очевидно, в предлагаемой конструкции недостаточно убедительны мотивы:

1) завершения расчетов и 2) получения основной единицы, а не ее степени.

В настоящее время отыскание основных единиц связано с использованием их для решения диофантовых уравнений, с поиском непрерывных дробей и их применением, со случайными числами и их генерированием, что влечет за собой использование новых алгоритмов, которые в сочетании с сопутствующей тщательной статистической обработкой полученного информационного массива могут быть реализованы только с использованием современных программных оболочек и средств.

Список литературы

1. *Марков А.А.* О целых числах, зависящих от корня кубического из целого рационального числа (к мемуару Е.И.Золотарева) / Избр. труды, теория чисел и теория вероятностей. – м.: Изд-во АН СССР, 1951. – с. 122-133.
2. *Dedekind R.* Über die Anzahl der Idealklassen in reinen kubischen Zahlkörpern // J. rein angew. Math. – 1890. – v.121. – p. 40-123.
3. *Вельмин В.П.* Разыскание основных единиц и группы идеальных классов кубических полей // Мат. Сборник. – Ун-т, Киев – 1951. – Вып.5. – с. 53-58.
4. *Абакумова С.И.* Обзор модификаций метода квадратичных форм. Фундаментальные исследования №5 (часть 3), Москва 2015, С. 1286-1294
5. *Berwick W.E.H.* The classification of ideal number that depend on a cubic irrationality // Proc. Lond. Math. Soc. (2). – 1913. – v.12. – p. 393-429.
6. *Pocklington H.C.* The practical calculation of unit algebraic numbers // Proc. Cambr. Philos. Soc. – 1928. – v.24. – p. 471-476.

01.01.00

Е.А. Вячкина¹, Р.В. Петров², В.О. Каледин¹, Е.С. Вячкин¹¹НФИ КемГУ, Новокузнецк, SedovaEA@yandex.ru, vkaled@nkfi.ru²Институт катализа им. Г. К. Борескова СО РАН, Новосибирск, petrov@catalysis.ru

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСЧЕТА ПЛАТЫ ЗА ВЫБРОСЫ ПРИ ПОЖАРЕ В СТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТАХ

Рассматривается получение математической модели оценки выбросов при горении строительных объектов. Модель содержит физическую и химическую составляющие. Физическая часть модели основана на ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ "Пожарная безопасность. Общие требования", принятом в 1991 году [1], и позволяет рассчитать скорость распространения и температуру пожара, химическая же часть позволяет учесть при горении химический состав конструкционных и отделочных материалов. Полученная математическая модель может быть использована для прогноза выбросов при пожаре и оценки максимально возможного времени, которое можно находиться в помещении без серьезной угрозы для здоровья, а также может быть модернизирована для расчета выплат за загрязнения окружающей среды после пожара на предприятии.

Ключевые слова: *химический состав, математическая модель, зональный метод, интегральный метод, полевой метод, выбросы, скорость, температура.*

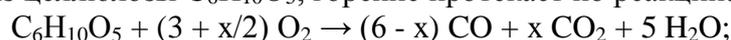
Введение. При пожаре, гибель людей во многом обусловлена отсутствием противопожарных знаний и навыков у граждан. Но в большинстве случаев люди умирают от отравления едким дымом и газами и недостатка кислорода, а не огня. По статистике: более половины пострадавших от дыма гибнет на месте пожара. Часть пострадавших, кому повезло выбраться, получают тяжёлые отравления продуктами горения, каждый третий из них умирает в больнице, не приходя в сознание. Помимо человеческих потерь, происходит еще и загрязнение окружающей среды в связи с выбросами в атмосферу продуктов горения. Любая организация ежегодно платит за негативное воздействие на окружающую среду, но при этом там не учитываются выплаты за ЧС на предприятии, хотя при пожарах в атмосферу выбрасывается большое количество загрязняющих веществ. В связи с этим актуальна цель данной работы - разработка математической модели оценки выбросов при пожаре. Для разработки такой модели необходимо учитывать не только физические характеристики пожара, но и химический состав строительных и отделочных материалов помещения, что позволяет разделить модель на две части – физическую и химическую. Рассмотрим физическую часть математической модели.

Выбор метода для расчета физических параметров пожара. Существует несколько методов расчета распространения пожара в закрытом помещении. Наиболее часто используемым для подобных расчетов является зональный метод. Он и будет использоваться в дальнейшем.

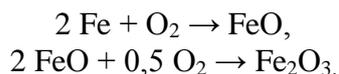
Анализ процессов горения строительных и отделочных материалов. Для проведения анализа процессов горения строительных и отделочных материалов необходимо собрать информацию о химическом составе материалов. Определим, какие материалы будем анализировать. Основными строительными материалами на сегодняшний день являются пенобетон, известь, гипсовые смеси, портландцемент, глины, цементы, шлаки, сталь, дерево. Однако при анализе процессов горения необходимо учитывать не только строительные материалы, но и отделочные.

Проведем оценку химического состава строительных материалов и их подверженность горению. Большинство строительных материалов либо вообще не подвержены горению, как цемент, стекло, глина, кирпич, либо при горении может стекловаться – кварцевый песок. Рассмотрим реакции горения основных горючих строительных материалов:

- дерево, состоит из целлюлозы $C_6H_{10}O_5$, горение протекает по реакции:



- сталь, в основном, состоит из железа Fe. Железо взаимодействует с кислородом O_2 воздуха при температуре плавления железа — $1538^\circ C$:

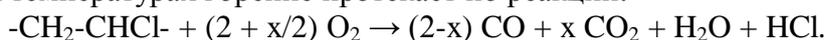


Другие элементы, содержащиеся в составе сталей также окисляются до оксидов, например, CO, CO_2 , P_2O_5 , NO_2 , SO_3 , SiO_2 , CrO_3 , Al_2O_3 , CuO.

Аналогично учитываются реакции горения других строительных материалов.

Для удобства структурирования отделочных материалов рассмотрим отдельно материалы, необходимые для отделки пола, потолка, стен, окон, межкомнатных и входных дверей и выпишем уравнения реакций горения отделочных материалов.

Поливинилхлорид (ПВХ) $(-CH_2-CHCl-)_n$ входит в состав многих материалов. При температурах выше $110-120^\circ C$ склонен к разложению с выделением хлористого водорода HCl. При высоких температурах горение протекает по реакции:



Аналогично выпишем реакции для всех отделочных материалов.

Анализ реакций горения отделочных материалов позволяет выделить основные продукты: угарный газ, углекислый газ, хлористый водород, цианистый водород, стирол, этиленбензол, толуол, бензол. Многие из этих веществ вызывают необратимые процессы в организме человека, а в значительных концентрациях – смерть.

Разработка математической модели. Исходными данными для связанной физико-химической задачи являются: геометрические размеры помещения, материалы внутренней отделки и стен, расположение окон и дверей, через которые возможен приток свежего воздуха.

На основе исходных данных с использованием зонального метода можно рассчитать необходимые физические параметры возможного пожара.

Согласно выбранной методике, максимальная температура при пожаре, регулируемом нагрузкой, находится по формуле:

$$T_{\max} - T_0 = 224 \cdot q_k^{0,528}, \quad (1)$$

где T_0 - начальная температура, q_k - значение пожарной нагрузки.

Если пожар регулируется вентиляцией, то максимальная температура будет равняться тысяче градусов Цельсия.

Для определения, чем будет регулироваться пожар - вентиляцией или нагрузкой, необходимо рассчитать значение пожарной нагрузки и критическое значение пожарной нагрузки.

$$q_k = \frac{\sum P_i \cdot Q_{Hi}^p}{(6S - A) \cdot Q_{H_0}^p}, \quad (2)$$

где Q_{Hi}^p - низшая теплота сгорания i -го элемента пожарной нагрузки, P_i - общее количество пожарной нагрузки i -го компонента, S - площадь пола помещения, A - суммарная площадь проёмов помещения.

$$q_{кр.р.} = \frac{4500 \cdot \Pi^3}{1 + 500 \cdot \Pi^3} + \frac{V^{0,333}}{6V_0}, \quad (3)$$

где Π - проёмность помещения, V - объём помещения, V_0 - общий объём воздуха, для сгорания всей пожарной нагрузки.

Если значение пожарной нагрузки меньше критического значения пожарной нагрузки, то в помещении будет пожар, регулируемый пожарной нагрузкой. В противном случае, пожар будет регулироваться вентиляцией помещения.

Для помещений с объёмом менее десяти кубических метров, проёмность рассчитывается по формуле:

$$\Pi = \frac{\sum A_i h_i^{0,5}}{V^{0,667}}, \quad (4)$$

где A_i - площадь i -го проёма помещения, h_i - высота i -го проёма помещения.

Для помещений, объемом более десяти кубических метров, формула проёмности имеет вид:

$$\Pi = \frac{\sum A_i h^{0.5}}{S}. \tag{5}$$

Общий объём воздуха, необходимый для сгорания всей пожарной нагрузки рассчитывается по формуле:

$$\Pi = \frac{\sum V_i P_i}{\sum P_i}. \tag{6}$$

В входе расчета будет учитываться приток свежего воздуха, обеспечивающего зону очага возгорания достаточным для поддержания химической реакции уровнем кислорода. Количество кислорода, необходимого для поддержания процесса горения, составляет двадцать один процент от общего объёма закрытого помещения.

Расчет платы за выбросы. Расчет выплат за загрязнение атмосферы проводится по «Инструктивно-методическим указаниям по взиманию платы за загрязнение окружающей природной среды» [2] и с учетом Постановления Правительства РФ от 12 июня 2003 г. N 344 [3]. На основе данных нормативных документов расчет проводится как произведение ставки платы за выброс тонны данного вещества на количество тонн выброса. После, полученные произведения суммируются в зависимости от вида загрязняющего вещества. При расчете необходимо учитывать коэффициенты экологической значимости региона, который варьируется от одного до двух [3]. Математическая модель расчета выплат при пожаре представляет собой систему, включающую в себя как физические уравнения, позволяющие рассчитать основные параметры распространяемого пожара, так и химические уравнения, показывающие реакции, которые происходят при сгорании и дополнена расчетом выплат.

$$\left\{ \begin{array}{l} T_{\max} - T_0 = 224 * q_k^{0.528}; \\ T_{\max} = 940e^{4.7 * 10^{-3} * (q - 30)}; \\ q_k = \frac{\sum P_i * Q_{H_i}^p}{(6S - A) * Q_{H_0}^p}; \\ q_{кр.р.} = \frac{4500 * \Pi^3}{1 + 500 * \Pi^3} + \frac{V^{0.333}}{6 * V_0}; \\ \Pi = \frac{\sum A_i h^{0.5}}{V^{0.667}}; \\ \Pi = \frac{\sum A_i h^{0.5}}{S}; \\ \Pi = \frac{\sum V_i P_i}{\sum P_i}; \\ V = a \cdot b \cdot h; \\ V_0 = 0,21 * V; \\ C_6H_{10}O_5 + (3 + x/2) O_2 \rightarrow (6 - x) CO + x CO_2 + 5 H_2O; \\ CH - (C_6H_5) - CH_2 - + (0,5 + x/2) O_2 \rightarrow C_6H_5 - CH_3 + (1 - x) CO + x CO_2; \\ -CH - (C_6H_5) - CH_2 - + H_2O \rightarrow C_6H_5 - CH_2 - CH_3 + 0,5 O_2; \\ -CH_2 - CHCl - + (2 + x/2) O_2 \rightarrow (2 - x) CO + x CO_2 + H_2O + HCl; \\ -CH - (C_6H_5) - CH_2 - + (6 + x/2) O_2 \rightarrow (8 - x) CO + x CO_2 + 4 H_2O; \\ -CH - (C_6H_5) - CH_2 - \rightarrow C_6H_5 - CH = CH_2; \\ -CH - (C_6H_5) - CH_2 - + (1,5 + x/2) O_2 \rightarrow C_6H_6 + (2 - x) CO + x CO_2 + H_2O; \\ -CH - (C_6H_5) - CH_2 - + H_2O \rightarrow C_6H_5 - CH_2 - CH_3 + 0,5 O_2; \\ \Pi_{H_{атм}} = \sum_{i=1}^n Cn_{i_{атм}} * Mi_{атм} \quad \text{при} \quad Mi_{атм} \leq Mni_{атм} \end{array} \right. \tag{7}$$

Заключение. В работе проведена оценка химического состава строительных материалов. Отделочные материалы структурированы по месту их применения и выписаны реакции горения тех из них, которые подвержены горению. Для расчета выплат приведены формулы из методических указаний [3]. Составлена математическая модель, позволяющая проводить расчет выплат при пожаре.

Список литературы

1. ГОСТ 12.1.004-91ССБТ "Пожарная безопасность. Общие требования" - Москва: Изд-во стандартов, 1991. – 126 с.
2. "Инструктивно-методические указания по взиманию платы за загрязнение окружающей природной среды" (утв. Минприроды РФ от 26.01.1993) (ред. от 15.02.2000, с изм. от 12.07.2011) (Зарегистрировано в Минюсте РФ 24.03.1993 N 190) [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_1867/.
3. Постановление Правительства РФ от 12.06.2003 N 344 (ред. от 24.12.2014) "О нормативах платы за выбросы в атмосферный воздух загрязняющих веществ стационарными и передвижными источниками, сбросы загрязняющих веществ в поверхностные и подземные водные объекты, в том числе через централизованные системы водоотведения, размещение отходов производства и потребления" [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_42740/.

01.01.04

Н.Н. Дондукова, Б.В. Заятуев

Бурятский государственный университет,
институт математики и информатики, кафедра алгебры, геометрии и мпм
Улан-Удэ, nadezdad@yandex.ru, zayatujev@yandex.ru

**КОНТАКТНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ МНОГООБРАЗИИ
КЕНМОЦУ**

В статье представлено доказательство контактного аналога результата Уэстлейка и Яно для многообразия Кенмоцу. А именно, доказано, что многообразие Кенмоцу не допускает контактно-геодезических преобразований, отличных от тривиальных.

Ключевые слова: *почти контактные структуры, геодезические преобразования, многообразия Кенмоцу.*

Теория геодезических отображении псевдоримановых пространств составляет одно из старейших направлений римановой геометрии, истоки которой восходят к трудам Т. Леви-Чивита, Г. Вейля и других знаменитых математиков. Одним из известных результатов в этом направлении является результат Уэстлейка и Яно, утверждающий, что келерово многообразие не допускает нетривиальных геодезических преобразований, сохраняющих комплексную структуру.

В настоящей работе рассматриваются контактно-геодезические преобразования почти контактной метрической структуры, которые представляют собой геодезические преобразования, сохраняющее почти контактную метрическую структуру ([1]). Доказано, что многообразии Кенмоцу не допускает контактно-геодезических преобразований, отличных от тривиальных.

Пусть M – гладкое многообразие размерности $2n + 1$; $\chi(M)$ – модуль гладких векторных полей на многообразии M ; ∇ – риманова связность метрики g .

Определение 1. ([2]). Почти контактной метрической структурой на гладком многообразии M называется совокупность $\{\eta, \xi, \Phi, g = \langle \cdot, \cdot \rangle\}$ тензорных полей на этом многообразии, где η – дифференциальная 1-форма, называемая контактной формой структуры, ξ – векторное поле, называемое характеристическим вектором, Φ – поле тензора типа $(1,1)$, называемое структурным эндоморфизмом, g – риманова метрика на M . При этом

- 1) $\eta(\xi) = 1$; 2) $\Phi(\xi) = 0$; 3) $\mu \circ \Phi = 0$; 4) $\Phi^2 = -id + \mu \otimes \xi$;
- 5) $\langle \Phi X, \Phi Y \rangle = \langle X, Y \rangle - \mu(X)\mu(Y)$; (1)

где $X, Y \in \chi(M)$.

Многообразии с фиксированной почти контактной метрической структурой называется почти контактным метрическим многообразием. Почти контактные метрические структуры являются естественным обобщением контактных структур, играющих фундаментальную роль в теоретической механике ([3]).

Как известно, контактной формой, или контактной структурой, на многообразии M называется 1-форма μ на M , удовлетворяющая условию $\mu \wedge \underbrace{d\mu \wedge \dots \wedge d\mu}_{n \text{ раз}} = 0$. На таком

многообразии внутренним образом определены распределения $L = Ker(\mu)$ и $V = Ker(d\mu)$ размерностей $2n$ и 1 , соответственно, причем $\chi(M) = L \oplus V$, $L \cap V = 0$. В 1960 году известный геометр С. Сасаки показал, что задание контактной структуры μ на M равносильно заданию тройки тензорных полей $\{\eta, \xi, \Phi\}$ на M , удовлетворяющих условиям $(1_1) - (1_4)$, и любую контактную структуру можно дополнить до почти контактной метрической структуры $\{\eta, \xi, \Phi, g = \langle \cdot, \cdot \rangle\}$. Наиболее известными и изученными классами почти контактных метрических структур являются контактные, K -контактные, Сасакиевы и Кенмоцу структуры ([4]).

Определение 2 ([2]). Почти контактные метрические структуры $\{\eta, \xi, \Phi, g\}$, удовлетворяющие условию $\nabla_X(\eta)Y = \langle X, \Phi Y \rangle$, называются *K-контактными*.

Определение 3 ([2]). Почти контактные метрические структуры $\{\eta, \xi, \Phi, g\}$, удовлетворяющие условию $\nabla_X(\Phi)Y = \langle X, Y \rangle \xi - \eta(Y)X$, называются *сасакиевыми*.

Определение 4 ([2]). Почти контактные метрические структуры $\{\eta, \xi, \Phi, g\}$, удовлетворяющие условию

$$\nabla_X(\Phi)Y = \langle \Phi X, Y \rangle \xi - \mu(Y)\Phi X. \quad (*)$$

где $X, Y \in \chi(M)$, называются *структурами Кенмоцу*. Многообразия с фиксированной структурой Кенмоцу называются *многообразиями Кенмоцу*. Все вышеприведённые тождества имеют определенный геометрический смысл и более подробно с ними можно ознакомиться в учебнике [2].

Наша дальнейшая задача состоит в изучении геодезических преобразований многообразий Кенмоцу. Приведем сначала необходимые для дальнейшего факты из теории геодезических преобразований.

Определение 5 ([5]). Диффеоморфизм φ псевдориманова многообразия

(M, g) на себя называется *геодезическим преобразованием*, если он любую геодезическую переводит в геодезическую.

Обозначим через $\tilde{g} = \varphi^*(g)$ геодезическое преобразование исходной метрики. Тогда, эндоморфизм h , однозначно определенный условием $\tilde{g}(X, Y) = g(X, hY)$, называется *оператором геодезической деформации*.

Как известно [3], если $\tilde{\nabla}$ -риманова связность метрики \tilde{g} , то тензор T аффинной деформации от связности ∇ к связности $\tilde{\nabla}$ имеет вид

$$T(X, Y) = \tilde{\nabla}_X Y - \nabla_X Y = \psi(X)Y + \psi(Y)X;$$

где $X, Y \in \chi(M)$, ψ – дифференциальная 1-форма, называемая *формой геодезического искажения*. Если $\psi = 0$, то преобразование φ является тривиальным, то есть $\varphi_*\nabla = \tilde{\nabla}$.

Определение 4. ([1]) Геодезическое преобразование $\tilde{g} = \varphi^*(g)$ метрики g почти контактной метрической структуры называется *контактно-геодезическим преобразованием*, если четверка $\{\eta, \xi, \Phi, \tilde{g}\}$ также почти контактная метрическая структура.

Лемма. Пусть φ^* – почти контактное геодезическое преобразование структуры $\{\eta, \xi, \Phi, g\}$. Тогда характеристический вектор ξ является собственным вектором оператора h геодезической деформации с собственным значением 1.

Доказательство: В самом деле, из (1_{1,2,5}) имеем

$$\eta(X) = \langle \xi, X \rangle.$$

С другой стороны,

$$\eta(X) = \tilde{g}(\xi, X) = \langle \xi, h(X) \rangle = \langle h(\xi), X \rangle.$$

Сравнивая это с предыдущим тождеством, в силу невырожденности римановой метрики получаем, что

$$h(\xi) = \xi.$$

Что и требовалось доказать.

Вычислив ковариантную производную структурного эндоморфизма Φ относительно связности $\tilde{\nabla}$, получим

$$\begin{aligned} \tilde{\nabla}_X(\Phi)Y &= \tilde{\nabla}_X(\Phi Y) - \Phi \tilde{\nabla}_X Y = \nabla_X(\Phi Y) + \Phi \nabla_X Y + T(X, \Phi Y) - \\ &- \Phi \nabla_X(Y) - \Phi T(X, Y) = \nabla_X(\Phi)Y + \Phi \nabla_X Y + T(X, \Phi Y) - \Phi T(X, Y) = \\ &= \nabla_X(\Phi)Y + \psi(\Phi Y)X - \psi(Y)\Phi X. \end{aligned}$$

Таким образом

$$\tilde{\nabla}_X(\Phi)Y = \nabla_X(\Phi)Y + \psi(\Phi Y)X - \psi(Y)\Phi X. \quad (2)$$

Введем в рассмотрение *первый структурный тензор* почти контактной метрической структуры $\{\eta, \xi, \Phi, g = \langle \cdot, \cdot \rangle\}$ (см.[1])

$$\begin{aligned} B(X, Y) &= -\frac{1}{8} \{ \Phi \circ \nabla_{\Phi^2 Y}(\Phi)(\Phi^2 X) + \Phi \circ \nabla_{\Phi Y}(\Phi)(\Phi X) + \\ &+ \Phi^2 \circ \nabla_{\Phi Y}(\Phi)(\Phi^2 X) - \Phi^2 \circ \nabla_{\Phi^2 Y}(\Phi)(\Phi X) \}. \end{aligned} \quad (3)$$

С учетом (2) и (3) легко показать, что

$$\tilde{B}(X, Y) = B(X, Y) - \frac{1}{2}\psi(\Phi Y)\Phi X - \frac{1}{2}\psi(\Phi^2 Y)\Phi^2 X; \quad (4)$$

где \tilde{B} – первый структурный тензор относительно $\{\eta, \xi, \Phi, \tilde{g}\}$.

Пусть, теперь, M – многообразие Кенмоцу. Так как первый структурный тензор структуры Кенмоцу равен нулю (см. [1]), соотношение (4) примет вид

$$\tilde{B}(X, Y) = -\frac{1}{2}\psi(\Phi Y)\Phi X - \frac{1}{2}\psi(\Phi^2 Y)\Phi^2 X. \quad (5)$$

где $X, Y \in \chi(M)$.

Воспользовавшись (5) и тождеством $\tilde{g}(\tilde{B}(X, Y), Z) + \tilde{g}(X, \tilde{B}(Y, Z)) = 0$, после некоторых упрощений получим $\psi(\Phi^2 X)\Phi^2 Y = 0$, отсюда

$$\psi(\Phi^2 X) = 0.$$

В силу (1₄), это соотношение примет вид

$$\psi(X) = \psi(\xi)\mu(X)\psi(X). \quad (7)$$

В частности, с учетом (1₃) имеем $\psi \circ \Phi = 0$. В силу этого, формула (2) примет вид $\tilde{\nabla}_X(\Phi)Y = \nabla_X(\Phi)Y - \psi(Y)\Phi X$, или, с учетом (*)

$$\tilde{\nabla}_X(\Phi)Y = g(\Phi X, Y)\xi - \mu(Y)\Phi X - \psi(Y)\Phi X; \quad (8)$$

Ковариантно дифференцируя тождество $\tilde{g}(\Phi Y, Z) + \tilde{g}(Y, \Phi Z) = 0$, приходим к тождеству $\tilde{g}(\tilde{\nabla}_X(\Phi)Y, Z) + \tilde{g}(Y, \tilde{\nabla}_X(\Phi)Z) = 0$, при $Z = Y$, получим

$$\tilde{g}(\tilde{\nabla}_X(\Phi)Y, Y) = 0. \quad (9)$$

С учетом (8), тождество (9) переписывается в виде

$$\tilde{g}(\Phi X, h(Y))\mu(Y) - \mu(Y)\tilde{g}(\Phi X, Y) - \psi(Y)\tilde{g}(\Phi X, Y) = 0,$$

где h – оператор геодезической деформации от метрики \tilde{g} к метрике g , и в силу невырожденности метрики \tilde{g}

$$h(Y)\mu(Y) - \mu(Y)Y - \psi(Y)Y = 0.$$

Положив здесь $Y = \xi$, с учетом (1₁) и леммы получим, что $\psi(\xi)\xi = 0$.

Так как ξ – ненулевой вектор, то

$$\psi(\xi) = 0,$$

и, в силу (7), $\psi(X) = 0$, т.е. $\psi = 0$. Тем самым, доказана

Теорема. Многообразие Кенмоцу не допускает почти контактных геодезических преобразований метрики, отличных от тривиальных.

Список литературы

1. Кириченко В.Ф., Дондукова Н.Н. Контактно-геодезические преобразования почти контактных метрических структур.// Матем. заметки, т.80, №2, Москва, 2006
2. Кириченко В.Ф., Дифференциально-геометрические структуры на многообразиях. М.:МПГУ, 2003.
3. Фоменко А.Т., Симплектическая геометрия. Методы и приложения. — М.: МГУ, 1988. — 413 с.
4. Кириченко В.Ф., Аксиома Φ -голоморфных плоскостей в контактной метрической геометрии\| Изв. АН СССР 48, №4 (1984), 711-739.
5. Синюков Н.С., Геодезические отображения римановых пространств, М., Наука, 1979.

01.01.06

В.В. Дружинин, А.А. Лазарев

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
Саровский физико-технический институт, кафедра высшей математики
г. Саров, vvdr@newmail.ru

СУММЫ ОБОБЩЕННЫХ АРИФМЕТИЧЕСКИХ ПРОГРЕССИЙ С ДРОБНЫМИ СТЕПЕНЯМИ

Получены формулы для расчета сумм натуральных чисел в одинаковых дробных степенях с интервалом и начальным числом «1». Приведены расчетные формулы для сумм произвольных степеней с указанием погрешности. Рассмотрены приложения полученных результатов.

Ключевые слова: сумма членов арифметической прогрессии, суммы одинаковых дробных степеней натуральных чисел.

Вопрос о конечных суммах членов обобщенных арифметических прогрессий в одинаковых целых степенях обсуждался в предыдущей работе авторов [1]. Это суммы вида

$$S(n; m; t; x) = \sum_{k=1}^n (x + (k-1)m)^t, \quad (1)$$

(СОАП) с натуральными степенями t . В данной работе рассматриваются суммы вида

$$T(n; 1; s; 1) \equiv T(n; t + \alpha) = \sum_{k=1}^n k^s, \quad (2)$$

где $s = t + \alpha$ любое неотрицательное число. При целых $s \equiv t$ суммы $T(n; t + \alpha) = S(n; 1; t; 1) \equiv S(n; t)$, где

$$\begin{aligned} S(n; 0) = n; S(n; 1) = \frac{n^2}{2} + \frac{n}{2}; S(n; 2) = \frac{n^3}{3} + \frac{n^2}{2} + \frac{n}{6}; S(n; 3) = \frac{n^4}{4} + \frac{n^3}{2} + \frac{n^2}{4} = \\ \frac{n^5}{5} + \frac{n^4}{2} + \frac{n^3}{3} - \frac{n}{30}; S(n; 5) = \frac{n^6}{6} + \frac{n^5}{2} + \frac{5n^4}{12} - \frac{n^2}{12}; S(n; 6) = \frac{n^7}{7} + \frac{n^6}{2} + \frac{n^5}{2} - \frac{n^3}{6} + \frac{n}{42}; S(n; 7) = \\ \frac{n^8}{8} + \frac{n^7}{2} + \frac{7n^6}{12} - \frac{7n^4}{24} + \frac{n^2}{12}; S(n; 8) = \frac{n^9}{9} + \frac{n^8}{2} + 2\frac{n^7}{3} - \frac{7n^5}{12} + \frac{2n^3}{9} - \frac{n}{30}; S(n; 9) = \frac{n^{10}}{10} + \frac{n^9}{2} + 3\frac{n^8}{4} - \\ \frac{7n^6}{10} + \frac{n^4}{2} - \frac{3n^2}{20}; S(n; 10) = \frac{n^{11}}{11} + \frac{n^{10}}{2} + 5\frac{n^9}{6} - n^7 + n^5 - \frac{n^3}{2} + \frac{5n}{66}. \end{aligned} \quad (3)$$

Анализ этих формул позволил найти следующие равенства, расширяющие великую теорему Ферма: $3^3 + 4^3 + 5^3 = 6^3$ и $11^3 + 12^3 + 13^3 + 14^3 = 20^3$.

Если записывать СОАП в виде степенной суммы

$$S(n; t) = \sum_{k=1}^n k^t = \sum_{k=1}^{t+1} b(n; t; k) n^k, \quad (4)$$

то между коэффициентами, как было показано в [1], $b(m; t; k)$ существует следующее рекуррентное соотношение

$$(k+1) \cdot b(n; t+1; k+1) = (t+1) \cdot b(n; t; k). \quad (5)$$

При этом последний коэффициент $b(n; t+1; 1)$ находится из соотношения

$$b(n; t+1; 1) = 1 - \sum_{k=2}^{t+1} b(n; t+1; k). \quad (6)$$

(4,5,6) позволяют из простейшей суммы n единиц $S(n; 0) = n$ последовательно получить формулы СОАП с произвольной степенью слагаемых как это видно из (3).

Сейчас нас интересуют суммы с дробными степенями, например,

$$T(5; 0,5) = \sum_{k=1}^5 \sqrt{k} = 1 + \sqrt{2} + \sqrt{3} + \sqrt{4} + \sqrt{5} \approx 8,382.$$

В справочниках и учебной литературе [2–7] мы не встретили общего подхода к аналитическому расчету таких сумм. Сразу скажем, что точной формулы расчёта таких сумм, типа формул (3), мы не получили. Если мы посмотрим на вид функции $T(n; t + \alpha)$ в зависимости от t при фиксированном n , то увидим, что при целых $\alpha = \{0; 1\}$ она есть сумма показательных функций с целыми степенями (3). При $t < \alpha < t + 1$, т.е. при дробном значении степени, $T(n; t + \alpha)$ – число чаще всего иррациональное. Можно предложить несколько интерполяционных кривых, соединяющих узловые точки с целыми α . Это даст приближенное значение $T(n; t + \alpha)$. Первой такой интерполяцией можно предложить линейную

$$T_1(n; t + \alpha) = S(n; t) + \alpha \{S(n; t + 1) - S(n; t)\}. \quad (7)$$

При этом $T_1(n; t + \alpha) > T(n; t + \alpha)$ в силу вогнутости вниз $S(n; t)$. Это грубое приближение. Мы нашли более близкие к истинной кривой $T_k(n; t + \alpha)$ интерполяции. Они должны удовлетворять таким требованиям: $T_k(n; t) = S(n; t)$ и $T_k(1; t + \alpha) = 1$. Начнем с интервала $\alpha \in (0,1)$ при $t = 0$. Получена такая интерполяция

$$T_2(n; \alpha) = \frac{n^{1+\alpha}}{1+\alpha} + \frac{n^\alpha}{1+\alpha} \tag{8}$$

При этом $T_2(n; \alpha) < T(n; \alpha)$. Третья приближающая функция $T_3(n; \alpha) > T(n; \alpha)$ имеет вид

$$T_3(n; \alpha) = \frac{n^{1+\alpha}}{1+\alpha} + \frac{n^\alpha}{2} - \frac{(1-\alpha)}{2(1+\alpha)} \tag{9}$$

Таким образом, мы получили вилку, дающую погрешность расчета

$$T_3(n; \alpha) > T(n; \alpha) > T_2(n; \alpha), \tag{10}$$

и приближенное значение СОАП с $0 < \alpha < 1$

$$T(n; \alpha) \approx \{T_3(n; \alpha) + T_2(n; \alpha)\}/2. \tag{11}$$

Пример.

$n = 6; \alpha = 0,5; T(6; 0,5) = 1 + \sqrt{2} + \sqrt{3} + \sqrt{4} + \sqrt{5} + \sqrt{6} \approx 10,8318; T_3(6; 0,5) \approx 10,8560; T_2(6; 0,5) \approx 10,6144$. Здесь T_3 значительно ближе к истинному значению, чем T_2 . Это наблюдается и при других n , что показывает табл. №1.

Таблица №1. Сопоставление значений функций $T(n; 0,5), T_2(n; 0,5), T_3(n; 0,5)$ при разных значениях n

n	2	5	10	20	40	70	100
$T_3(n; 0,5)$	2,42	8,40	22,49	61,69	171,65	394,45	661,50
$T(n; 0,5)$	2,41	8,38	22,46	61,66	171,61	394,42	661,46
$T_2(n; 0,5)$	2,35	8,19	22,13	61,11	170,76	393,23	660,00

Что касается следующего интервала при $t = 1$, то

$$T_2(n; 1 + \alpha) = \frac{n^{2+\alpha}}{2+\alpha} + \frac{n^{1+\alpha}}{2} + \frac{n^\alpha}{2(2+\alpha)} \tag{12}$$

$$T_3(n; 1 + \alpha) = \frac{n^{2+\alpha}}{2+\alpha} + \frac{n^{1+\alpha}}{2} + \frac{n^\alpha}{6} - \frac{1-\alpha}{3(2+\alpha)} \tag{13}$$

Расчет дает: $T_3(100; 1,5) = 39501,6; T(100; 1,5) = 39501,2; T_2(100; 1,5) = 39205,5$, т.е. $\Delta(T_3 - T)/T \approx 10^{-5}$.

Далее покажем, как строятся близкие к $T(n; t + \alpha)$ функции $T_2(n; t + \alpha)$ и $T_3(n; t + \alpha)$. Для этого берется функция $S(n; t + 1)$, первое слагаемое в ней ($n^{t+2}/(t + 2)$) заменяется на ($n^{t+1+\alpha}/(t + 1 + \alpha)$), второе слагаемое заменяется с $n^{t+1}/2$ на $n^{t+\alpha}/2$. В следующих слагаемых показатели степеней с числа s заменяются с s на $(s - 1 + \alpha)$. Коэффициенты у этих слагаемых корректируются. В случае $T_2(n; t + \alpha)$ добавляется корректирующее слагаемое $\delta(t, \alpha)$. В случае $T_3(n; t + \alpha)$ этого слагаемого нет. В качестве примера приведем такие функции к случаю $t = 2$:

$$T_2(n; 2 + \alpha) = \frac{n^{3+\alpha}}{3+\alpha} + \frac{n^{2+\alpha}}{2} + \frac{n^{1+\alpha}}{2(3-\alpha)} + \frac{\alpha-\alpha^2}{2(9-\alpha^2)}; \tag{14}$$

$$T_3(n; 2 + \alpha) = \frac{n^{3+\alpha}}{3+\alpha} + \frac{n^{2+\alpha}}{2} + \frac{n^{1+\alpha}(3+2\alpha-\alpha^2)}{2(9-\alpha^2)}. \tag{15}$$

При этом также $T_3(n; 2 + \alpha) > T(n; 2 + \alpha) > T_2(n; 2 + \alpha)$. Например, при $n = 3: T_3(3; 2,5) = 22,267; T(3; 2,5) = 22,245; T_2(3; 2,5) = 22,209$.

Список литературы

1. Дружинин В.В., Лазарев А.А. НТВП, №2, 9-11, 2016.
2. Сизый С.В. Лекции по теории чисел, М. ФИЗМАТГИЗ, 2007.
3. Позняков С. Н. и Рыбин С. В. Дискретная математика. М., Академия, 2008.
4. Dicson L.E. History of the Theory of Numbers, v. II, СРС, New York, 1971.
5. Корн. Г., Корн. Т. Справочник по математике, Наука, ГРФМЛ, М., 1974.стр. 31, 135.
6. Градштейн И.С., Рыжик И.М. Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений. ГИФМЛ, Москва, 1962. Стр. 15-16.
7. Краткий физико-технический справочник. под. ред. К.П. Яковлева, ГИФМЛ, м., 1969. Стр.9.

01.01.04

¹В.Г. Шармин к.ф.-м.н., ²Т.Н. Шармина к.ф.-м.н.

ФГБОУ ВО «Тюменский государственный университет»,

Институт математики и компьютерных наук,

¹кафедра алгебры и математической логики, доцент,²кафедра математики и информатики,

Тюмень, sharmin@utmn.ru tnsarmina@bk.ru

ОБ ОДНОМ СВОЙСТВЕ L - ПОЛЯРНЫХ ГИПЕРПОВЕРХНОСТЕЙ

В работе рассматриваются свойства гиперповерхностей в евклидовом пространстве E^{n+1} . Получена формула, связывающая кривизны Гаусса-Кронекера гиперповерхностей, полярных относительно некоторых квадрик.

Ключевые слова: *гиперповерхность, поляритет, квадрика, кривизна Гаусса-Кронекера.*

В работе [1, с. 369] установлено, что кривизны Гаусса-Кронекера K и K^* взаимно полярных гиперповерхностей в E^{n+1} относительно некоторой гиперсферы S^n удовлетворяют равенству:

$$K \cdot K^* |\vec{X}|^{n+2} \cdot |\vec{X}^*|^{n+2} = 1, \quad (1)$$

где $|\vec{X}|, |\vec{X}^*|$ - радиус-векторы этих гиперповерхностей.

В статье [2, с.36] доказана формула, связывающая гауссову кривизну двумерной поверхности в E^{n+2} с гауссовой кривизной ее сферического образа.

В настоящей статье изучаются свойства L -полярных гиперповерхностей относительно многомерных параболоидов.

1. Поляритет и преобразование Лежандра в E^{n+1} .

В пространстве E^{n+1} рассмотрим полярное преобразование L относительно квадрики

$$2 \cdot x_{n+1} = \sum_{i=1}^n x_i^2. \quad (2)$$

Полярной $\Lambda(M)$ точки $M(X_1, X_2, \dots, X_n, X_{n+1})$, принадлежащей E^{n+1} , является гиперплоскость α :

$$X_1 x_1 + \dots + X_n x_n = X_{n+1} + x_{n+1}. \quad (3)$$

Полюсом гиперплоскости α , заданной уравнением

$$x_{n+1} = \sum_{i=1}^n a_i x_i + C, \quad (4)$$

будет точка $(a_1, a_2, \dots, a_n, -C)$.

При преобразовании L , как и при всех поляритетах, сохраняется отношение инцидентности точек и k -плоскостей.

Рассмотрим C^3 -регулярную гиперповерхность в E^{n+1} , заданную уравнением

$$x_{n+1} = f(x_1, x_2, \dots, x_n), \quad (5)$$

где $(x_1, x_2, \dots, x_n) \in G$ - области на гиперплоскости $x_{n+1} = 0$. Пусть кривизна Гаусса-Кронекера K гиперповерхности F^n отлична от нуля, т.е.

$$\det\left(\frac{\partial^2 f}{\partial x_i \partial x_j}\right) \neq 0. \quad (6)$$

Преобразование Лежандра L [3, с.30] ставит в соответствие точке $M(x_1, x_2, \dots, x_n, f(x_1, x_2, \dots, x_n)) \in F^n$ полюс касательной гиперплоскости $T_M F^n$ гиперповерхности F^n в этой точке относительно поляритета L , т.е. точку, имеющую координаты

$$X_i = \frac{\partial f}{\partial x_i} (i=1, \dots, n), X_{n+1} = \sum_{i=1}^n \frac{\partial f}{\partial x_i} x_i - f(x_1, x_2, \dots, x_n). \tag{7}$$

Преобразование Лежандра L переводит гиперповерхность F^n в гиперповерхность F^{n*} , точками которой являются точки $M^*(X_1, X_2, \dots, X_n, X_{n+1}) = L(M)$, где $M \in F^n$. Равенства (7) есть параметрические уравнения гиперповерхности F^{n*} . Из условия (6) следует, что гиперповерхность F^{n*} является C^2 -регулярной.

В дальнейшем гиперповерхности F^n и F^{n*} , следуя работе [3, с.31], будем называть L -полярными.

2. Основной результат.

Рассмотрим C^3 -регулярную гиперповерхность (5), кривизна Гаусса-Кронекера K которой отлична от нуля. Вычислим кривизну Гаусса-Кронекера K^* полярной гиперповерхности (7).

Предварительно введем обозначения:

$$\frac{\partial f}{\partial x_i} = f_i, \frac{\partial^2 f}{\partial x_i \partial x_j} = f_{ij}.$$

Коэффициенты первой квадратичной формы гиперповерхности F^{n*} будут равны

$$g_{ij}^* = \sum_{k=1}^n f_{ik} f_{jk} + \sum_{p,q=1}^n x_p x_q f_{ip} f_{jq}. \tag{8}$$

Вычисляя $\det((g_{ij}^*))$, получим

$$\det((g_{ij}^*)) = \left(1 + \sum_{m=1}^n x_m^2\right) \begin{vmatrix} f_{11} & \dots & f_{1n} \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ f_{n1} & \dots & f_{nn} \end{vmatrix}^2. \tag{9}$$

Коэффициенты второй квадратичной формы b_{ij}^* гиперповерхности F^{n*} равны:

$$b_{ij}^* = \frac{(-1)^{n+2} f_{ij}}{\sqrt{1 + \sum_{m=1}^n x_m^2}}. \tag{10}$$

Найдем $\det((b_{ij}^*))$:

$$\det((b_{ij}^*)) = \left(\frac{(-1)^{n+2}}{\sqrt{1 + \sum_{m=1}^n x_m^2}}\right)^n \det((f_{ij})). \tag{11}$$

Вычислим кривизну Гаусса-Кронекера K^* гиперповерхности F^{n*} , используя (9) и (11):

$$\begin{aligned} K^* &= \frac{\det((b_{ij}^*))}{\det((g_{ij}^*))} = \frac{(-1)^{n^2+2n} \det((f_{ij}))}{\left(\sqrt{1 + \sum_{m=1}^n x_m^2}\right)^n (\det((f_{ij})))^2 (1 + \sum_{m=1}^n x_m^2)} = \\ &= \frac{(-1)^{n^2+2n}}{\det((f_{ij}))(1 + \sum_{m=1}^n x_m^2)^{\frac{n+2}{2}}}. \end{aligned} \tag{12}$$

Так как кривизна Гаусса-Кронекера K гиперповерхности F^n равна

$$K = \frac{\det((f_{ij}))}{(1 + f_1^2 + f_2^2 + \dots + f_n^2)^2}, \tag{13}$$

то получаем

$$K^* = \frac{(-1)^{n^2+2n}}{(1 + \sum_{m=1}^n x_m^2)^{\frac{n+2}{2}} \cdot K \cdot (1 + \sum_{m=1}^n f_m^2)^2}. \tag{14}$$

Окончательно имеем:

$$K^* \cdot K \cdot \left(1 + \sum_{m=1}^n x_m^2\right)^{\frac{n+2}{2}} \cdot \left(1 + \sum_{m=1}^n f_m^2\right)^2 = (-1)^{n^2+2n}. \quad (15)$$

Таким образом, доказана следующая теорема.

ТЕОРЕМА 1. Пусть S^3 -регулярная гиперповерхность F^n задана явно $x_{n+1} = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$. Кривизна Гаусса-Кронекера этой гиперповерхности отлична от нуля. Тогда кривизны Гаусса-Кронекера K и K^* L -полярных гиперповерхностей F^n и F^{n^*} удовлетворяют условию (15).

Пусть в точке $M \in F^n$ p главных кривизн положительны, а q главных кривизн отрицательны. Типом седлообразности гиперповерхности F^n в точке M называется пара (p, q) [4, с.95].

В силу условия (6) и формулы (15) для L -полярных гиперповерхностей F^n и F^{n^*} $p + q = n$.

СЛЕДСТВИЕ 1. Если гиперповерхность F^n имеет тип седлообразности $(n, 0)$, то при нечетном n гиперповерхность F^{n^*} имеет тип седлообразности $(0, n)$.

СЛЕДСТВИЕ 2. Если гиперповерхность F^3 четырехмерного евклидова пространства имеет тип седлообразности $(2, 1)$, то гиперповерхность F^{3^*} имеет тип седлообразности $(1, 2)$ при нечетном n , при четном n тип седлообразности сохраняется.

Доказательство следует из формулы (15) и того факта, что гиперповерхности F^n и F^{n^*} одновременно являются локально выпуклыми или седловыми [3, с. 31; 4, с. 95].

ТЕОРЕМА 2. При поляритете относительно квадратики

$$2 \cdot x_{n+1} = \sum_{i=1}^k x_i^2 + \sum_{i=k+1}^n (-1)x_i^2 \quad (16)$$

кривизны Гаусса-Кронекера K и K^* L -полярных гиперповерхностей F^n и F^{n^*} удовлетворяют следующему условию

$$K^* \cdot K \cdot \left(1 + \sum_{m=1}^n x_m^2\right)^{\frac{n+2}{2}} \cdot \left(1 + \sum_{m=1}^n f_m^2\right)^2 = (-1)^{2n^2+2n-kn}. \quad (17)$$

Доказательство теоремы 2 не отличается от доказательства теоремы 1.

СЛЕДСТВИЕ 3. Если гиперповерхность F^n имеет тип седлообразности $(n, 0)$, то при нечетных n и k гиперповерхность F^{n^*} имеет тип седлообразности $(n, 0)$.

СЛЕДСТВИЕ 4. Если гиперповерхность F^3 четырехмерного евклидова пространства имеет тип седлообразности $(2, 1)$, то гиперповерхность F^{3^*} имеет тип седлообразности $(1, 2)$ при нечетных n и k , в других случаях тип седлообразности сохраняется.

Список литературы

1. *Guggenheimer, H.* Applications of the polarity / H. Guggenheimer // *Annali di Matematica Pura ed Applicata.* - 1975. - vol. 102. - P. 369-383.
2. *Шармина, Т.Н.* Связь гауссовой кривизны двумерной поверхности в $(n+2)$ -мерном евклидовом пространстве с гауссовой кривизной ее сферического образа / Т.Н. Шармина, В.Г. Шармин // *Альманах современной науки и образования. Научно-теоретический и прикладной журнал широкого профиля.* Тамбов: Изд-во «Грамота», 2010. - №1(32).-Часть 1.- С. 33-36.
3. *Вернер, А.Л.* Зависимость свойств взаимно полярных следовых поверхностей / А.Л. Вернер // *Украинский геометрический сборник.* -1979. - Вып.22. - С.29-35.
4. *Шармин, В.Г.* Замкнутые невыпуклые гиперповерхности с биективным сферическим отображением в E^4 / В.Г. Шармин // *Глобальная и риманова геометрия. Межвузовский сборник научных трудов.* Ленинград, Изд-во ЛГПИ им. А.И. Герцена, 1983. – С. 92-97.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ (05.02.00)

05.02.00

О.Ю. Богомолова, М.П. Данилаев д.т.н.

Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева – КАИ (КНИТУ-КАИ),
Казань, oyubogomolova@kai.ru, danilaev@mail.ru

**ПАРАМЕТРЫ ТЕЧЕНИЯ МНОГОФАЗНЫХ ГАЗОВЫХ ПОТОКОВ В ЗАДАЧЕ
КАПСУЛИРОВАНИЯ СУБМИКРОННЫХ ЧАСТИЦ ПОЛИМЕРОМ**

В работе формализованы требования к параметрам течения многофазных газовых потоков, при которых осуществляется капсулирование субмикронных частиц полимером. Экспериментальные исследования подтвердили формирование сплошной полимерной оболочки при параметрах течения потоков, удовлетворяющих требованиям.

Ключевые слова: *многофазные газовые потоки, число Рейнольдса, капсулирование, субмикронные частицы.*

При производстве полимерных композиционных материалов (ПКМ), наполненных субмикронными частицами, остро стоит проблема обеспечения воспроизводимости свойств (например, механических) таких материалов. Известно, что на воспроизводимость свойств дисперснонаполненных ПКМ влияет однородность распределения субмикронных частиц наполнителя [1]. Один из методов повышения однородности распределения субмикронных частиц (СЧ) наполнителя, заключается в повышении смачиваемости этих частиц полимером матрицы за счет формирования полимерной оболочки на поверхности этих частиц [2]. К формируемой полимерной оболочке субмикронных частиц предъявляется ряд требований, основными из которых являются ее сплошность и равномерность требуемой толщины [3]. Обеспечить контроль требуемой толщины и равномерности полимерной оболочки возможно путем ее формирования в многофазных газовых потоках (МГП) [3] в установке замкнутого типа. Для создания экспериментальной установки с газодинамическим трактом замкнутого типа с учетом возможности ее масштабирования необходимо определить требования к параметрам течения МГП, при которых формируется сплошная оболочка на поверхностях СЧ.

Целью работы является формализация требований к параметрам течения многофазных газовых потоков при капсулировании субмикронных частиц полимером.

Капсулирование СЧ полимером в МГП основано на осаждении мелкодисперсных капель мономера на СЧ при смешении двух МГП с последующей полимеризацией осажденного мономера [2]. Для диспергирования агломератов СЧ и капель мономера, а также для увеличения вероятности неупругих столкновений, СЧ и капли мономера заряжаются противоположными по знаку зарядами в поле коронного разряда. Полимеризация осажденного мономера инициируется ультрафиолетовым (УФ) излучением. После полимеризации полученные капсулы отделяются от газового потока.

Поскольку основным параметром течения газовых сред является число Рейнольдса (Re), получим оценки этого числа на каждом этапе формирования полимерной оболочки на поверхностях СЧ. Оценки будем проводить при следующих допущениях:

- 1) не учитываем влияние коронного разряда на течение МГП на этапе заряда и диспергирования частиц;
- 2) рассматриваем средние поступательные скорости движения многофазных сред на каждом этапе процесса капсулирования;
- 3) расчет вязкости $\eta_{\text{МП}}$ МГП проводим по формуле [4]:

$$\eta_{\text{МП}} = \eta_{\text{Г}}(1 + 2.5(1 - \varphi) + 6(1 - \varphi)^2), \quad (1)$$

где $\eta_{\text{Г}}$ – вязкость газа-носителя, φ – объемное содержание дисперсной фазы (СЧ или капель мономера).

Для газов динамическая вязкость прямо пропорциональна плотности [5], поэтому примем, что отношение вязкости чистого газа и вязкости многофазного потока будет иметь такой же порядок, как отношение плотности чистого газа (ρ_{Γ}) и плотности многофазного потока ($\rho_{\text{мп}}$):

$$\frac{\eta_{\Gamma}}{\eta_{\text{мп}}} \sim \frac{\rho_{\Gamma}}{\rho_{\text{мп}}} \quad (2)$$

Тип течения (турбулентный или ламинарный) на каждом этапе процесса капсулирования определяется эффективностью протекающих процессов [2]. На всех этапах, кроме этапа отделения капсулированных частиц от газового потока, режим течения многофазных сред должен быть турбулентным. Так, например, для повышения эффективности заряд частиц осуществляется в разрядной камере типа «игла-плоскость» [6]. Частицы эффективно заряжаются вблизи коронирующего (игольчатого) электрода. Турбулентность течения на этом этапе будет способствовать повышению числа частиц, проходящих вблизи коронирующего электрода. Турбулентность течения многофазной среды на этапе полимеризации позволяет обеспечить равномерность воздействия УФ излучения на все частицы, что необходимо для формирования сплошной полимерной оболочки, а также увеличении выхода капсулированных частиц. На этапе отделения капсулированных частиц от несущего газа требуется обеспечить ламинарное течение многофазной среды для обеспечения приемлемой эффективности сепарации [7].

Известно, что характерное значение критического числа Рейнольдса для МГП СЧ, близко к критическому числу Рейнольдса для газов и составляет $Re_{\text{кр}} \sim 2500$. На этапах с турбулентным течением многофазных сред верхняя граница чисел Рейнольдса будет определяться характерными средними значениями скоростей течений при заданных сечениях газодинамического тракта (табл.1). Характерные средние значения скоростей течений на соответствующих этапах определяются характерными временами: на этапе заряда частиц – временем заряда частиц τ_3 ; на этапе смешения – временем смешения; на этапе полимеризации – временем $\tau_{\text{пол}}$ полимеризации оболочки на поверхностях СЧ; на этапе отделения – временем отделения капсулированных частиц.

Таблица 1 - Диапазоны чисел Рейнольдса на этапах капсулирования

Этап	Диапазон чисел Рейнольдса
Заряд и диспергирование частиц	$2500 \leq Re_1 \leq \frac{\rho_{\text{мп}} D_{\Gamma} \cdot L_{\text{рк}}}{\eta_{\text{мп}} \tau_3}$
Смешение двух многофазных потоков	$2500 \leq Re_2 \leq \frac{\rho_{\text{см}} D_{\Gamma} V_{\text{кр}}}{\eta_{\text{см}}}$
Полимеризация оболочки на поверхностях СЧ	$2500 \leq Re_3 \leq \frac{\rho_{\text{см}} D_{\Gamma} \cdot L_{\text{пол}}}{\eta_{\text{см}} \tau_{\text{пол}}}$
Сепарация капсулированных частиц от газа-носителя	$\frac{\rho_{\text{см}} D_{\Gamma} V_{\text{сеп.мин}}}{\eta_{\text{см}}} \leq Re_4 \leq \frac{\rho_{\text{см}} D_{\Gamma} V_{\text{сеп.макс}}}{\eta_{\text{см}}}$

Здесь D_{Γ} - гидравлический диаметр канала, по которому протекает двухфазный поток, содержащий мономер (СЧ); $L_{\text{рк}}$ - длина разрядной камеры; $V_{\text{кр}}$ - критическое значение скорости МГП, при котором осаждение мелкодисперсных капель мономера на СЧ происходит в зоне смешения; $\rho_{\text{см(мп)}}$ и $\eta_{\text{см(мп)}}$ - плотность и вязкость смешанного МГП (мп - многофазных потоков до смешения); $L_{\text{пол}}$ - длина камеры полимеризации; $V_{\text{сеп.мин}}$ и $V_{\text{сеп.макс}}$ - минимальная и максимальная скорости, при которых конкретное устройство сепарации позволяет эффективно отделять капсулированные субмикронные частицы от газового потока.

Для подтверждения полученных оценок проводились экспериментальные исследования по схеме, приведенной в работе [2]. В экспериментах использовались СЧ оксида цинка ZnO, мономер стирол C_8H_8 и газ-носитель аргон Ar. Устройства дозирования, использованные в экспериментах, работали по принципу струйных насосов. Производительности устройств дозирования для мономера и СЧ в эксперименте составили 2,51 г/с и 0,167 г/с соответственно, производительности определены с помощью весов (с точностью 0,001 г) и секундомера (с точностью 0,1с). В процессе экспериментов измерялась средняя скорость течения МГП на различных этапах процесса капсулирования многофункциональным

измерительным прибором Testo 435-1 (точность измерения 0,01 м/с).

На основании измерений скорости течения и параметров (плотности и вязкости) МГП были получены значения Re для каждого этапа капсулирования. Полученные значения сведены в табл.2.

Таблица 2 - Экспериментально полученные значения чисел Рейнольдса

Этап процесса капсулирования	Re (погрешность ~10%)
Заряд и диспергирование (мон.; СЧ)	$0,6 \cdot 10^4; 1,9 \cdot 10^4$
Смешение	$1,3 \cdot 10^4$
Полимеризация	$1,6 \cdot 10^4$
Сепарация	$1,6 \cdot 10^4$

Полученные в экспериментах значения Re входят в диапазоны (табл.1) для выбранных частиц и режима работы экспериментальной установки. Следует отметить, что полученные режимы течения многофазных сред позволили получить сплошную полистирольную оболочку на поверхностях СЧ оксида цинка [8].

Формирование сплошной оболочки определялось по сигналу, соответствующему углероду на Оже-электронных спектрах, оценка толщины оболочки осуществлялась по соотношению амплитуд сигналов от углерода и от основного элемента СЧ (Zn) [9]. Анализ интенсивностей сигналов, соответствующих углероду и цинку на Оже-электронных спектрах показал, что на всех исследуемых частицах зафиксирована полимерная оболочка, толщина которой составила ~10 нм.

Вывод: определены требования к числам Рейнольдса для многофазных газовых потоков на всех этапах процесса капсулирования, при которых возможно формирование сплошной полимерной оболочки на субмикронных частицах. Проведенные экспериментальные исследования подтвердили, что параметры течения из полученных диапазонов обеспечивают формирование сплошной полимерной оболочки равномерной толщины на субмикронных частицах.

Работа выполнена при поддержке задания №11.34.214/К на выполнение государственных работ в сфере научной деятельности в рамках проектной части государственного задания Минобрнауки России, заявки № 16-43- 02001 РНФ и Фонда (Фонд содействия инновациям) содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере (конкурс УМНИК-1- 13-П, договор №002218).

Список литературы

1. Чмутин И.А., Рвыкина Н.Г., Дубникова И.Л. и др., Контроль однородности распределения наночастиц в полимерной матрице // Нанотехнологии - производству - 2007. Тезисы, Фрязино, 2007 с. 229-234.
2. Данилаев М.П., Богомолова О.Ю., Богослов Е.А., Михайлов С.А., Польский Ю.Е., Пашин Д.М. Капсулирование полимером субмикронных частиц// Российские нанотехнологии. 2014. Т.9, выпуск 11-12. с. 41-44.
3. Богомолова О. Ю., М. П. Данилаев, Ю. Е. Польский. Формирование сплошной полимерной оболочки вокруг субмикронных частиц // «Вестник КГТУ им. А.Н.Туполева». №4 с.68-73 (2014).
4. Рудяк В.Я. Статистическая аэрогидромеханика гомогенных и гетерогенных сред. Т. 2. Гидромеханика. Новосибирск: Наука, 2005. 468 с.
5. Голубев И.Ф. Вязкость газов и газовых смесей – М.: Физматгиз, 1959. 375 с.
6. Верещагин И.П. Коронный разряд в аппаратах электроионной технологии. М. Энергоатомиздат. 1985. - 157 с.
7. Ужов, В.Н. Очистка промышленных газов электрофильтрами / В.Н. Ужов. — М.: Химия, 1967. — 344 с.
8. Богомолова О.Ю., Данилаев М.П., Зуева Е.М., Польский Ю.Е. Условие формирования сплошной полимерной оболочки на поверхности субмикронных частиц в многофазных газовых потоках // Вестник технологического университета. - 2015. - Т.18, №6, - с. 49-53.
9. Зандерна А. Методы анализа поверхностей: Пер. с англ. — М.: Мир, 1979. 582 с.

05.02.13

А.П. Буйносов д.т.н., И.В. УмылинУральский государственный университет путей сообщения,
кафедра «Электрическая тяга», Екатеринбург, buynosov@mail.ru, uvil333@mail.ru**О РАЗРАБОТКЕ ОГРАНИЧИТЕЛЯ ТОКА ЗАРЯДКИ
АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ НА ЭЛЕКТРОПОЕЗДАХ**

В статье рассматриваются наиболее значимые условия работы аккумуляторных батарей, новая перспективная разработка, найден путь решения проблемы по ограничению тока зарядки аккумуляторных батарей на электропоездах постоянного тока.

Ключевые слова: *электропоезд, аккумуляторная батарея, схема, зарядка, ток, ограничитель, разработка.*

На сети железных дорог Российской Федерации эксплуатируются различные серии моторвагонного подвижного состава (МВПС). По данным на 01.01.2016 г. в регулярной эксплуатации на железных дорогах России находятся электропоезда [1]: 28 составов ЭТ2 (1999 г. – последний год выпуска); 122 состава ЭТ2М (2010 г. – последний год выпуска); 13 составов ЭТ2Р (2002 г. – последний год выпуска); 78 составов ЭД2Т (1999 г. – последний год выпуска).

Из анализа эксплуатации электропоездов указанных серий установлено, что аккумуляторные батареи (АБ) выходят из строя раньше заложенного ресурса, предусмотренного заводом-изготовителем. Основными причинами преждевременного выхода из строя АБ являются: большие уравнительные токи между АБ на электропоезде ЭТ2, возникающие при параллельном соединении через поездные провода 16 и 30 [2]; отсутствие в электрических схемах зарядки АБ, устройств ограничивающих ток заряда с возможностью его автоматического контроля за счет применения обратной связи по току зарядки; параллельно-последовательное включение аккумуляторов АБ в режиме заряда на (электропоезд ЭТ2) [3]. Поэтому целью исследований является разработка ограничителя тока заряда (ОТ) АБ на электропоезде ЭТ2. Для того чтобы исключить влияние вышеперечисленных негативных факторов на эксплуатацию аккумуляторных батарей 90НК55 и тем самым увеличить их срок службы.

Анализ задач, которые необходимо решить путем разработки и внедрения ОТ, дает определенный перечень критериев. От внедрения нового устройства требуется: внесение наименьшего количества изменений; сохранение существующих электрических связей; возможно наименьшие масса-габаритные показатели; стабилизация зарядного тока; устранение уравнительных токов при параллельной работе аккумуляторных батарей в режиме разряда; автоматизация. Наиболее удовлетворяет перечисленным критериям зарядное устройство на основе повышающего импульсного DC/DC конвертора [3].

Схема повышающего напряжения регулятора, показана на рис. 1.

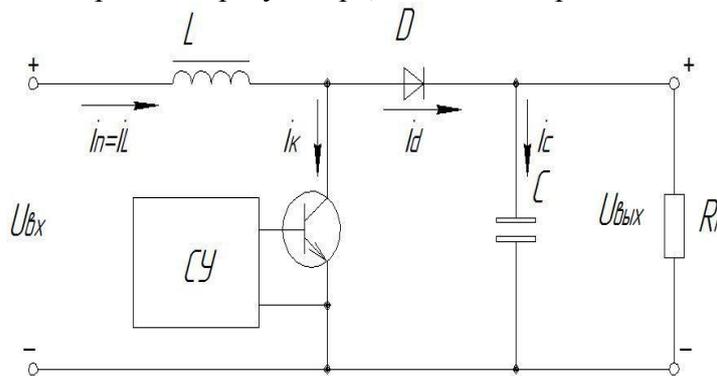


Рис. 1. Схема повышающего напряжения регулятора

Транзистор T – ключ управляется импульсами от схемы управления (СУ), диод D дает возможность прохождения тока дросселя i_L после запираания транзистора. Конденсатор,

образует импеданс источника постоянного напряжения $U_{вх}$, который считаем достаточно малым, как на низких, так и на высоких частотах. Конденсатор C на схеме рис. 1 добавлен для улучшения фильтрации напряжения на нагрузке R .

При начальном анализе схемы примем допущения, которые помогут как упростить получаемые выражения, так и более наглядно представить результаты. Будем считать ключ и диод безинерционными приборами с идеальными статическими ключевыми свойствами. Конденсатор C полагаем неограниченной емкости, поэтому можно считать пульсации напряжения на нагрузке пренебрежимо малыми. И дроссель, и конденсатор считаем линейными элементами, в которых нет потерь.

Полагаем, что транзистор работает в режиме широтно-импульсной модуляции (ШИМ): он находится в состоянии «ON» в течение времени $t_{и}$ периода T , и это время изменяется сигналом от СУ. В дальнейшем мы будем использовать параметр $D = t_{и}/T$, называемый коэффициентом заполнения импульсов, который характеризует управляющий сигнал, изменяющий режим работы ИРН. Данная схема, как и все импульсные регуляторы напряжения, может работать в двух- или трехинтегральном режиме. В первом случае имеют место следующие интервалы работы схемы за период: 1) импульс ($t_{и}$): $K - ON$; диод $D - OFF$; 2) пауза ($t_{п} = T - t_{и}$): $K - OFF$; $D - ON$.

Режим работы, при котором ток в дросселе не принимает нулевых значений за период T , принято называть режимом непрерывного тока в дросселе (НТ). В трехинтервальном режиме интервалы работы следующие: 1) импульс ($t_{и}$): $K - ON$; $D - OFF$; 2) пауза ($t_{п}$): $K - OFF$; $D - ON$. 3) отсечка ($t_{отс}$): $K - OFF$; $D - OFF$.

Последний режим принято называть режимом прерывистого тока в дросселе (режимом ПТ).

Стремление снизить размеры и стоимость L и C , образующих сглаживающий фильтр, приводит к необходимости использовать режим НТ. К тому же ключ и диод в этом режиме испытывают меньшие токовые нагрузки, чем в режиме ПТ. Дальнейший анализ будет проведен для режима НТ.

При принятых допущениях ток в индуктивности изменяется как в интервале $t_{и}$ так и в интервале $t_{п}$. Диаграммы, поясняющие работу схемы в периодическом режиме, показаны на рис. 2.

Ток в ключе повторяет форму тока в дросселе в интервале импульса, ток в диоде – в интервале паузы. Приращение тока в дросселе и ключе обозначено как Δi , среднее значение тока в дросселе I_L равно постоянному току в нагрузке ($I_L = I_n$), поскольку переменная составляющая этого тока проходит через конденсатор C .

Импульсное напряжение на ключе имеет амплитуду $U_{вх}$, такое же максимальное напряжение на запертом диоде, но оно имеет отрицательное значение. Напряжение на дросселе импульсное, причем среднее значение его за период равно нулю. Равенство нулю среднего напряжения на обмотке дросселя, как и на любой обмотке трансформатора в периодическом режиме, является исключительно важным и часто используется при анализе электронных устройств, работающих в импульсном режиме.

Для дросселя справедливо соотношение

$$di_L = \frac{1}{L} u_L dt \quad (1)$$

Из (1) следует что приращение тока i_L за период T равно:

$$\Delta i_{L_T} = \frac{1}{L} \int_0^T u_L dt \quad (2)$$

В периодическом режиме $\Delta i_{L_T} = 0$ и, следовательно,

$$\int_0^T u_L dt = 0. \quad (3)$$

Последнее равенство как раз и означает, что среднее (постоянное) напряжение на дросселе за период равно нулю.

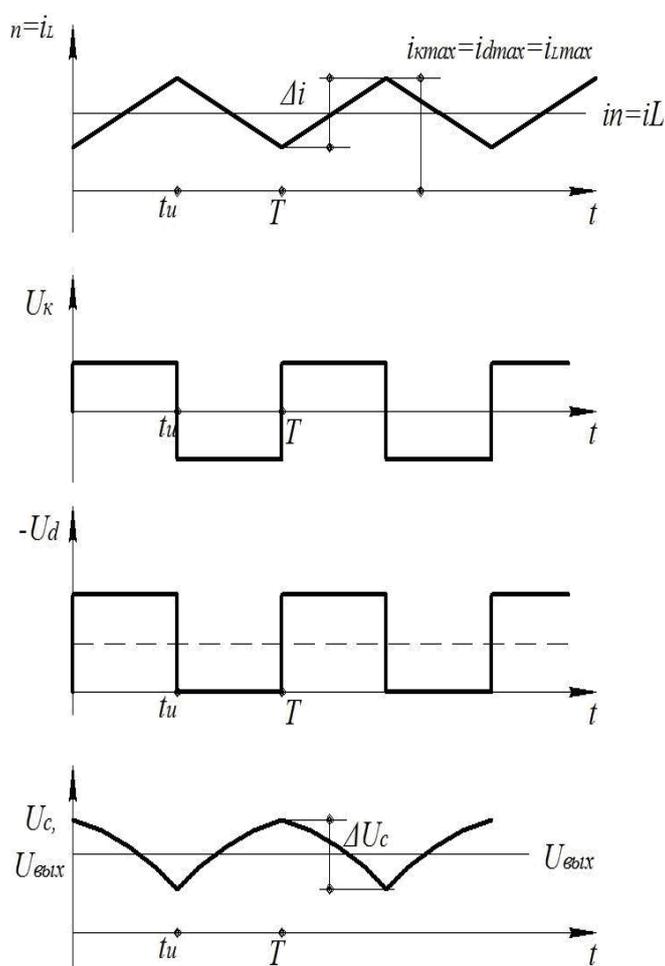


Рисунок 2 – Диаграммы работы схемы

Переменная составляющая напряжения на конденсаторе и на нагрузке показана на рис. 2 и укрупненном масштабе, поскольку принятое ранее допущение о бесконечно большой емкости означает, что эта составляющая отсутствует.

Для исследования схемы повышающего напряжения регулятора необходимо составить модель зарядного устройства, в основе которого заложена схема повышающего регулятора напряжения со стабилизацией тока заряда.

Разработка ОТ для АБ на электропоезде постоянного тока позволит продлить срок службы аккумуляторных батарей и сократить расходы, связанные с заменой и покупкой новых аккумуляторов при выполнении деповских ремонтов.

Список литературы

1. Буйносов А.П., Умылин И.В. Триботехнические составы, их применение для повышения износостойкости пар трения // Научно-технический вестник Поволжья. – 2016. – № 2. – С. 51–53.
2. Буйносов А.П. Методы повышения ресурса бандажей колесных пар тягового подвижного состава: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Уральский государственный университет путей сообщения. Екатеринбург, 2011. – 344 с.
3. Буйносов А.П. «Ремонт» без прекращения эксплуатации // Инструмент. – 1996. – № 3. – С. 13–14.

05.02.22

Г.Е. Кокиева

Федеральное агентство связи
Бурятский институт инфокоммуникации (филиал) федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения высшего образования
«Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики»
в г. Улан-Удэ, kokievagalia@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ РОСТА МИКРОБНЫХ КЛЕТОК ОТ КОНЦЕНТРАЦИИ БИОМАССЫ В ПРОЦЕССЕ ПОЛУЧЕНИЯ КОРМОВЫХ ДРОЖЖЕЙ

Проведены исследования в области переработки отходов сельского хозяйства. Исследована зависимость роста микробных клеток от концентрации биомассы в процессе получения кормовых дрожжей. Установлено, что если продукт связан с ростом культуры, то его количество прямо пропорционально образованной биомассе. Образовавшаяся биомасса за определенное количество времени будет являться производительностью ферментатора, которая определяется как произведение удельной скорости роста и концентрации клеток.

Ключевые слова: *рост микроорганизмов, микробная клетка, кормовые дрожжи, технология производства.*

Введение. Большие успехи достигнуты в ходе экспериментальных исследований в области получения кормового белка в процессе микробного синтеза. Данное направление микробного синтеза получило название производства одноклеточного белка, так как большая часть микроорганизмов, которые используются для данных целей, растут не как сложные многоклеточные организмы (растения или животные).

В настоящее время идут бурные разработки в области переработки сельскохозяйственной продукции. Среди них наиболее распространенной является переработка картофеля. Любимый всеми овощ содержит столько питательных веществ и витаминов, сколько необходимо для построения белков и обеспечения нормальной жизнедеятельности человеческого организма. Ведутся работы в области протекающих процессов в оборудовании, в частности в ферментаторе. Исследуются зависимости роста микробных клеток от концентрации биомассы в процессе получения кормовых дрожжей.

Цель исследования: разработать новый способ приготовления кормовых дрожжей и привести валовую общую скорость роста микробных клеток;

Задачи исследования:

-описать технологию получения кормового белка и привести общую скорость роста микробных клеток;

Методы исследования. Объектом исследований служили технология приготовления кормовых дрожжей, питательные среды (сок шиповника, картофельный сок, раствор хвои) и посевной материал (*Sacharomyces vini Muscat* и *Candida utilis*).

Комплекс исследований по подбору питательной среды на двух стадиях роста, выбор оптимальных условий аэробного культивирования кормовых дрожжей проводили в лабораторных условиях на качалочных колбах и в лабораторном аппарате с механическим перемешиванием, аэрацией, регулированием процесса культивирования.

Получение кормовых дрожжей предусматривалось выполнением трёх основных этапов:

- получение посевного материала;
- подготовка питательной среды;
- культивирование микроорганизмов;

На первом этапе предусматривается получение винных дрожжей. На второй стадии отработанную культуральную жидкость разбавляем водой в два раза, вводим минеральные

соли и настоянный на воде раствор хвои ели и разводку дрожжей *Candida Utilis*.

Также вносим в питательную среду следующие питательные соли, г/дм³: Kh_2PO_4 - 1,56; $MgSO_4$ - 0,62 и настой хвои, приготовленной по специальной технологии [1].

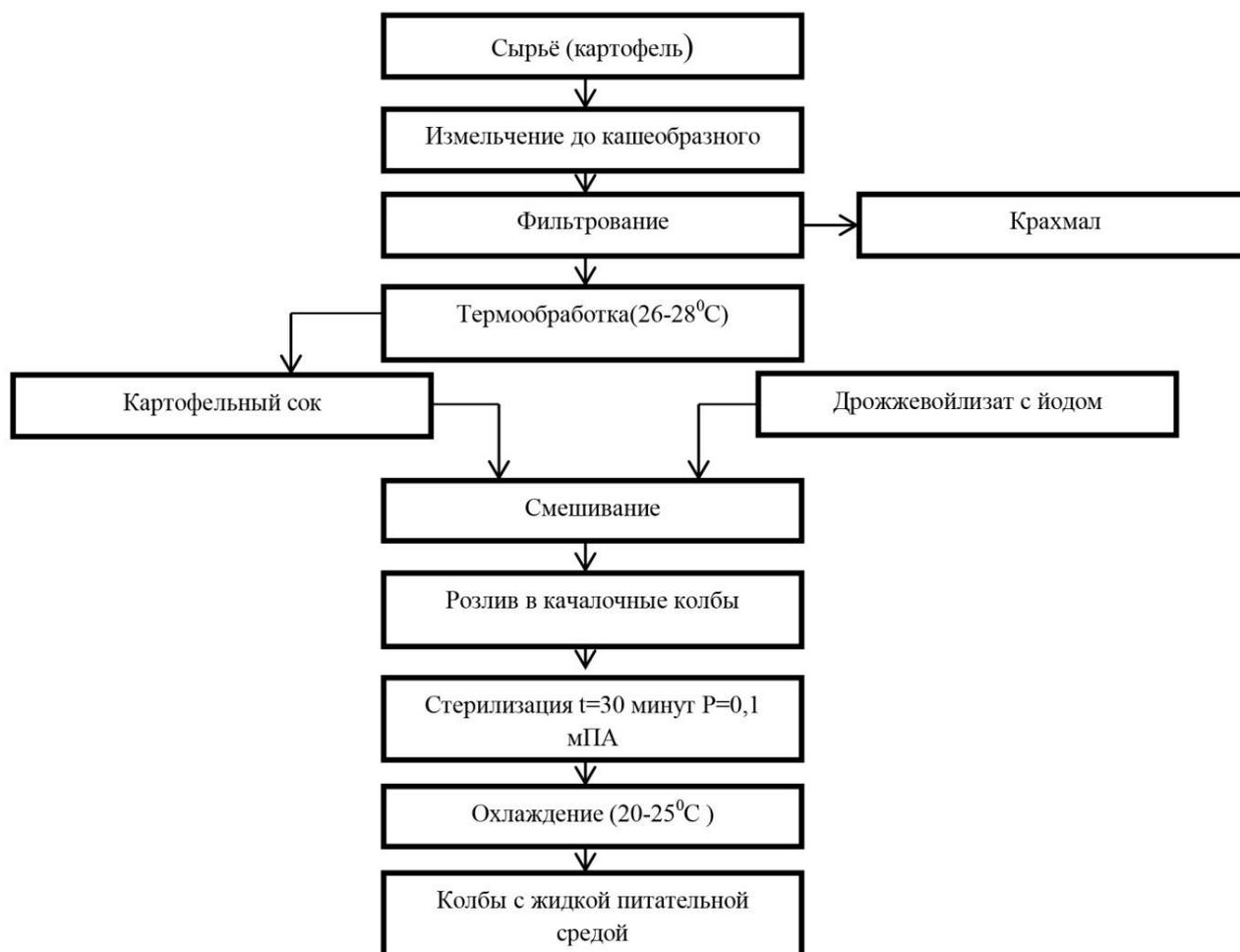


Схема 1. Технологическая схема подготовки питательной среды на картофельном соке

Таким образом, питательная среда для культивирования дрожжей, содержащая натуральный сок из некондиционного или выжимок ягод шиповника, обогащает дрожжи комплексом витаминов, пектинов, биологически активными веществами, что улучшает качество готового продукта, придает ему лечебно-профилактические свойства (схема 1).

Добавление раствора, содержащего элементы хвои, проходит в несколько стадийных операций (схема 2).

Результат и обсуждение. В процессе экспериментальных исследований были получены следующие данные.

Валовую общую скорость роста микробных клеток определяем по отношению абсолютного прироста биомассы за единицу времени:

$$H_v = H_{vk} \frac{C}{C_1 + C}, \quad (1)$$

Где H_v - скорость роста;

H_v - максимальная скорость роста, достигаемая при повышении концентрации питательного вещества;

C - концентрация лимитирующего питательного вещества;

C_1 - величина, при которой $H_v = \frac{1}{2} H_{vk}$

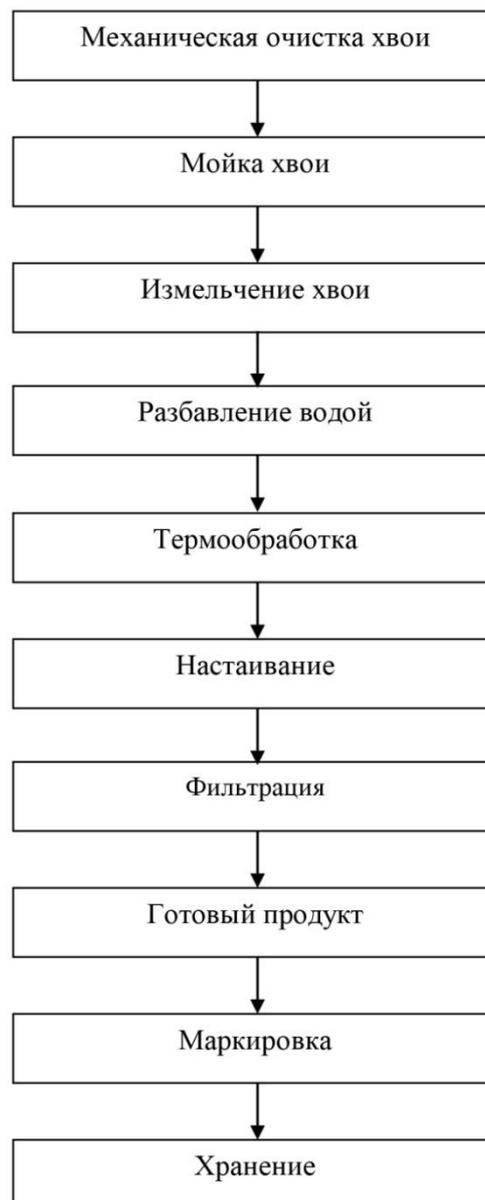


Схема 2. Предлагаемая технология приготовления настоя хвои

Вывод. Разработан и описан способ приготовления кормовых дрожжей, по результатам исследований приведена общая валовая скорость роста микробных клеток. Если продукт связан с ростом культуры, то его количество прямо пропорционально образованной биомассе. Образовавшаяся биомасса за определенное количество времени будет являться производительностью ферментатора, которая определяется как произведение удельной скорости роста и концентрации клеток.

Список литературы

1. Адлер, Ю.П., Маркова, Е.В., Грановский, Ю.А. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. -М.: Наука, 1976.-279 с.
2. Кокиева, Г.Е. Шагдыров, И.Б. Шагдыров, Б.И., Болохоев, В.С. Способ приготовления кормовых дрожжей. Положительное решение на выдачу патента. №2014127112/13(043822). МПК С12М 1/21. Заявитель и патентообладатель Бурятская ГСХА, 2016г.

05.02.02

Е.А. Новикова к.т.н., А.В. Жданов к.т.н., А.Б. Иванченко к.т.н., И.В. Шинаков к.т.н.ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», Владимир**ПРОБЛЕМЫ СОЗДАНИЯ ПРЕЦИЗИОННЫХ МЕХАНИЗМОВ
ПОСТУПАТЕЛЬНОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ
ОПТОМЕХАНИКИ**

В статье проводится анализ проблем создания механизмов поступательного перемещения, используемых в оптических и оптомеханических столиках. Приводятся перспективные устройства и схемы построения приводов таких устройств, предлагаются мероприятия по повышению точности и стабильности перемещений.

Ключевые слова: механизм поступательного перемещения, роликовинтовой механизм (РВМ), оптомеханика, мехатронный привод.

Среди всего разнообразия устройств оптомеханики особенно динамично развивается сегмент прецизионных оптических столиков, столов микроскопов, точных позиционных устройств и актуаторов линейного перемещения. Для перемещений на небольшие расстояния (0,1÷1 мм) целесообразно применять пьезоэлектрические преобразователи, а для больших перемещений (100 мм и более) наиболее удобны мехатронные приводы с линейными исполнительными механизмами [1,2]. Сочетание шагового двигателя и прецизионного исполнительного механизма успешно реализуется в устройствах ведущих производителей (PI, NetMotion Inc., SKF, THK, Thorlabs, Aerotech и др.). Такие приводы обеспечивают большие усилия, длину хода до 200 мм, высокие скорости перемещения и КПД. Недостатками таких устройств является невысокая точность и плавность (табл.1).

Таблица 1

Сравнительные характеристики исполнительных механизмов прецизионных 2-х координатных столов с габаритами 100 x 100 мм [3]

Параметр	<i>MT mot Marzhauzer (Германия)</i>	<i>ATS 36210 Aerotech (США)</i>	СКС ВлГУ (Россия)
Погрешность перемещения, мкм	± 5,0	± 4,0	± 3,0
Повторяемость, мкм	± 1,0	± 1,0	± 1,0
Разрешающая способность, мкм	0,050	0,005	0,050
Тип механической передачи	ШВП		РВП 3К (рис.1)
Кинематическая передаточная функция, мм/об	2	5	0,08
Максимальная скорость хода, мм/с	60	200	50
Масса столика, кг	7,5	22,8	7,5

В таблице обозначено: ШВП – шариковинтовой механизм, РВП 3К – роликовинтовой механизм типа 3К с опорным винтом [4]

В качестве двигателя в мехатронном приводе используется, как правило, 2-х фазный шаговый двигатель, в качестве преобразователя движения – ШВМ или РВМ. Для замкнутых по положению приводов целесообразно использовать оптоэлектронные датчики линейных перемещений, однако в разомкнутом варианте их отсутствие переносит все требования по точности и стабильности перемещения на исполнительный механизм (ИМ). Использование ШВМ не дает преимуществ по редукции и точности. Использование РВМ различных компоновок позволяет уменьшить кинематическую передаточную функцию, а использование новых схем - значительно увеличить редукцию.

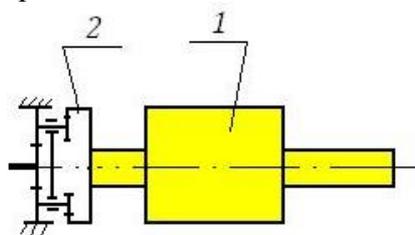


Рис.1. Мехатронный привод поступательного перемещения для оптического столика ВЛГУ на базе ИМ РВП 3К

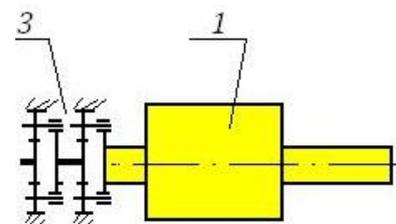
Проведем анализ возможных решений исполнительного механизма (ИМ) перспективного устройства оптического столика. Рассмотрим две схемы построения ИМ (рис.2), когда РВМ с КПД 0,85 и собственной передаточной функцией 0,9 мм/об сопрягается с различными планетарными редукторами (схема 1 – с редуктором типа 3К с передаточным числом $u = 60$; схема 2 – с двухступенчатым редуктором типа A_{ha}^b с общим передаточным числом $u = 36$). Полученные значения выходных параметров представлены в табл. 2. Как видно из таблицы КПД предлагаемых схем на 50% выше схемы с РВП 3К, при этом кинематическая передаточная функция в 1,8 и 5 раз меньше.



а) РВМ



б) схема 1



в) схема 2

Рис.2. Перспективные схемы ИМ с РВМ.

На рисунке обозначено: 1 – РВМ, 2 - редуктор типа 3К, 3 – многоступенчатый редуктор A_{ha}^b

Таблица 2.

Сравнительные характеристики ИМ на базе РВМ

Параметр	Схемы		
	РВП 3К (рис.1)	РВМ +3К (схема 1- рис.2,б)	РВМ + nA_{ha}^b (схема 2 рис.2,б)
Кинематическая передаточная функция, мкм/об	80	15	42
КПД	0,45	0,68	0,69
Технологичность	низкая	средняя	высокая

Наибольшие проблемы для внедрения данных механизмов в реальные устройства состоят в трудности их изготовления с заданными параметрами точности, обеспечения стабильности и точности перемещения. Влияние неточности изготовления на выходное перемещение можно значительно снизить введением предварительного натяга в РВМ [4, 5]. Устройства для выборки зазора (составные гайки) позволяют значительно снизить (до 50%) кинематическую погрешность механизма.

Проведено исследование влияния предварительного натяга на кинематическую погрешность (КП) РВМ. На рис. 3 показан график КП механизма на длине хода гайки 80 мм без натяга (момент холостого хода: $M_{xx}=0Нм$) и с предварительным натягом ($M_{xx}=1,7 Нм$). Анализ проведенных экспериментов показывает, что создание предварительного натяга величиной $0,1 \dots 0,2 P$, (где P – статическая грузоподъемность) значительно уменьшает КП (в среднем в два раза).

Конструктивные способы создания предварительного осевого усилия в РВМ можно разделить на две группы:

а) в механизмах первой группы контактируют β -образующие верхней полулайки и γ -образующие нижней. При действии осевой силы F , направленной вниз, работают витки только верхней полулайки, а при противоположном направлении силы F – витки нижней полулайки.

б) в механизмах второй группы контактируют γ -образующие верхней полулайки и β -образующие нижней. В первом случае работает нижняя полулайка, а во втором – верхняя.

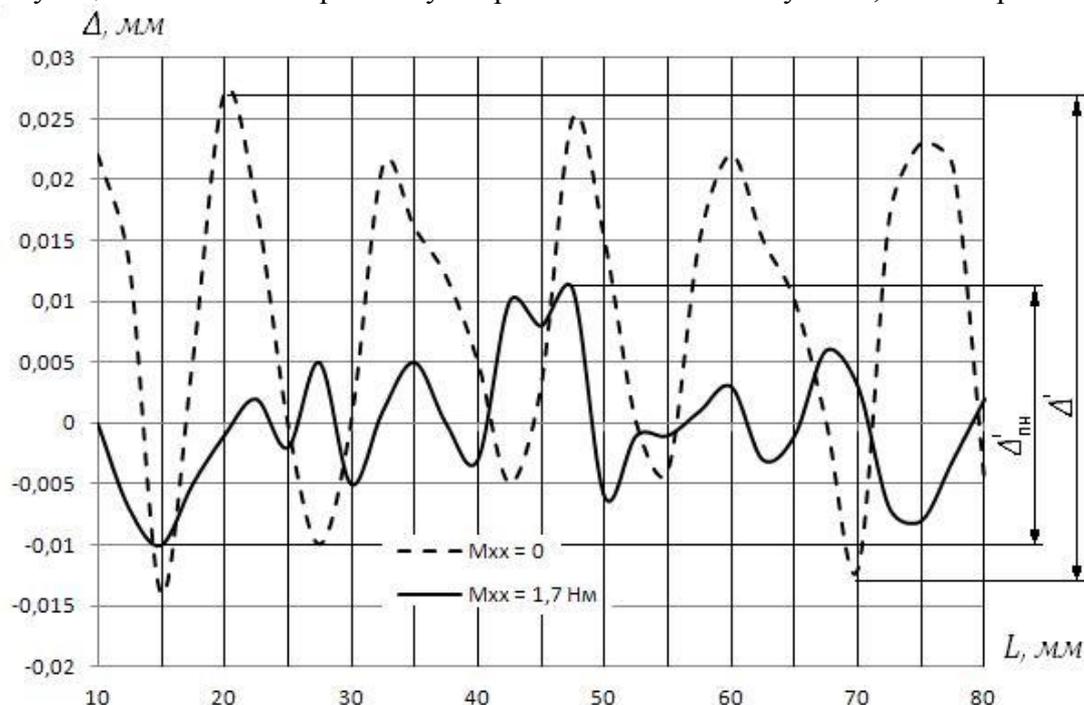


Рис.3. Влияние предварительного натяга на КП

На рисунке обозначено: 1 – зависимость кинематической погрешности РВМ без натяга ($M_{xx}=0$); 2 – зависимость кинематической погрешности РВМ с натягом ($M_{xx}=1,7 \text{ Нм}$):

Δ - кинематическая погрешность; L – длина хода; M_{xx} - момент холостого хода

Список литературы

1. Morozov, V.V., Zhdanov, A.V. A New Aspects of the Planetary Roller-screw Mechanism Classification [Text]/ International conference on automation, mechanical and electrical engineering (AMEE 2015) JUL 26-27, 2015 Phuket, THAILAND, pp: 875-881, Destech Publicat Inc, ISBN: 978-1-60595-237-6.
2. Морозов, В.В., Жданов, А.В. РВМ. Надежность и долговечность: (монография)/ М.: Изд-во «Перо», 2015. – 152 стр. - ISBN 978-5-906835-89-5
3. Кириллов, А.В. и др. Двухкоординатный сканирующий стол с ЭМП на базе планетарных РВП для нанотехнологического оборудования [Текст]/ А.В. Кириллов, О.В. Федотов, В.Н. Филимонов // Вестник машиностроения, 2014, №8, С.22-28 ISSN 0042-4633
4. Шинаков, И.В., Жданов, А.В. Создание предварительного натяга в РВМ при сборке [Текст]/ Шинаков, И.В., Жданов, А.В.// Сборка в машиностроении, приборостроении. 2013. № 5. С. 35-37. ISSN 0202-3350
5. Штых, Д.В. и др. Геометрия сопряжения элементов РВМ [Текст]/ Д.В. Штых, А.В. Жданов, В.В. Морозов // НТВП. 2015. № 6. С. 216-218. ISSN 2079-5920

05.02.00

Э.А. Петровский, М.Н. Медведев

Сибирский федеральный университет, институт нефти и газа,
кафедра технологические машины и оборудование нефтегазового комплекса,
Красноярск, maxshut007@mail.ru

ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ТРУБОПРОВОДНОГО ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ НЕФТИ ПРИМЕНЕНИЕМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО АКТИВАТОРА ЖИДКИХ СРЕД

В работе предложен метод обеспечения надежности трубопроводного транспортирования, за счет разработки гидродинамического активатора с электромагнитным приводом. Приведен принцип работы разработанного устройства.

Ключевые слова: активатор, тиксотропия, парафин, надежность.

Трубопроводное транспортирование нефти различных марок в нефтедобыче. Примером могут служить транспортные системы для доставки нефти вместо ее переработки.

По своим свойствам нефть обычно представляет собой смесь с различной гомогенизацией дисперсной фазы. При наличии в компонентном составе нефти парафинистых материалов, или других компонентов, характер ее движения с течением времени меняется, так как требуется приложение дополнительные силы, характеризующей начальное напряжение сдвига τ_0 .

Известно, что в таких структурированных тиксотропных смесях одновременно протекают два противоположных процесса – разрушение и восстановление внутренней структуры. Равновесное состояние между этими процессами в установившемся потоке, характеризуется эффективной вязкостью μ . Следовательно, для описания режимов течения вязко-пластичных тиксотропных смесей, вместо закона Ньютона, должен применяться закон Шведова-Бингама[1]. При длительном транспортировании потока нефти по горизонтальному трубопроводу, под действием гидравлических сопротивлений, поток постепенно переходит в ламинарный режим течения, что исключает разрушение внутренних структурных связей, так как течение при малых скоростях происходит без относительного перемешивания слоев потока. Кроме того, под действием гравитационного поля в потоке происходит седиментация твердых частиц, что существенно повышает концентрацию твердой фазы, которая определяет характер распределения скоростей по сечению потока[2]. Это объясняется тем, что при малых скоростях течения потока нефти по внутренней структурной системе наносятся лишь незначительные повреждения, так как разрушения, неразрывно связанные с течением, успевают тиксотропно восстановиться и дальнейшее с малой инерцией течение смеси происходит практически без разрушения структуры.

При больших скоростях течение структура потока нефти обычно разрушается, при этом разрушенная структура из-за быстроты процесса не восстанавливается в полной мере.

Соответственно состояние текучести таких смесей сохраняется во время механического воздействия на поток, при снятии которого, через незначительное время, такие смеси переходят в неустойчивое состояние, структурируются.

При соотношении средней и критической скорости нефти $v_{cp}/v_{кр} \approx 1,5$ обеспечивается примерно равномерное разрушение структуры по сечению потока, а поток приобретает свойства фиктивной однородной жидкости повышенной плотности[3]. Сопротивление движению потока нефти по горизонтальному участку трубопровода изменяется в зависимости от скорости его движения и достигает максимума при критическом значении скорости $v_{кр}$ - минимальной скорости движения, при которой составляющие структуры частицы еще находятся во взвешенном разрушенном состоянии. При уменьшении средней скорости потока ниже $v_{кр}$, происходит структурирование потока нефти, что приводит к затруднению ее транспортировки.

Касательное напряжение τ_n на нижней границе потока смеси и интенсивность сил механического трения структурированных частиц о дно трубы τ_m являются основными критериями режима движения потоканефти. При этом можно отметить, что при уменьшении скорости движения потока касательные напряжения соответственно уменьшаются, а трение скольжения слоя частиц по дну трубы непрерывно возрастает.

В случае $\tau_m > \tau_n$ движущая энергия потока недостаточна для преодоления силы механического трения донного слоя потока о стенки трубопровода и на его дне образуется плотный контакт. При увеличении средней скорости потока v_{cp} выше критической, все большее количество структурных связей нарушается и увлекается в перемещении потока и насыщение нижнего придонного слоя уменьшается. В этом случае $\tau_m < \tau_n$, что соответствует устойчивому режиму транспортирования нефти. На рисунке 1 схематически изображена граница раздела областей устойчивого и неустойчивого режимов транспортирования.

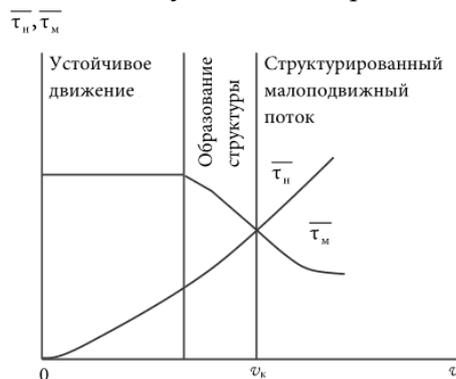


Рис 1 – Области устойчивого и неустойчивого транспортирования

Надежное устойчивое движение в разнообразных свойствах потока можно обеспечить при минимальном уровне вязкости (и соответственно максимальной текучести) нефти[4]. Это достигается лишь при предельном разрушении структуры, образованной взаимодействиями в контактах между частицами, иначе говоря – при полном разрыве всех структурных контактов между ними.

Основным способом разрушения внутренней структуры потока нефти (наряду с химическим) является внешнее механическое воздействие на смесь (активация смеси), то есть образование в смеси существенных гидродинамических сил, превышающих энергию внутренней структурной связи W_c , вследствие чего происходит разрушение структурной сетки, повышение текучести и однородности состава смеси.

Таким образом, надежное трубопроводное транспортирование потока нефти может быть обеспечено при возможности своевременного управления реологическими свойствами, с целью поддержания их в допустимых пределах по условиям транспортабельности. Для решения проблемы управления реологическими свойствами предлагается новый специализированный вид механического оборудования трубопроводного транспорта – гидродинамические активаторы жидких сред. Работа активаторов основана на генерировании возмущений в смеси с образованием полей переменных скоростей и давлений, создаваемых энергией внешнего привода.

Такого вида активаторы, как технологическое оборудование, могут иметь различный конструктивный вид.

Разработанный гидродинамический активатор[5] (рисунок 2) содержит раму 1, опоры подшипников узлов 2, подшипники 3, фиксаторы подшипников 4, опорные втулки 5, вихревую камеру 6, установленную внутри опорных втулок 5, ведомый ременный шкив 7, проточную камеру 8, разделенную вихревой камерой 6, фланцы 9, для соединения с трубопроводом, электродвигатель 10 с ведущим ременным шкивом 11, приводной ремень 12, механизм натяжения ремня 13. Внутри трубчатой вихревой камеры 6, установлена неподвижная ось 14, закрепленная на внутренних поверхностях частей проточной камеры 8 (рисунок 2,б). На оси 14 закреплены неподвижные втулки 15 с лопатками. Рядом с неподвижными втулками, установлены свободно сидящие на 14 подвижные втулки 16 с

лопатками, соединенные с вращающейся вихревой камерой 6 пластинами 17.

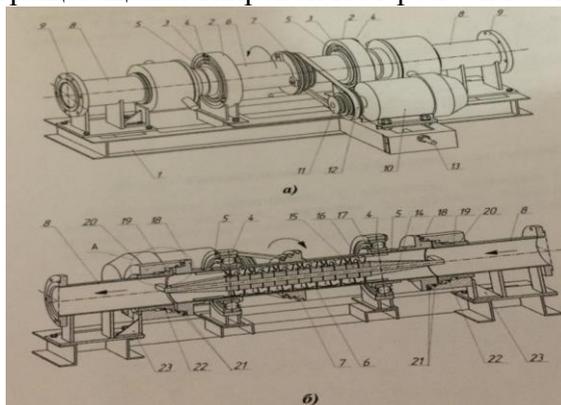


Рис 2 – Гидродинамический активатор

Активатор устанавливается непосредственно на транспортном трубопроводе нефти и работает следующим образом. Электродвигатель 10, через шкив 11, ремень 12 и шкив 7, вращает вихревую камеру 6. При вращении вихревой камеры 6, крутящий момент передается через пластины 17 на подвижные втулки с лопатками 16. Вследствие взаимодействия смеси с лопатками подвижных втулок 16 и лопатками неподвижных втулок 15 создается комплексное механическое воздействие на транспортируемую жидкую среду, при этом происходит интенсивное перемешивание потока гидросмеси, сопровождающееся ее активацией, возникают частые соударения частиц смеси, разрушения твердых флоккул, повышение однородности концентрации смеси, а также обеспечивается развитие дополнительных гидродинамических сил и напора смеси в сторону движения потока.

Одна из конструкций, предлагаемых активаторов, показанная на рисунке 3, отличается тем, что активатор оборудован непосредственным электромагнитным приводом вихревой камеры 1, установленной внутри трубчатой проточной камеры 3. Привод выполнен в виде статорной электрообмотки 4, расположенной на внутренней поверхности корпуса 5 и роторной электрообмотки 6, проходящей через разрыв проточной камеры 3. Внутри трубчатой вихревой камеры 1 установлены рабочие лопатки 7 и 8. Такой тип привода обеспечивает компактность и надежность работы активирующего устройства.

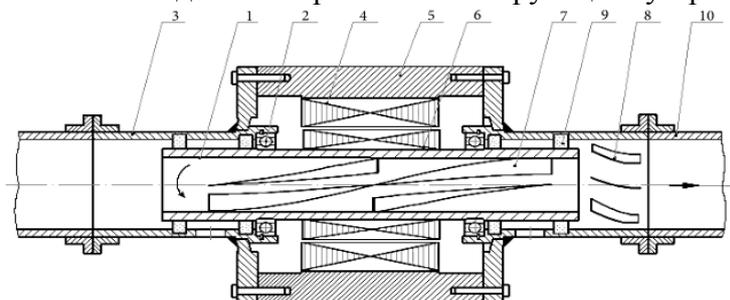


Рис 3 – Гидродинамический активатор с электромагнитным приводом

Исследования, проводимые с помощью созданной опытной установки для испытания активаторов, позволили разработать эффективные конструкции для активации потока нефти и установить оптимальные режимы их работы.

Список литературы

1. Бибик Е.Е. Реология дисперсных систем. Л.: Из-во Лен. ун-та, 1981. 171 с.
2. Штеле В.И., Николаев Ю.И., Анушенков А.Н. Статистический анализ качества приготовления многокомпонентных твердеющих смесей на рудниках Норильского ГМК // Комплексное использование минерального сырья. Алма-Ата, 1991. № 4. С. 70–72.
3. Покровская В.Н. Трубопроводный транспорт в нефтяной промышленности. М.: Недра, 1985. – 146 с.
4. Урьев Н.Б. Высокоцентрированные дисперсные системы. М.:Химия, 1980. – 334 с.
5. Пат. 155804, РФ МКИ E21F 15/08. Активатор жидких сред / СФУ; Стовманенко А.Ю., Анушенков А.Н., Медведев М.Н. – Оpubл. В Б.И., 2015 – №29.

05.02.00

А.А. Плющик, Е.А. Сопов к.т.н., В.В. Бухтояров к.т.н.

Сибирский федеральный университет, институт нефти и газа,
кафедра технологические машины и оборудование нефтегазового комплекса,
Красноярск, alexeiplyuschik@mail.ru

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ПРОЦЕССА БУРЕНИЯ ПУТЕМ ОПТИМИЗАЦИИ УПРАВЛЯЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА БУРЕНИЯ

В работе предложен метод повышения надежности процесса бурения. Установлена зависимость управляемых параметров процесса бурения, их влияние на надежность. Проведен анализ зависимости времени работы долота от частоты вращения и осевой нагрузки на долото.

Ключевые слова: *надежность, оптимизация, процесс бурения, математическая модель процесса бурения.*

Повышение надежности бурового оборудования при современных темпах развития нефтегазодобывающей промышленности - большая задача, решение которой дает ощутимый экономический эффект.

Современная буровая установка состоит из множества взаимодействующих механизмов, аппаратов и приборов. Отказ в работе хотя бы одного ответственного элемента сложной системы нарушению работы всей системы.

Низкая надежность бурового оборудования, как правило, приводит к увеличению эксплуатационных расходов и времени простоя буровых установок. Кроме того, при недостаточной надежности внезапные отказы частей и деталей вследствие нарушений установленной технологии могут привести к тяжелым авариям, затраты на ликвидацию которых весьма велики. Однако повышение надежности связано с усложнением оборудования и повышением его стоимости. Поэтому необходимо установить некоторую оптимальную надежность, исходя из критерия минимальной стоимости проектирования, изготовления и эксплуатации оборудования [1].

Целью работы является - повышение надежности бурового оборудования, путем оптимизации управляемых параметров режима бурения.

Исследуемым параметром надежности в работе будет - вероятность безотказной работы долот. Она определяется из вероятностей безотказной работы опорного узла долота и его вооружения:

$$P(t) = P_o(t) \cdot P_b(t) \quad (1)$$

где $P_o(t)$ – вероятность безотказной работы опор долота, $P_b(t)$ – вероятность безотказной работы вооружения долота.

В тех случаях, когда отказ опоры является причиной отказа долота, $P(t) = P_o(t)$.

$$P(t) = \Phi_0 \left(\frac{T_{cp} - t}{\sigma} \right) \quad (2)$$

где Φ_0 – функция Лапласа, T_{cp} – средняя наработка до отказа, σ – среднеквадратическое отклонение [2].

Подберем математическую модель процесса бурения. На сегодняшний день известно большое количество математических моделей описывающих процесс бурения. Все они, так или иначе похожи друг на друга. Выполнив анализ всех моделей можно сделать вывод, что в состав математической модели механического процесса бурения должны входить следующие зависимости:

$\vartheta_m = f(G, n, N_d)$ - механической скорости проходки ϑ_m от осевой нагрузки на долото G , скорости вращения ротора n и гидравлической мощности N_d , приложенной к долоту;

$t_b = f(G, n)$ - времени работы вооружения долота t_b от осевой нагрузки на долото G и скорости вращения ротора n ;

$t_0=f(G, n)$ - времени работы опоры долота t_0 от осевой нагрузки на долото G и скорости вращения ротора n .

Система уравнений, описывающая процесс механического бурения:

$$\left\{ \begin{array}{l} \vartheta_M = K \cdot G^\delta \cdot n^\alpha \cdot N_d^m \\ t_0 = \frac{c_0}{\beta n G^2} \\ t_B = \frac{1}{k_B n G^2} \end{array} \right. \quad (3)$$

Ограничения модели:

$$G_{\min} \leq G \leq G_{\max}$$

$$n_{\min} \leq n \leq n_{\max}$$

$$k G n \leq N_{\Pi}$$

ϑ_M - механическая скорость проходки;

K - коэффициент пропорциональности (буримости);

G - осевая нагрузка на долото;

$\bar{G}=G/D_d$ - удельная осевая нагрузка на долото G , приведённая к его диаметру D_d ;

n - скорость вращения ротора;

$N_d=Q \cdot P_c$ - гидравлическая мощность привода, приложенная к долоту;

Q - расход бурового раствора;

P_c - давление раствора в стояке;

δ, α, m — показатели степени, зависящие от типа долота и качества очистки забоя;

t_0 — время работы опоры долота;

t_B - время работы опоры долота;

c_0 — степень износа опор, изменяется от 0 до 1 для новых и полностью изношенных опор,

$\beta=1/K_{0,ш}$ - опытный коэффициент, зависящий от конструкции долота, разбуриваемой породы, промывочной жидкости, динамики работы долота на забое и других факторов, влияющих на износ опор шарошек долота;

k_B - опытный коэффициент, зависящий от конструкции долота, твёрдости породы, свойств бурового раствора и других факторов, влияющих на износ вооружения;

k - размерный коэффициент пропорциональности;

G_{\min}, G_{\max} - минимальная и максимальная осевая нагрузка на долото;

n_{\min}, n_{\max} - минимальная и максимальная скорость вращения ротора;

N_{Π} — механическая мощность привода [3].

Примем значения коэффициентов, соответствующие реальным условиям бурения: $K=0,2-0,8$; $\delta=0,6-1$; $\alpha=0,1-0,75$; $m=0,1$; $\beta=0,1$; $k_B=0,1$ [4].

Произведем анализ зависимости времени работы вооружения и опор долот, от параметров n и G , при средних значениях коэффициентов:

Таблица 1 – Время работы опор долот в зависимости от параметров n и G .

G, т	Новые опоры				G, т	Изношенные опоры			
	При $n=50$ об/мин	При $n=100$ об/мин	При $n=150$ об/мин	При $n=200$ об/мин		При $n=50$ об/мин	При $n=100$ об/мин	При $n=150$ об/мин	При $n=200$ об/мин
1	0,1800	0,0900	0,0600	0,0450	1	0,0200	0,0100	0,0067	0,0050
2	0,0450	0,0225	0,0150	0,0113	2	0,0050	0,0025	0,0017	0,0013
3	0,0200	0,0100	0,0067	0,0050	3	0,0022	0,0011	0,0007	0,0006
4	0,0113	0,0056	0,0038	0,0028	4	0,0013	0,0006	0,0004	0,0003
5	0,0072	0,0036	0,0024	0,0018	5	0,0008	0,0004	0,0003	0,0002
6	0,0050	0,0025	0,0017	0,0013	6	0,0006	0,0003	0,0002	0,0001
7	0,0037	0,0018	0,0012	0,0009	7	0,0004	0,0002	0,0001	0,0001
8	0,0028	0,0014	0,0009	0,0007	8	0,0003	0,0002	0,0001	0,0001
9	0,0022	0,0011	0,0007	0,0006	9	0,0002	0,0001	0,0001	0,0001
10	0,0018	0,0009	0,0006	0,0005	10	0,0002	0,0001	0,0001	0,0001
11	0,0015	0,0007	0,0005	0,0004	11	0,0002	0,0001	0,0001	0,0000
12	0,0013	0,0006	0,0004	0,0003	12	0,0001	0,0001	0,0000	0,0000
13	0,0011	0,0005	0,0004	0,0003	13	0,0001	0,0001	0,0000	0,0000
14	0,0009	0,0005	0,0003	0,0002	14	0,0001	0,0001	0,0000	0,0000
15	0,0008	0,0004	0,0003	0,0002	15	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000
16	0,0007	0,0004	0,0002	0,0002	16	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000
17	0,0006	0,0003	0,0002	0,0002	17	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000
18	0,0006	0,0003	0,0002	0,0001	18	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000
19	0,0005	0,0002	0,0002	0,0001	19	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000
20	0,0005	0,0002	0,0002	0,0001	20	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000

Таблица 2 – Время работы вооружения долот в зависимости от параметров n и G .

G, т	При $n=50$ об/мин	При $n=100$ об/мин	При $n=150$ об/мин	При $n=200$ об/мин
1	0,2000	0,1000	0,0667	0,0500
2	0,0500	0,0250	0,0167	0,0125
3	0,0222	0,0111	0,0074	0,0056
4	0,0125	0,0063	0,0042	0,0031
5	0,0080	0,0040	0,0027	0,0020
6	0,0056	0,0028	0,0019	0,0014
7	0,0041	0,0020	0,0014	0,0010
8	0,0031	0,0016	0,0010	0,0008
9	0,0025	0,0012	0,0008	0,0006
10	0,0020	0,0010	0,0007	0,0005
11	0,0017	0,0008	0,0006	0,0004
12	0,0014	0,0007	0,0005	0,0003
13	0,0012	0,0006	0,0004	0,0003
14	0,0010	0,0005	0,0003	0,0003
15	0,0009	0,0004	0,0003	0,0002
16	0,0008	0,0004	0,0003	0,0002
17	0,0007	0,0003	0,0002	0,0002
18	0,0006	0,0003	0,0002	0,0002
19	0,0006	0,0003	0,0002	0,0001
20	0,0005	0,0003	0,0002	0,0001

Из таблиц очевидно, что при увеличении значений параметра n , уменьшается время работы долот. Это пагубно влияет на общие показатели надежности, что видно из формулы (2). Так же учитывая то, что роторное бурение с низкими частотами вращения (20-80 об/мин) и большими крутящими моментами (150-500 кН/м) обеспечивает возможность более эффективного разрушения почти всех типов горных пород осадочной толщи при использовании различных, лопастных и алмазных долот, следует вывод, что снижение более низкие частоты вращения действительно актуальны.

Снижение частоты вращения (n), однако, должно сопровождаться повышением передаваемого на долото крутящего момента (M). При этом условии бурение будет вестись в наиболее выгодном низкооборотном режиме при повышенных осевых нагрузках на долото.

С увеличением отношения M/n существенно снижается энергоёмкость разрушения пород. Низкооборотное бурение целесообразно и потому, что достаточно стойкие долота с герметизированной опорой созданы именно для этого режима. Всё это обеспечивает получение большей проходки на долото [5].

Отсюда следует, что придерживаясь низкооборотного бурения, нужно уделять внимание другим управляемым параметрам, которые следует корректировать исходя из зависимости параметров, описанной в формуле механической скорости бурения:

$$v_M = K \cdot G^{\delta} \cdot n^{\alpha} \cdot N_d^m \quad (4)$$

Обеспечивать, подходящую осевую нагрузку и гидравлическую мощность, следует путем подбора соответствующего оборудования.

Все эти меры в комплексе дадут увеличение времени работы долота, а следовательно и времени средней наработки до отказа $T_{ср}$, что в свою очередь прямым образом влияет, на увеличение вероятности безотказной работы долота, рассчитываемую по формуле (2).

Список литературы

1. *Авербух Б.А.* Ремонт и монтаж бурового и нефтегазопромыслового оборудования. – М. -: Недра, 1976. - С. 23.
2. *Симисинов Д.И.* Исследование и выбор технологических методов повышения надежности шарошечных долот: дис. канд. техн. наук. - Екатеринбург, 2004. – С. 31-34.
3. *Цуприков Л.А.* Разработка системы адаптивного управления процессов роторного бурения нефтяных и газовых скважин: дис. канд. техн. наук. - Краснодар, 2008. –С. 37-39.
4. *Цуприков А.А.* Анализ математических моделей механической проходки для оптимизации процесса бурения нефтегазовых скважин // Научный журнал КубГАУ. - 2015. – №107. - С. 5.
5. *Мавлютов М.Р.* Технология бурения глубоких скважин. – М. -: Недра, 1982. – С. 287.

05.02.02

**П.М. Салов, В.Н. Цай, С.С. Сайкин, Д.А. Юрпалов, Т.Г. Виноградова, Н.В. Мулюхин,
Е.А. Андреева, Е.В. Антонова, Д. П. Салова**

Чувашский государственный университет имени Н.И. Ульянова,
машиностроительный факультет, кафедра технологии машиностроения,
Чебоксары, muliukhin@mail.ru

ДЕФОРМАЦИИ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ ПРИ ШЛИФОВАНИИ

В работе сделан анализ работ по определению деформаций в приводах главного движения. Приведена расчетная схема по определению деформаций в технологических системах с ограниченной жесткостью. Анализировалась зависимость между углом поворота торца консольной оправки и линейной деформацией. Найдены зависимости для расчета перебега круга за края отверстия

Ключевые слова: *деформации, ограниченная жесткость, точность обработки, прогиб, угол поворота, шпиндельный узел, перебеги, консольная оправка.*

Качество поверхности деталей зависит от деформаций, возникающих при их механической обработке. В большинстве исследований по данному вопросу берут во внимание линейные перемещения, угловые анализируются редко, что связано со значительными трудностями по их определению. Значительный теоретический и практический интерес представляет взаимосвязь этих параметров.

При шлифовании длина зоны резания существенно больше, чем при точении. По краям этой зоны возникают различные условия работы, приводящие к неравномерному износу круга, искажению его формы и дефектам на обрабатываемой поверхности. Особенно важно оценивать деформации в условиях работы с ограниченной жесткостью технологической системы (ТС).

Для анализа взаимосвязи деформаций при шлифовании с качественными параметрами обработанной поверхности сделан обзор широкого круга исследований в данной области.

Д.Н. Решетовым и В.Т. Портманом установлено, что зависимость угла поворота торца заготовки от прилагаемого момента «весьма близка к линейной» [1].

Для однопролётных статически определимых балок постоянного сечения соотношение максимальных прогибов y_{\max} к углу поворота торца концевой сечения θ длиной l составляет [1]: для жёстко закреплённой одним концом балки (Б), нагруженной моментом (М) - $\frac{y_{\max}}{\theta} = 0,5l$; нагруженной силой Р - $\frac{y_{\max}}{\theta} = \frac{2}{3}l$; для равно нагруженной балки - $\frac{y_{\max}}{\theta} = 0,75l$; зависимость между y_{\max} и θ линейна при равно нагруженном участке на конце консоли $\frac{y_{\max}}{\theta} = c_p l$ (при длине загруженного участка $a < (l-a)$); для двуопорной Б, нагруженной посередине силой Р - $\frac{y_{\max}}{\theta} = \frac{1}{3}l$; то же, но равномерно нагруженной - $((5*24)/384)l=0,3125l$.

Анализ многих других условий нагружения балок не всегда выявляет линейность зависимости $\theta=f(y_{\max})$. Численные расчеты прогибов и углов разворотов шпинделей под передней опорой по зависимостям, предложенным в ряде работ, сложны и часто противоречивы.

Для анализа деформаций в ТС нужна динамическая тарировка. В работе [2] разработана оригинальная методика её проведения для внутреннего шлифования. Прогиб конца оправки определяется известным способом, а угол поворота – с помощью «самоприрабатывающихся» кругов, которые со временем приобретают конусообразную форму. По углу наклона образующей конуса определяют угловую деформацию.

В условиях ограниченной жесткости форма круга должна быть адаптирована к деформациям в ТС. Например, при внутреннем шлифовании снятие основного припуска необходимо осуществлять кругом, имеющим оптимальную конусообразную форму [2]. При

работе цилиндрическим кругом нагрузка по зоне контакта его с заготовкой неравномерна. При значительных деформациях эта часть круга практически не участвует в работе. При плоском шлифовании периферией круга также возникают дефекты на обработанной поверхности. Сказанным объясняется высокая трудоемкость указанных технологических операций.

Применение конусообразных кругов уменьшает отрицательное воздействие деформаций в ТС. Однако трудно разрешаются вопросы, связанные с перераспределением удельных давлений в контакте: при перебегах (внутреннее шлифование) и во время реверсирования; во время входа и выхода круга из контакта круга, как в продольном, так и в поперечном направлениях (плоское шлифование), инструмент поворачивается в пространстве и под той или иной его приторцевой поверхностью создаются повышенные удельные нагрузки.

На рис. 1 показана схема, поясняющая тенденцию изменения положения конусообразного круга в пространстве за продольный ход. Принято: жесткости круга ТС, заготовки и ТС круга без оправки существенно больше жесткости оправки. Прерывистой линией показано исходное положение круга в отверстии. Оси оправки и шпиндельного узла круга (ШУК) находятся на прямой OA , параллельной оси заготовки. Точка A выбрана по центру сечения, совпадающего с торцом круга, имеющего меньший диаметр. Круг касается цилиндрической поверхности заготовки в точке B .

При выходе круга вправо (заготовки – влево) изгибающая нагрузка уменьшается, т.к. плечо увеличивается. Круг становится более нагружен на конце, он разворачивается против часовой стрелки. При выходе влево нагрузка увеличивается, круг проворачивается по часовой стрелке.

Эффективное шлифование в срединной части отверстия возможно, когда образующая круга B_1C_1 занимает положение, параллельное вектору продольной подачи. Для этого необходимо шпиндельный узел переместить в поперечном направлении на величину Δ (расстояние OO_1), прикладывая усилие $P_{ш.ср.}$. Круг, упираясь в заготовку, развернется на угол $\alpha_{ср.}$, примерно равный углу конусности на круге ϕ . Образующая круга в положении B_1C_1 будет равномерно нагружена удельной нагрузкой $q_{ср.}$. Суммарная реактивная нагрузка равна усилию P_1 . При малых углах наклона круга можно принять: $\alpha_{ср.}=\phi$ и $P_1=q_{ср.}V_k=P_{ш.ср.}$, где $V_k=BC=B_1C_1$ – высота круга.

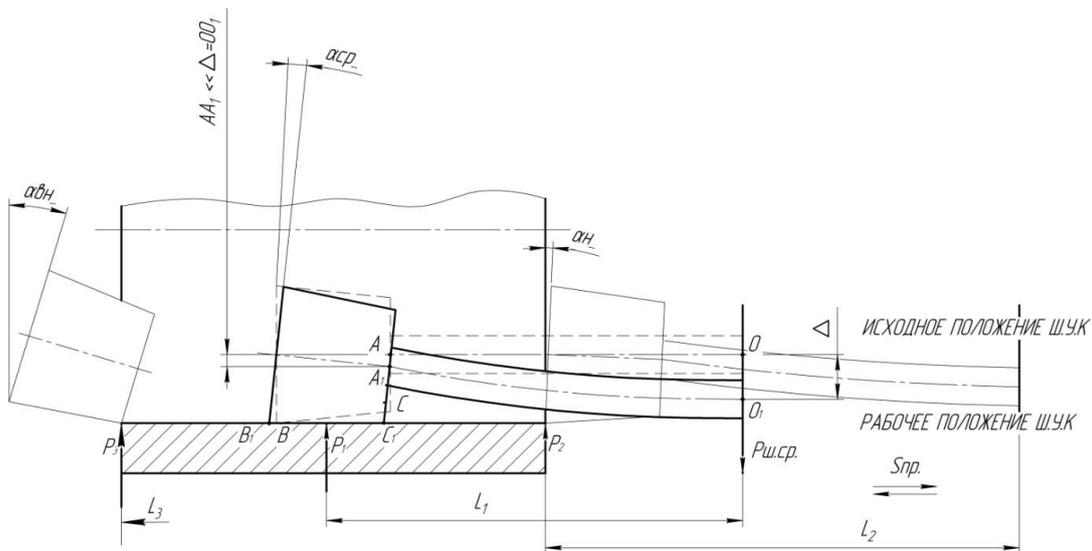


Рис. 1 Изменение угла наклона круга за ход при круглом внутреннем шлифовании

Требуемый натяг в ТС равен $\Delta=\sum S_n-U_3-U_k$, где $\sum S_n$ – суммарная поперечная подача; U_3 – радиальный износ (съем) материала с заготовки; U_k – радиальный износ круга. Он обеспечивается изгибающим моментом $M=P_1L_1=P_2L_2$, $M=const$ при $\Delta=const$, где L_1 – плечо приложения силы P_1 ; P_2 – величина усилий при плече L_2 .

На участках поверхности отверстия, связанных с реверсированием, когда круг выходит из отверстия на максимальную величину перебега равную $(0,28...0,45)V_k$ (перебег), плечо приложения нагрузки P_1 изменяется. Вместе с ней изменятся нагрузка в цепи поперечной подачи $P_{ш.i}$.

На рис.1 круг показан в положениях, когда он может завершить выход из зоны контакта. При выходе круга вправо (из отверстия) $L_2 > L_1$ и $P_2 < P_1$, что вполне логично – для прогиба конца длинной оправки на величину Δ требуется меньшее усилие. Цепь поперечной подачи также разгрузится до величины $P_{ш2} = P_2$.

Уменьшение усилия, от P_1 до P_2 при выходе части круга из заготовки, приводит к повороту торца круга против часовой стрелки ($\alpha_n < \alpha_{cp}$) и перераспределению удельных нагрузок от q_{cp} на выходе до $q_{max.n}$ в зоне большего диаметра круга.

При выходе круга из контакта в глубине заготовки $L_3 < L_1$ и $P_3 > P_1$. При выходе части круга внутрь заготовки происходит поворот торца круга по часовой стрелке ($\alpha_{вн} < \alpha_{cp}$) и перераспределение удельных нагрузок от q_{cp} на выходе до $q_{max.вн}$ в зоне меньшего диаметра. При этом удельные нагрузки в глубине отверстия больше таковых на выходе $q_{max.вн} > q_{max.n}$.

Из анализа следует, что наличие перебега имеется способствует появлению на заготовке бочкообразности, т.к. увеличения удельных нагрузок предполагают большее снятие материала на расстояниях, отстоящих примерно на треть ширины круга от торцов. Сказанное в большей степени относится к перебегу круга внутрь отверстия, что подтверждается на практике.

Нами проведены исследования по периодическому изменению величины перебега, что позволило исключить бочкообразность. Для этого перебег на n -ом ходе увеличивали до величины $0,45 V_k$, на следующем $(n+1)$ ходе, уменьшая на $0,28V_k$. Это позволило практически исключить бочкообразность отверстия, увеличить стойкость круга, в первую очередь, за счет уменьшения его засаливания при перебеге внутри отверстия. Установлено, что корсетность выводится быстрее, чем бочкообразность той же величины. Нами так же разработан метод обеспечения цилиндричности отверстия за счет управления изнашиванием круга в режиме выхаживания.

Неравномерный износ круга и сьем материала при перебеге при обработке глубоких отверстий существенно не сказывается на их геометрии. При работе круг и заготовка быстро прирабатываются, восстанавливая цилиндрическую форму, в соответствии с направлением продольной подачи.

При обработке отверстий с просветом $m < 3V_k$, где m – расстояние между двумя крайними положениями круга в пространстве, разница в нагружениях по концам отверстия сказывается, что требует уточнения величин перебегов по каждому краю отверстия.

В работе [2] даны расчетные зависимости по определению перебегов по концам отверстия при различных условиях работы.

Список литературы

1. Решетов Д.Н., Портман В.Т. Точность металлорежущих станков. – М.: Машиностроение, 1986.-336с.
2. Расчет податливости технологических систем внутреннего шлифования / Салова Д.П., Мулюхин Н.В., Сайкин С.С., Виноградова Т.Г., Салов П.М., Мишин В.А., Александров Е.Ю.; Чуваш. гос. ун-т. – Чебоксары, 2013 – 7 с. Деп в ВИНТИ РАН 25.10.2013, №296-В2013.

05.02.02

А.В. Степенькин, Д.О. Кочетов, И.В. Шинаков к.т.н., А.В. Жданов к.т.н.

Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых, Владимир**СМЕЩЕНИЕ РЕЗЬБЫ ЭЛАСТИЧНОГО ЭЛЕМЕНТА РОЛИКОВИНТОВОГО
МЕХАНИЗМА**

В статье приводятся результаты математического анализа смещения винтовой линии эластичного элемента роликвинтового механизма. Эластичные элементы, которые предназначены для выборки зазоров, перераспределения нагрузки по виткам резьбы, уменьшения проскальзывания между резьбовыми элементами, повышения жесткости и кинематической точности.

Ключевые слова: роликвинтовой механизм (РВМ), эластичный элемент, смещение винтовой линии.

При проектировании роликвинтовых механизмов (РВМ) приходится учитывать много различных факторов, которые впоследствии скажутся на надежности и долговечности передачи [1-3].

В процессе эксплуатации механизмов со временем происходит изнашивание основных элементов РВМ. Износ по винтовой линии между роликами и гайкой, роликами и винтом приводит к появлению зазоров, которые негативно сказываются на точности работы РВМ. Для устранения зазоров в устройствах применяют различные эластичные элементы (тонкостенные, цанговые, разрезные гайки) которые имеют различные конструктивные особенности [4, 5,6].

В ранее предложенной конструкции разрезной конусной гайки на образующей конусной поверхности по винтовой линии был выполнен разрез, обеспечивающий уменьшение среднего диаметра резьбы вследствие взаимодействия с поверхностями корпуса и крышек.



Рис. 1. Разрезная гайка РВМ

а) схема разрезной гайки; б) твердотельная модель (*Pro/ENGINEER WF4*)

Принцип работы предлагаемой гайки заключается в следующем: при появлении зазоров, люфтов в РВМ производится поджатие гайки со стороны паза, в результате чего гайка перемещается в осевом направлении, так как наружная конусная поверхность контактирует с аналогичной поверхностью корпуса то происходит уменьшение разреза, а значит происходит изменение диаметра резьбы, тем самым выбирая зазоры.

Так как разрез на данной гайки изготавливается после шлифования резьбы то в нормальном, не деформированном состоянии смещение вершин и впадин резьбы на разрезе будет равно нулю, но в деформированном состоянии смещения будет иметь некоторую величину.

Для моделирования данной задачи спроектируем развертку внутренней резьбовой поверхности с разрезом (Рис.2). При увеличении видно, что смещение резьбы S зависит от угла наклона винтовой линии φ и величины зазора C . Что бы проследить изменение

смещения от угла разреза было смоделировано условие когда данный разрез выполнен по некоторой криволинейной поверхности и тем самым на разных участках имеет различные углы между образующей резьбы и касательной к разрезу в конкретной точке. В результате этого выяснилось, что угол разреза не влияет на смещение резьбы.

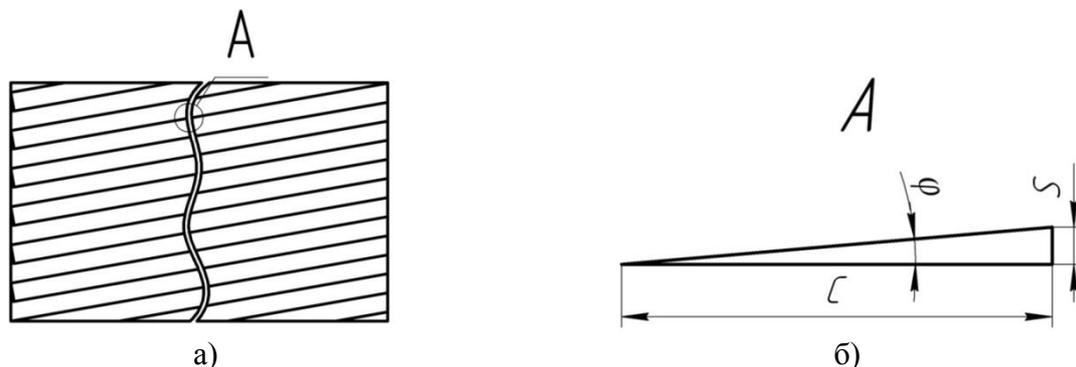


Рис. 2. Преобразование внутренней резьбовой поверхности RBM
а) развертка винтовой поверхности; б) схема определения смещения

Из рисунка 2б следует, что величина смещения равна:

$$S = C \cdot \operatorname{tg}(\varphi) \quad (1)$$

Угол наклона винтовой линии находится по формуле:

$$\operatorname{tg}(\varphi) = \frac{P \cdot n}{\pi \cdot D_{\text{ср}}} \quad (2)$$

где P – шаг резьбы, n – количество заходов резьбы, $D_{\text{ср}}$ – средний диаметр резьбы.

После преобразования получаем:

$$S = C \cdot \frac{P \cdot n}{\pi \cdot D_{\text{ср}}} \quad (3)$$

Так как гайка конусная, то уменьшение зазора будет изменяться от угла конуса и перемещения гайки в осевом направлении относительно корпуса.

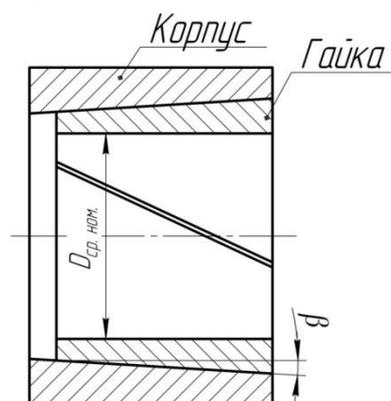


Рис.3. Схема соединения конусной гайки и корпуса RBM

Следовательно, зазор можно выразить как через изменение длины среднего диаметра, так и через угол и перемещение конуса:

$$C = \pi D_{\text{ср.ном.}} - \pi D_{\text{ср.изм.}} \quad (4)$$

$$C = 2 \cdot H \cdot \operatorname{tg}(\beta) \quad (5)$$

Здесь $D_{\text{ср.изм.}}$ – средний измененный диаметр резьбы, H – перемещение в осевом направлении.

Из формулы (1) выразим $D_{\text{ср.изм.}}$.

$$D_{\text{ср.изм.}} = \frac{\pi \cdot D_{\text{ср.ном.}} - 2 \cdot H \cdot \operatorname{tg}(\beta)}{\pi} \quad (6)$$

Подставляя полученные выражения в формулу (3), получим:

$$S = 2 \cdot H \cdot \operatorname{tg}(\beta) \cdot \frac{P \cdot n}{\pi \cdot D_{\text{ср.ном.}} - 2 \cdot H \cdot \operatorname{tg}(\beta)} \quad (7)$$

Одним из условий данного выражения следует учесть то, что разрез имеет определенную ширину и поэтому перемещение не должно быть больше следующего неравенства:

$$H \leq \frac{c}{2 \cdot \operatorname{tg}(\beta)} \quad (8)$$

Исходя из выполненных расчетов, смещение резьбы зависит от величины перемещения гайки в осевом направлении, угла конуса наружной поверхности гайки, шага резьбы и непосредственно среднего диаметра резьбы $D_{\text{ср}}$.

Используя полученные ранее данные конечно-элементного анализа основных элементов прецизионного устройства для преобразования вращательного движения в поступательное [5,6], была выбрана оптимальная конструкция со следующими параметрами: угол разреза гайки 40° , конус 10° , при пятизаходной резьбе с шагом $P = 1$ мм, среднем диаметре резьбы $D_{\text{ср}} = 50$ мм, ширине разреза 2 мм.

Для этой конструкции из выражения (7) получим:

$$S = 2 \cdot 5 \cdot \operatorname{tg}(10) \cdot \frac{1 \cdot 5}{\pi \cdot 50 - 2 \cdot 5 \cdot \operatorname{tg}(10)} = 0,057 \text{ (мм)}$$

Полученный результат, при данных параметрах гайки, говорит о том, что при полном выборе разреза, смещение резьбы на разных концах составит 0,057 мм (57 мкм). Это возможно при уменьшении среднего диаметра $D_{\text{ср}}$ на 1 мм, т.е. при сильном износе остальных составляющих РВМ: ролике и винте. При больших износах смещение резьбы гайки на 0,057 мм не будет являться критическим.

Список литературы

1. *Morozov, V.V., Zhdanov. A.V.* A New Aspects of the Planetary Roller-screw Mechanism Classification / International conference on automation, mechanical and electrical engineering (AMEE 2015) JUL 26-27, 2015 Phuket, THAILAND, pp: 875-881, Destech Publicat Inc, ISBN: 978-1-60595-237-6.
2. *Морозов, В.В.* РВМ. Кинематические характеристики.. (монография) / ВлГУ – Владимир, 2005. – 78 стр - ISBN 5-89368-634-9
3. *Морозов, В.В., Жданов, А.В.* РВМ. Надежность и долговечность: (монография)/ М.: Изд-во «Перо», 2015. – 152 стр. - ISBN 978-5-906835-89-5
4. *Tselishchev, A.S., Zharov, I.S.* Elastic elements in roller-screw mechanisms// Russian Engineering Research, v.28, No.11, pp.1040-1043, 2008
5. *Степенькин, А.В.* и др. Конечно-элементный анализ эластичного элемента РВМ / / А.В. Степенькин, И.В. Шинаков, А.В. Жданов/Научно-технический вестник Поволжья, Казань: НТВП, 2015. – №5., – С. 284-286. ISSN 2079-5920
6. *Patent 144114/ A device for converting rotational motion into linear/ Zhdanov, A.V., Shtych, D.V., Stepenkin, A.V.*

05.02.00

**Ю.Н. Сургутанова, к.т.н., Н.А. Сургутанов, Н.Н. Микушев, П.Е. Киселев,
П.А. Шляпников, А.А. Мещерякова**

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева
(Самарский университет), кафедра сопротивления материалов,
Самара, sopromat@ssau.ru

ЗАВИСИМОСТЬ ПРЕДЕЛА ВЫНОСЛИВОСТИ ОБРАЗЦОВ С НАДРЕЗАМИ ОТ ТОЛЩИНЫ УПРОЧНЁННОГО ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ

Проведённое исследование показало, что при опережающем поверхностном пластическом деформировании увеличение толщины слоя со сжимающими остаточными напряжениями гладких образцов приводит к повышению предела выносливости образцов с надрезами за счёт увеличения сжимающих остаточных напряжений в их опасном сечении. С увеличением диаметра образцов при одной и той же упрочняющей поверхностной обработке толщина слоя со сжимающими остаточными напряжениями возрастает за счёт повышения жёсткости образцов. Оценка приращения предела выносливости поверхностно упрочнённых цилиндрических образцов с круговыми надрезами полукруглого профиля даёт приемлемые для практики результаты, что позволит значительно сократить длительные и дорогостоящие испытания на усталость.

Ключевые слова: образцы различного диаметра, поверхностное упрочнение, предел выносливости, критерий среднеинтегральных остаточных напряжений.

В практике современного машиностроения при финишной обработке деталей механизмов и машин широкое применение нашли различные методы поверхностного пластического деформирования (ППД), которые приводят к существенному повышению сопротивления деталей усталости. Проведённые к настоящему времени экспериментальные исследования [1-3] показывают, что эффективность обработки ППД зависит от величины и характера распределения сжимающих остаточных напряжений в упрочнённом поверхностном слое деталей.

1. Экспериментальные исследования

Исследовалось влияние толщины упрочнённого поверхностного слоя при опережающем поверхностном пластическом деформировании (ОППД) на предел выносливости образцов из стали 20 ($\sigma_e=522$ МПа, $\delta=26,1\%$, $\sigma_{0,2}=395$ МПа, $\psi=65,9\%$, $S_k=1416$ МПа) в условиях концентрации напряжений.

Для создания упрочнённого слоя различной толщины гладкие образцы диаметрами $D=10$ мм, $D=25$ мм и $D=25$ мм с отверстием диаметром $d=15$ мм подвергались пневмодробеструйной обработке (ПДО), а также обкатке роликом (ОР) при усилиях $P=0,5$ кН (ОР1) и $P=1,0$ кН (ОР2). Остаточные напряжения в гладких образцах определялись методом удаления части цилиндрической поверхности ($D=10$ мм), а также методом колец и полосок.

Экспериментальные исследования показали, что в образцах диаметром $D=25$ мм сжимающие остаточные напряжения и глубина их залегания несколько выше, чем в образцах диаметром $D=10$ мм за счёт повышения жёсткости образцов с увеличением диаметра.

Максимальные сжимающие остаточные напряжения после использованных в исследовании методов поверхностного упрочнения различаются незначительно, составляя после пневмодробеструйной обработки -338 МПа ($D=10$ мм) и -342 МПа ($D=25$ мм), а после обкатки роликом -362 МПа ($D=10$ мм) и -364 МПа ($D=25$ мм). Однако толщина слоя со сжимающими остаточными напряжениями (толщина упрочнённого слоя) различается существенно, составляя после ПДО 0,29 мм ($D=10$ мм) и 0,33 мм ($D=25$ мм), после ОР при $P=0,5$ кН - 0,48 мм ($D=10$ мм) и 0,52 мм ($D=25$ мм), а после ОР при $P=1,0$ кН - 0,69 мм ($D=10$ мм) и 0,71 мм ($D=25$ мм). Следовательно, толщина упрочнённого слоя со сжимающими остаточными напряжениями после обкатки роликом при $P=1,0$ кН превышает соответствующую толщину слоя после пневмодробеструйной обработки в 2,2 – 2,4 раза.

На все неупрочнённые и упрочнённые гладкие образцы фасонным резцом наносились круговые надрезы полукруглого профиля двух радиусов: $R = 0,3$ мм и $R = 0,5$ мм. Остаточные напряжения в упрочнённых образцах с надрезами определялись как аналитическим, так и численным методами – суммированием дополнительных остаточных напряжений, возникающих за счёт перераспределения остаточных усилий образцов при нанесении надрезов, и исходных остаточных напряжений. Распределение осевых σ_z остаточных напряжений по толщине a поверхностного слоя наименьшего сечения образцов с надрезами приведено на рисунке 1.

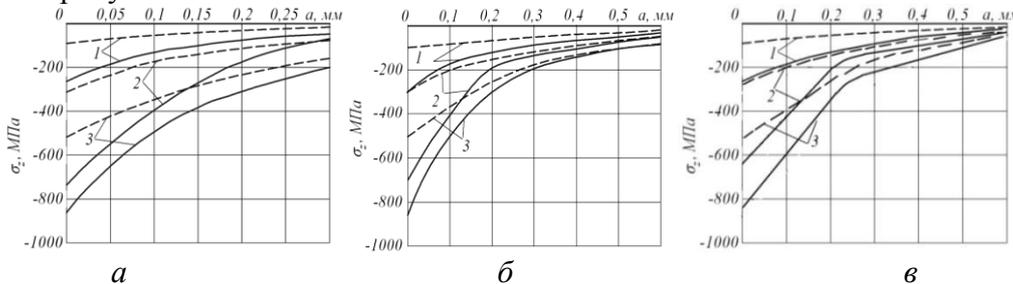


Рис. 1 – Осевые σ_z остаточные напряжения в образцах диаметром $D = 10$ мм (а), $D = 25$ мм (б) и $D = 25$ мм, $d = 15$ мм (в) с надрезами (— — $R = 0,3$ мм; - - - - $R = 0,5$ мм) после: 1 – ПДО; 2 – ОР1; 3 – ОР2

Из приведённых на рисунке 1 данных видно, что в упрочнённых роликом образцах с надрезами сжимающие остаточные напряжения существенно выше как на поверхности, так и по толщине поверхностного слоя наименьшего сечения, чем в образцах, упрочнённых пневмодробеструйной обработкой.

Испытания на усталость при изгибе в случае симметричного цикла образцов с надрезами диаметром $D = 10$ мм проводились на машине МУИ-6000, диаметром $D = 25$ мм – на машине УММ-01, база испытаний – $3 \cdot 10^6$ циклов нагружения. Результаты определения предела выносливости σ_{-1} приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты испытаний на усталость образцов с надрезами

D, мм	d, мм	R, мм	Неупрочн. образцы σ_{-1} , МПа	Упрочнённые образцы			
				обработка	σ_{-1} , МПа	$\bar{\sigma}_{ост}$, МПа	$\bar{\psi}_\sigma$
10	0	0,3	110	ПДО	155	-126	0,357
				ОР1	230	-337	0,356
				ОР2	267,5	-454	0,347
		0,5		ПДО	137,5	-48	0,365
				ОР1	187,5	-178	0,379
				ОР2	250	-333	0,390
25	0	0,3	107,5	ПДО	137,5	-87	0,345
				ОР1	165	-171	0,336
				ОР2	175	-202	0,334
		0,5		ПДО	130	-52	0,337
				ОР1	150	-111	0,338
				ОР2	172,5	-169	0,355
25	15	0,3	95	ПДО	127,5	-88	0,368
				ОР1	155	-181	0,331
				ОР2	177,5	-248	0,333
		0,5		ПДО	127,5	-47	0,372
				ОР1	152,5	-128	0,332
				ОР2	182,5	-218	0,333

Из приведённых в таблице 1 данных следует, что предел выносливости образцов с надрезами после обкатки роликом существенно выше, чем после пневмодробеструйной обработки. При радиусе надреза $R = 0,3$ мм предел выносливости σ_{-1} образцов после ОР2 повысился в 2,4 ($D = 10$ мм) и в 1,6 ($D = 25$ мм) раза, а после ПДО только в 1,4 ($D = 10$ мм) и в 1,3 ($D = 25$ мм) раза. С увеличением радиуса надреза до 0,5 мм это различие повышается. Следовательно, с увеличением толщины упрочнённого поверхностного слоя (толщины слоя со сжимающими остаточными напряжениями) гладких образцов при ОПД предел

выносливости образцов с надрезами, нанесёнными на эти гладкие образцы, повышается.

В упрочнённых образцах после испытаний на усталость были обнаружены нераспространяющиеся трещины усталости, которые для образцов диаметром $D = 10$ мм имели концентрическую, а для образцов диаметром $D = 25$ мм и D/d .

2. Расчётные исследования

Оценка влияния поверхностного упрочнения на предел выносливости образцов с надрезами проводилась по критерию среднеинтегральных остаточных напряжений $\bar{\sigma}_{ост}$ [4]

$$\bar{\sigma}_{ост} = \frac{2}{\pi} \int_0^1 \frac{\sigma_z(\xi)}{\sqrt{1-\xi^2}} d\xi,$$

где $\sigma_z(\xi)$ – осевые остаточные напряжения в наименьшем сечении образца (детали) по толщине поверхностного слоя a , $\xi = a/t_{кр}$ – расстояние от дна надреза до текущего слоя, выраженное в долях $t_{кр}$ (рис.1), $t_{кр}$ – критическая глубина нераспространяющейся трещины усталости, возникающей при работе образца (детали) на пределе выносливости.

Приращение предела выносливости упрочнённых образцов $\Delta\sigma_{-1}$ с использованием критерия $\bar{\sigma}_{ост}$ определялось по зависимости

$$\Delta\sigma_{-1} = \bar{\psi}_\sigma |\bar{\sigma}_{ост}|,$$

где $\bar{\psi}_\sigma$ – коэффициент влияния поверхностного упрочнения на предел выносливости по разрушению.

Значения критерия среднеинтегральных остаточных напряжений $\bar{\sigma}_{ост}$ и коэффициента $\bar{\psi}_\sigma$ приведены в таблице 1. Можно видеть, что коэффициент $\bar{\psi}_\sigma$ имеет небольшое рассеяние, составляя в среднем для образцов диаметром $D = 10$ мм значение 0,366, диаметром $D = 25$ мм – 0,341, диаметром $D/d = 25/15$ мм/мм – 0,345, и незначительно отличается от значения $\bar{\psi}_\sigma = 0,36$, установленного в [4] для упрочнённых образцов и деталей с аналогичной концентрацией напряжений.

Выводы

1. Проведённое исследование показало, что при опережающем поверхностном пластическом деформировании увеличение толщины слоя со сжимающими остаточными напряжениями гладких образцов приводит к повышению предела выносливости образцов с надрезами за счёт увеличения сжимающих остаточных напряжений в их опасном сечении.

2. С увеличением диаметра гладких образцов (деталей) при одной и той же поверхностной упрочняющей обработке толщина слоя со сжимающими остаточными напряжениями возрастает за счёт повышения жёсткости образцов.

3. Оценка приращения предела выносливости поверхностно упрочнённых образцов по критерию среднеинтегральных остаточных напряжений даёт приемлемые для практики результаты, что позволит значительно сократить длительные и дорогостоящие испытания на усталость.

Список литературы

1. *Иванов, С.И.* Влияние остаточных напряжений и наклёпа на усталостную прочность [Текст] / С.И. Иванов, В.Ф. Павлов // Проблемы прочности, 1976. – №5. – С. 25-27.
2. *Павлов, В.Ф.* Связь остаточных напряжений и предела выносливости при кручении в условиях концентрации напряжений [Текст] / В.Ф. Павлов, А.А. Прохоров // Проблемы прочности. – 1991. – №5. – С. 43-46.
3. *Радченко, В.П.* Влияние превмодробеструйной обработки и термоэкспозиции на остаточные напряжения и предел выносливости образцов с надрезами из сплавов В95 и Д16Т [Текст] / В.П. Радченко, В.А. Кирпичёв, В.В. Лунин // Вестник Сам ГТУ. Сер.: физ-мат. науки, 2011. – № 3 (24). – С. 181-184.
4. *Павлов, В.Ф.* Остаточные напряжения и сопротивление усталости упрочнённых деталей с концентраторами напряжений [Текст] / В.Ф. Павлов, В.А. Кирпичёв, В.С. Вакулюк – Самара: Издательство СНЦ РАН, 2012. – 125 с.

**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И
ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ (05.11.00)**

05.11.00

А.В. Алексеев

Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева,
Институт радиоэлектроники и телекоммуникаций (ИРЭТ),
Кафедра радиофотоники и микроволновых технологий (РФМТ),
Казань, alex.seev2@mail.ru

ОПЫТ СОЗДАНИЯ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ЛАБОРАТОРИИ В ТЕХНИЧЕСКОМ ВУЗЕ

В работе описаны результаты сотрудничества различных научно-исследовательских образовательных учреждений и создание междисциплинарной межведомственной лаборатории в техническом университете.

Ключевые слова: лаборатория, НИИ, живые системы, биофотоника.

В данной статье описывается создание биологической лаборатории в техническом университете. При создании руководствовались Постановлением Правительства РФ от 17 октября 2006 г. N 613 "О федеральной целевой программе "Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007 - 2012 годы" [1].

1-го декабря 2012 года в рамках Соглашения о сотрудничестве между Казанским научным центром РАН и ФГБОУ ВПО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н.Туполева - КАИ» от 14 мая 2010 г. был заключен договор о создании совместной лаборатории. Согласно договору стороны обязались сотрудничать в области осуществления научно-исследовательской и образовательной деятельности. Сотрудничество включало в себя создание совместной научной лаборатории «Механизмы передачи информации в живых системах» на базе КИББ КазНЦ РАН (лаборатория биофизики синаптических процессов, руководитель академик РАН Е.Е.Никольский) и КНИТУ-КАИ (НИИ Прикладной электродинамики, фотоники и живых систем (НИИ ПРЭФЖС) КНИТУ-КАИ, руководитель д.т.н., профессор О.Г. Морозов).

Целями создаваемой лаборатории являлись:

а). Проведение научных исследований по изучению механизмов передачи информации в живых системах, молекулярных механизмов воздействия электромагнитных волн различных диапазонов на организм человека и животных, механизмов развития социально значимых заболеваний нервной системы и разработке новых методов их лечения, причин и механизмов развития нарушений функции опорно-двигательного аппарата людей, находившихся в условиях гипогравитации (космические полеты), механизмов терапевтического действия низкоинтенсивных лазеров для стимуляции процессов регенерации нервной ткани.

б). Разработка современных методов анализа медико-биологической информации, совершенствование существующих методов анализа видеоизображений, создание современного оборудования, необходимого для внедрения в практику новых технологий исследования живых систем (наноманипуляторы, наноинъекторы, усилители, предназначенные для регистрации слабых электрических сигналов).

в). Подготовка специалистов, обладающих современными знаниями в области нейронаук для их эффективного включения в состав научно-исследовательских групп, работающих в области исследования живых систем.

г). Коммерциализация разрабатываемых технологий в различных сферах хозяйственной деятельности.

На этапе своего становления Лаборатория базировалась на площадях КазНЦ РАН. Это дало возможность эффективно использовать потенциал лаборатории биофизики

синаптических процессов КИББ КазНЦ РАН, оснащенной современным оборудованием, позволяющим реализовать различные методы получения информации от живых систем, визуализировать отдельные клетки и субклеточные структуры с применением самых современных типов микроскопов (включая лазерный сканирующий микроскоп), знания и опыт сотрудников лаборатории, владеющих различными клеточными технологиями, дающими возможность в модельных условиях изучать процессы передачи информации в нервной системе, исследовать процессы формирования нервных сетей, механизмы, обеспечивающие высокий уровень надежности передачи информации между отдельными клетками.

Создание лаборатории потребовало использования научного оборудования как института биохимии и биофизики КазНЦ РАН, так и, оборудования НИИ ПРЭФЖС, был создан целый комплекс для научных изысканий. В целях реализации данного Договора в КНИТУ-КАИ был создан отдел междисциплинарной межведомственной лаборатории.

В настоящее время, на базе вышеуказанной лаборатории студенты и магистранты НИИ ПРЭФЖС КНИТУ-КАИ осуществляют учебную и научную деятельность. Так, там проходят занятия по дисциплинам: «Биофотоника», «Техническая фотоника живых систем» и «Метрологическое обеспечение информационных и электродинамических процессов в живых системах».

Помимо КИББ КазНЦ РАН отдел междисциплинарной межведомственной лаборатории НИИ ПРЭФЖС сотрудничает с ФГБОУ ВПО «Великолукская государственная академия физической культуры и спорта». Предметом Договора является сотрудничество в сфере образования и науки, содействие эффективному функционированию систем высшего, дополнительного профессионального образования, подготовка высококвалифицированных специалистов с высшим образованием и научных кадров высшей квалификации, непрерывное повышение квалификации работников, интеграция профессионального образования и науки, совместное решение научных задач, выполнение грантов.

В дальнейшем в структуре НИИ ПРЭФЖС был создан НОЦ «Техническая электродинамика, фотоника и живые системы» (см. рис. 1).



Рис. 1- Структура НИИ технического вуза, включающая в свою структуру биологически Научно-образовательный центр

Благодаря лаборатории были защищены десятки магистерских диссертаций в рамках направления магистерской подготовки «Техническая электродинамика и фотоника живых систем». По материалам этих работ издано полтора десятка научных статей [2-13], в том числе и в журналах базы «Scopus» [5-11]. Отдельно следует отметить печатные работы на грани биологических и технических наук [12, 13] и монографии [14, 15].

В 2012-2013-м учебном году в лаборатории проходили обучение три соискателя магистерской ученой степени, в 2013-2014-м – шесть соискателей, в 2014-2015-м году –

четыре. В нынешнем учебном году в лаборатории проходила обучение группа магистрантов, состоящая из 5-и студентов. Порядка трети выпускников, обучающихся в лаборатории, продолжают свою научно-исследовательскую деятельность, будучи аспирантами. Были успешно защищены докторская и кандидатские диссертации по биологии.

На описываемую биологическую структуру в техническом вузе были получены трехлетние инициативные гранты РФФИ и тревел-грант «Алгарыш» на стажировку группы магистрантов и аспирантов в Техническом университете г. Ильменау (ФРГ).

Таким образом, приведенные совокупные данные говорят о несомненной успешности создания биологической структуры в технической вузе.

Список литературы

1. Постановление Правительства РФ от 17 октября 2006 г. N 613 "О федеральной целевой программе "Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007 - 2012 годы"
2. Морозов Г.А. Функционирование скелетных мышц крысы в условиях моделирования невесомости / Морозов Г.А., Сафиуллин Р.С., Еремеев А.А., Гришин С.Н., Морозов О.Г., Никольский Е.Е. // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. - 2010.- Т. 12(33).- №4(3).- С. 717-721.
3. Гришин С.Н. Пуринергическая регуляция синаптической передачи фазных и тонических мышц позвоночных / С.Н. Гришин, О.Г. Морозов, В.И. Анфиногентов, Р.Р. Камалиев, Г.А. Морозов, А.У. Зиганшин // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. - 2010.- Т. 12(33).- №4(3).- С. 710-713.
4. Grishin S.N., Kamaliev R.R., Teplov A.Yu., Ziganshin A.U. Opposite effect of ATP on contraction force of tonic and phasic skeletal muscles in frogs / Bulletin of Experimental Biology and Medicine. 2011. Т. 151. № 3. С. 280-283.
5. Mukhamedyarov M.A., Leushina A.V., Zefirov A.L., Teplov A.Y., Grishin S.N., Palotás A. Extraneuronal toxicity of Alzheimer's β -amyloid peptide: comparative study on vertebrate skeletal muscles / Muscle and Nerve. 2011. Т. 43. № 6. С. 872-877.
6. Grishin S.N., Ziganshin A.U. 2013. Modulatory role of purines in neuromuscular transmission. *Biochem. (Mosc.)*. 7 (3), 183–191.
7. Grishin S.N. 2014. Transmembrane calcium current: mechanism, registration procedures, Ca^{2+} -mediated modulators of synaptic transmission. *Biochem. (Mosc.) Suppl. Series A*. 8 (3), 213–224.
8. Grishin S.N., Ziganshin A.U. 2015. Synaptic organization of tonic motor units in vertebrates *Biochemistry (Moscow) Supplement Series A: Membrane and Cell Biology* 9(1): 13–20.
9. Grishin S.N. Neuromuscular transmission in Ca^{2+} -free extracellular solution. *Biochemistry (Moscow) Supplement Series A: Membrane and Cell Biology*. 2016. V. 10 (2). P. 99–108.
10. Хайруллин А.Е., Зиганшин А.У., Гришин С.Н. Функционирование двигательных единиц при различных температурах. Биологические Мембраны. 2016, принята в печать
11. Эшпай Р.А., Хайруллин А.Е., Каримова Р.Г., Нуриева Л.Р., Ризванов, А.А., Мухамедьяров М.А., Зиганшин А.У., Гришин С.Н. Параметры одиночных и суммированных сокращений скелетных мышц *in vivo* и *in vitro* / Гены & Клетки. 2015. Т. X. № 4. С. 123-126.
12. Эшпай Р.А., Гришин С.Н., Теплов А.Ю., Сафиуллин Р.С., Морозов Г.А., Фархутдинов А.М., Хайруллин А.Е., Морозов О.Г. Одновременная регистрация сокращения различных типов скелетных мышц *in vivo* / Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2014. Т. 16. № 5-5. С. 1812-1814.
13. Филимонов А.С., Сафиуллин Р.С., Морозов Г.А., Гришин С.Н., Морозов О.Г. Корреляция механограммы одиночного сокращения скелетной мышцы крысы в норме и патологии с кривыми переходного процесса многозвенного полосового фильтра / Нелинейный мир. 2013. Т. 11. № 5. С. 323-326.
14. Гришин С.Н. 2010. Кальциевый ток. Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 90 с.
15. Гришин С.Н., Зиганшин А.У. Котрансмиттерная модуляция мионевральной передачи в различных типах двигательных единиц. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2015. - 240 с.

05.11.01

А.П. Буйносов д.т.н., Д.С. Денисов

Уральский государственный университет путей сообщения, кафедра
«Электрическая тяга», Екатеринбург, buinosov@mail.ru, ds.denisov7@yandex.ru

ПРИБОР ДЛЯ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО МЕТОДА КОНТРОЛЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ РЕЛЬСОВ

В статье приведены принцип работы разработанного прибора для неразрушающего метода контроля качества металла рельсов, использование которого позволит повысить безопасность движения поездов, корректировать процессы нагрева и охлаждения для обеспечения необходимого качества термоупрочнения рельсов.

Ключевые слова: *железнодорожный транспорт, рельс, метод, контроль, неразрушающий, прибор.*

Качество рельсов влияет на срок их службы и тем самым на эксплуатационные расходы, экономические показатели железнодорожного транспорта. Рельсы являются основным элементом верхнего строения железнодорожного пути, воспринимающим воздействие от колес подвижного состава. Работоспособность рельсов определяется их массой (профилем поперечного сечения), химическим составом и качеством рельсовой стали, технологией термической обработки и другими факторами [1].

Для оценки качества термообработки металла на заводе-изготовителе осуществляют текущий контроль по твердости выборочно – на каждом 20-ом рельсе и 10-ом остряке. Если твердость удовлетворяет техническим условиям и (или) ГОСТ Р 51685-2013, то вся партия рельсов принимается в дальнейшую эксплуатацию. При этом высокая вероятность того, что в числе признанных годными рельсов могут оказаться и рельсы с низкой твердостью и низкой износостойкостью. В связи с этим встала необходимость введения входного контроля рельсов, поставляемых на железную дорогу в дистанциях пути и рельсосварочных предприятиях (РСП).

В промышленности все большее применение находят неразрушающие магнитные методы контроля качества изделий. Они основываются на измерении параметров магнитных свойств материала [2]. В результате исследований установлено, что достоверной характеристикой, отражающей структурное состояние углеродистых сталей, является коэрцитивная сила [3]. Это объясняется следующим. В размагниченном состоянии ферромагнетики, к которым относятся рельсовая сталь, состоят из отдельных доменов (малые области с линейными размерами 10^{-3} – 10^{-4} см), где магнитные моменты выстроены параллельно и лежат в одном из направлений легкого намагничивания, а величина намагниченности в них равна или близка к намагниченности насыщения. Так как векторы намагниченности доменов распределены в пространстве равномерно, то суммарный магнитный момент образца равен нулю [3].

Во внешнем поле намагничивание осуществляется путем смещения границы между доменами и поворотом вектора намагниченности доменов к направлению поля. Неоднородные напряжения, возникающие при закалке на мартенсит, распаде переохлажденного аустенита, выделении дисперсных фаз, под воздействием поля дислокаций и в других случаях, препятствуют перемещению стенок доменов. Для установления взаимосвязи между магнитными и механическими свойствами рельсовой стали были проведены измерения коэрцитивной силы и твердости после различных режимов термической обработки рельсовой стали.

Коэрцитивная сила является структурно-чувствительной характеристикой металла. Для определения зависимости между коэрцитивной силой и твердостью рельсовой стали (HRB или HB), соответствующей конкретной структуре были подготовлены специальные образцы – эталоны с различным структурным состоянием. Образцы размером 10,5×10,5×100 мм были изготовлены из горячедеформированного нетермообработанного рельса производства НТМК, плавки Л-321, имеющей химический состав. Полученные данные сравнивались с

результатами, аналогичных измерений на образцах размером 10×10×100 мм, вырезанных из термообработанного на сорбит закалки рельса плавки 307Х, представлены в таблице.

Таблица. Твердость (HRC_Э), коэрцитивная сила (H_С) и микроструктура образцов после термической обработки по различным режимам

№ Образца	Состояние	HRC _Э	H _С	Структура
1	2	3	4	5
7	Горячекатанное + противоблоксная обработка (замедленное охл. после прокатки до 500–400 °С + отпуск 600 °С 2 ч.)	30	39	Сорбитообразный и скрытопластинчатый перлит + неб. кол. тонкопластинчатого перелита + отдельные тонкие выделения феррита. Колонии перлита крупные
1	Закалка ($T_H = 850$ °С, $\tau_{\text{выд}} = 30$ мин., охлаждение в воде)	62	102	Средне игольчатый мартенсит
3	Закалка аналогично образцу № 1, Высокий отпуск 500 °С, $\tau_{\text{выд}1} = 30$ мин., охлаждение в воде	37	65	Сорбит отпуска. Карбиды дисперсные
5	Закалка аналогично образцу № 1, Высокий отпуск 620 °С, 30 мин., охлаждение в воде	32	59	Сорбит отпуска с глобулярными карбидами
2	Изотермическая закалка ($T_H = 850$ °С, 30 мин., перенос в ванну $T_{\text{из}} = 500$ °С, 30 мин.)	36	50	Сорбит закалки
4	Изотермическая закалка $T_{\text{изот}} = 620$ °С	32	44	Сорбит закалки + тонкопластинчатый перлит. Структура крупнее, чем в обр. № 2, но мельче, чем в образце № 7
Образцы из рельса				
5, 9, 10	Объемная закалка в масле на НТМК	37	51	Сорбит закалки
6	Объемная закалка в масле на НТМК, центр. часть рельса	34	47	Сорбит закалки + неб. кол-во тонкопластинчатого перлита + отд. тонкие включения феррита. Структура мельче, чем в обр. № 4

Из приведенных данных видно, что с повышением степени дисперсности пластинчатых структур коэрцитивная сила и твердость равномерно увеличивается, что указывает на установление однозначной зависимости между этими характеристиками. Это позволяет определить твердость рельсовой стали по показаниям коэрцитивной силы и отличить закаленное состояние от незакаленного.

Для контроля качества термической обработки рельсов был разработан в УрГУПС прибор со встроенным внутри корпуса датчиком с меньшими габаритными размерами прибора 87×45×160 мм, весом 1,4 кг, с глубиной измерения от 1,5 до 5 мм, со временем измерения 1 с. На основе измерения магнитной проницаемости разработан новый прибор.

Прибор обладает существенными преимуществами по сравнению с известными приборами – коэрцитиметрами подобного класса. Так, в приборе обеспечена независимость значений величины тока размагничивания от нестабильности зазора между полюсами датчика и поверхностью деталей в интервале от 0–1,5 мм. Важной особенностью прибора К-61 является также его более высокая чувствительность к структурным изменениям в стали [4].

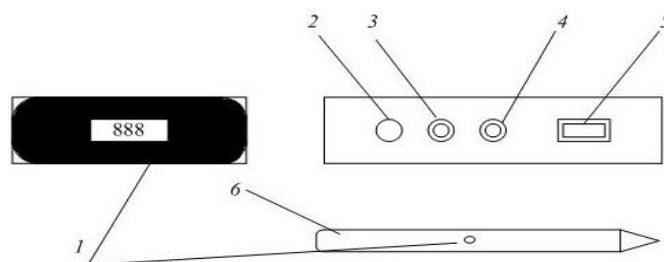


Рисунок. Расположение органов управления и настройки прибора:
1 – кнопка запуска измерения; 2 – разъем подключения сетевого кабеля;
3 и 4 – вставки плавкие; 5 – кнопка включения прибора; 6 – датчик

Высокая чувствительность прибора К-61 позволяет увеличить достоверность контроля и отбраковать детали со структурными дефектами, которые могут быть отнесены к годным при использовании других типов приборов неразрушающего контроля. Прибор позволяет вести 100 % контроль качества всех поставляемых деталей.

Для отработки методики неразрушающего контроля металла рельсов в зоне сварного стыка по показаниям коэрцитивной силы, была исследована микроструктура и твердость (HRC) на продольных образцах, изготовленных из головки рельсов после их контактной сварки и термообработки на РСП-4 Свердловской железной дороги. Получили, что данный прибор может быть использован при работе в РСП для проведения входного контроля.

С целью подбора рельсов с близкими значениями твердости; разделения «сырых» и термоупрочненных рельсов, контроля качества термообработки в зоне сварного шва. Проведенные измерения показали, что разработанный малогабаритный переносной цифровой прибор-структуроскоп может использоваться для неразрушающего контроля твердости и структурного состояния рельсов в зоне сварного стыка после термоупрочнения, а также для входного контроля рельсов, остяков и других деталей из ферромагнитных материалов. В основе выбранного метода контроля лежит эффект зависимости магнитных свойств (коэрцитивной силы) от структуры и твердости применяемых сталей.

Применение прибора по сравнению с традиционным контролем твердости по методу Бринелля позволяет: повысить безопасность движения за счет большей достоверности информации о качестве материала используемых деталей; контролировать изготовление рельсовых плетей непосредственно в технологической линии и на складах, оперативно корректировать процессы нагрева и охлаждения для обеспечения необходимого качества термоупрочнения; не требуют специальной подготовки поверхности (допускается наличие небольшого обезуглероживания, незначительной окалины, шероховатости и ржавчины); показания прибора не зависят от того как расположен рельс в пространстве.

Минимальный годовой экономический эффект от внедрения одного прибора составляет 15 тыс. руб. в год при сроке окупаемости 1,8 года. Прибор проходит апробацию на 15-ти производственных предприятиях Свердловской и Южно-Уральской железных дорог ОАО «РЖД». По требованию заказчика прибор имеет автономный источник питания с количеством измерений до 200 без подзарядки.

Список литературы

1. Буйнов А.П. Основные причины интенсивного износа бандажей колесных пар подвижного состава и методы их устранения. – Екатеринбург: УрГУПС, 2009. – 224 с.
2. Буйнов А.П., Денисов Д.С. О разработке прибора неразрушающего метода контроля бандажей колесных пар локомотивов // Научно-технический вестник Поволжья. – 2014. – № 4. – С. 69–72.
3. Горский А.В., Буйнов А.П., Боярских Г.С., Лавров В.А. Бандажи и рельсы (опыт Свердловской дороги) // Локомотив. – 1992. – № 4. – С. 25–33.
4. Буйнов А.П., Михайлова Н.А., Михайлова О.М. Прибор для контроля рельсов // Путь и путевое хозяйство. – 2010. – № 10. – С. 13–15.

05.11.00

М.П. Данилаев, Н.В. Дорогов, Е.А. Богослов, В.И. ГурьевКазанский национальный технический исследовательский университет
им. А.Н. Туполева-КАИ**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ СТЕНД ПО ОТРАБОТКЕ УПРАВЛЕНИЯ
ИНТЕГРАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОТЕПЛОВОЙ ПРОТИВООБЛЕДЕНИТЕЛЬНОЙ
СИСТЕМОЙ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА**

В работе приведены результаты исследования интегральной противообледенительной системы (ИПОС). Показано, что применение ИПОС позволяет снизить энергозатраты на борьбу с обледенением по сравнению с существующими электротепловыми ПОС ~30%.

Ключевые слова: *интегральная противообледенительная система.*

Современный этап развития электротепловых противообледенительных систем (ПОС) летательных аппаратов (ЛА) направлен на снижении удельного энергопотребления и устранения образования барьерного льда. Одной из перспективных систем ПОС, позволяющих обеспечить приемлемое значение удельного энергопотребления является интегральная ПОС с использованием фторопластовых пленок [1,2]. Интегральная ПОС включает пассивную часть – противообледенительные покрытия на основе фторопластовой пленки, и активную часть – электронагревательные элементы, встроенные в элементы конструкции ЛА [3,4]. Использование в качестве нагревательных элементов токопроводящего фторопласта позволяет снизить вероятность перегрева и прогара конструктивных элементов, выполненных из композитных материалов, а также вероятность возникновения внутренних напряжений в конструктивных элементах, за счет использования материалов с близкими по значению коэффициентами температурного расширения. Предварительные эксперименты показали [1,5], что наиболее целесообразно использовать интегральную ПОС в режиме удаления наледи, что обеспечивает лучшие показатели по удельному энергопотреблению по сравнению с типовыми электротепловыми ПОС. Однако, снижение удельного энергопотребления требует определения циклограмм управления нагревательными элементами такой ПОС при различных погодных условиях (температура, влажность, высотность и др.).

Целью данной работы является разработка экспериментального стенда по отработке управления нагревательным элементом интегральной ПОС в режиме удаления наледи.

В режиме удаления наледи нагревательный элемент включается только на промежуток времени (ΔT), необходимым для образования водяного слоя между льдом и элементом конструкции ЛА. Этого оказывается достаточным для того, чтобы набегающий поток воздуха сбросил образовавшийся лед с защищаемой поверхности [6]. Промежуток времени ΔT зависит от большого числа факторов, основными из которых являются: материал, из которого выполнен защищаемый элемент конструкции ЛА и его конструкция, характеристики нагревательного элемента, например, толщина проводящей фторопластовой пленки, внешние погодные условия, скорость набегающего потока. Следует отметить, что в реальных условиях эксплуатации ЛА количество сигналов, по которым осуществляется управление нагревательным элементом интегральной ПОС, ограничено разрешенными к эксплуатации на борту ЛА датчиками. Основными датчиками, информацию с которых возможно использовать для выработки сигналов управления являются: датчик скорости набегающего потока и датчик температуры потока. При этом система управления нагревательным элементом интегральной ПОС должна обеспечивать такое значение величины ΔT , при которой достигается максимально возможная для данного типа ЛА удельная энергоэффективность.

В соответствии с авиационными правилами АП-25 стенд управления нагревательным элементом интегральной ПОС должен обеспечивать следующие характеристики:

- диапазон температур на поверхности аэродинамического профиля: $[0; 4]^{\circ}\text{C}$;
- точность измерения температуры: не хуже $0,1^{\circ}$;
- характерное быстродействие датчиков температуры: не менее 1мс ;
- возможность записи и хранения экспериментальных данных (циклограмм).

Структурная схема экспериментального стенда управления нагревательным элементом интегральной ПОС представлена на рис.1.

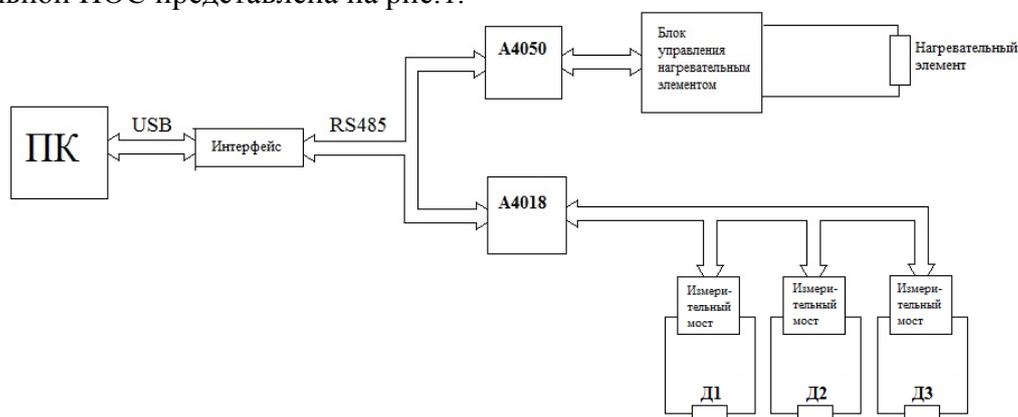


Рис. 1 Структурная схема стенда.

Используемый в стенде аналоговый модуль Adam4018 осуществляет сбор информации по 3 независимым каналам, что позволяет контролировать температуру в двух точках (рис.2) на поверхности профиля и температуру набегающего потока. Достижение требуемой точности измерения температуры осуществляется за счет использования в качестве термочувствительных элементов терморезисторов HEL-712, включенных по мостовой схеме. Использование мостовой схемы включения позволило значительно снизить влияния внешних помех на АЦП модуля и одновременно обеспечить согласование входов АЦП с терморезисторами. Канал измерения температуры обеспечивает точность измерения температуры в пределах $\pm 0,1\text{C}^{\circ}$ в пределах заданного температурного диапазона.

Структурная схема экспериментальной установки по исследованию интегральной ПОС в режиме удаления наледи представлена на рис.2. Отработка режимов управления нагревательным элементом интегральной ПОС проводилась на масштабированных элементах конструкции ЛА в аэродинамической трубе открытого типа [1].

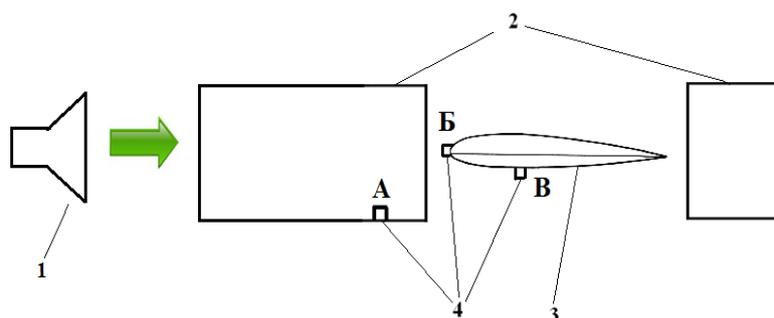


Рис.2. Схема экспериментальной установки.

В состав экспериментальной установки входят: 1 – устройство формирования двухфазного потока мелкодисперсных капель воды и воздуха, 2 – воздуховод, 3 – аэродинамический профиль с интегральной ПОС, 4 – датчики температуры (А – датчик температуры воздушного потока, Б – датчик температуры передней кромки аэродинамического профиля в зоне расположения нагревательных элементов, В – датчик температуры аэродинамического профиля). Воздуховод 2 изготавливался из материала с низким коэффициентом теплопроводности, площадь рабочего сечения $\sim 0,07\text{ м}^2$. Контроль

температуры осуществлялся с помощью контактных датчиков температуры 4 (А – датчик температуры воздушного потока, Б – датчик температуры передней кромки аэродинамического профиля в зоне расположения нагревательных элементов, В – датчик температуры аэродинамического профиля). Скорость набегающего потока контролировалась анемометром с точностью ~0,1 м/с. Сигнал с датчика температуры Б при постоянной скорости потока являлся сигналом управления питанием нагревательного элемента интегральной ПОС.

Время нагрева передней кромки варьировалось в диапазоне от 10 с до 100 с. Так, для случая сильного обледенения (интенсивность обледенения 1 мм/мин, водность 0,6 г/м³, скорость двухфазного потока 0,1М) при удельной мощности обогрева 1,79 Вт/см² для удаления льда с поверхности время нагрева составило ~15 с. Время паузы между обогревом зависит от допустимой толщины льда и аэродинамического профиля. При допустимой толщине льда на передней кромке 6 мм время паузы составило ~240 с. При таком режиме работы ИЭ ПОС энергозатраты на борьбу с обледенением меньше в S раз (S – величина скважности импульсов циклического режима) и составили 0,1 Вт/см².

Таким образом, использование электротепловой ИПОС позволяет снизить энергозатраты на борьбу с обледенением по сравнению с существующими электротепловыми ПОС ~30%, и рекомендовать интегральную противообледенительную систему на основе фторопластовых пленок к применению в малой и сверхмалой авиации, в том числе и беспилотных ЛА.

Работа выполнена при поддержке задания №11.34.214/К на выполнение государственных работ в сфере научной деятельности.

Список литературы

1. *Е.А.Богослов, М.П.Данилаев, С.А.Михайлов, Ю.Е.Польский* Энергетическая эффективность интегральной противообледенительной системы на основе фторопластовых пленок // Инженерно-физический журнал, 2016, №4 (принято в печать).
2. *Гринац, Э.С.* Экспериментальные и теоретические исследования процессов обледенения наномодифицированных супергидрофобных и обычных поверхностей / Э.С. Гринац, А.Б. Миллер, Ю.Ф. Потапов, А.Л. Стасенко // Вестник МГОУ. Сер. «Физика - Математика». 2013. № 3. С. 84-92.
3. *Warwick, G.* Nanotech promises energy-efficient anti-icing / G.Warwick // Aviation Week & Space Technology. 2012. V. 174. № 10. P. 15–23.
4. *Sytrif, S.A.* A semi empirical model for heat transfer and ice accretion on aircraft wings in supercooled clouds / S.A.Sytrif, N.Pasumarthi, C.S.Barlett // Cold Regions Science and Technology. 1997. V. 26, № 3. P. 165-179.
5. *Богослов, Е.А.* Пассивные пленочные противообледенительные покрытия / Е.А. Богослов, М.П. Данилаев, С.А. Михайлов, Ю.Е. Польский // Сб. докл. Международной научно-практической конференции АКТО-2014. Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2014.
6. *Shinkafi, A.* Enhanced Method of Conceptual Sizing of Aircraft Electro-Thermal De-icing System / A. Shinkafi, C.Lawson // International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial and Mechatronics Engineering. 2014. V.8, № 6. P. 1069-1076.
7. *Данилаев М.П., Дорогов Н.В., Гурьев В.И.,* Экспериментальный стенд по отработке управления интегральной электротепловой противообледенительной системой летательного аппарата./ Материалы Международной научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов «Прикладная электродинамика, фотоника и живые системы-2016» 2016 г. 184 с.

05.11.13

В.А. Казаров, О.Г. Морозов, Л.М. Сарварова, И.И. Нуреев

Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н.Туполева – КАИ, кафедра радиофотоники и микроволновых технологий,
Казань, microoil@mail.ru

КОМПЛЕКСИРОВАННЫЙ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЙ ДАТЧИК КОНТРОЛЯ РАБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК АККУМУЛЯТОРА

В статье рассмотрены принципы построения волоконно-оптических датчиков контроля рабочих характеристик аккумулятора (ВОД КРХА) на основе параллельных брэгговских структур (БС) различного типа. В отличие от существующих разработанные ВОД КРХА являются комплексированными и способны одновременно измерять температуру, показатель преломления электролита и изменение размеров электродов по сдвигу центральной длины волны отраженного излучения соответственно от первой классической БС, БС с вытравленной оболочкой и второй классической БС, закрепленной на электроде. Разрешающая способность ВОД КРХА по температуре составит $0,1-0,5$ °С, по показателю преломления – 10^{-6} RIU, по натяжению – 1 м/м.

Ключевые слова: аккумулятор, комплексированный волоконно-оптический датчик, температура, показатель преломления электролита, изменение размеров электрода.

Введение. Для оценки состояния и прогнозирования ресурса свинцовые аккумуляторы (СА) снабжают системами диагностирования [1], которые должны обеспечить в каждой банке СА контроль напряжения, температуры и плотности электролита и на основании этих данных оценить остаточную емкость батареи. Наиболее достоверные данные о состоянии СА получают при наличии информации о плотности электролита в каждой банке и его температуре. Тем не менее, известные на данный момент способы и устройства не позволяют создать достаточно компактные и технологичные конструкции, позволяющие обеспечить контроль плотности электролита в течение срока эксплуатации СА. Частная задача исследований в данной области – повышение точности и достоверности измерения, плотности электролита при изменении температуры окружающей среды от -60 до $+60$ °С, а также разработка способа, позволяющего автоматизировать процесс измерения и максимально упростить конструкцию устройства в составе системы диагностирования СА для обеспечения непрерывного контроля плотности электролита в течение срока их эксплуатации на основе ВОД.

Температура также является одним из наиболее важных параметров, указывающим на выход из строя батареи литий ионных аккумуляторов (ЛИА), но даже в самых современных системах управления батареями (СУБ) не предусмотрен контроль распределения температуры по всему ЛИА [2]. Поэтому дополнительным параметром, который может свидетельствовать о температурном профиле, может служить изменение размеров (объема) аккумуляторной батареи. Оба указанных параметра могут быть одновременно проконтролированы с помощью ВОД контроля рабочих характеристик аккумулятора (КРХА), состоящего из нескольких волоконных решеток Брэгга (ВРБ). Датчики ВРБ непосредственно крепятся на поверхность батареи ЛИА.

Один из возможных путей решения поставленных задач основан на создании комплексированного ВОД КРХА на базе, как минимум, трех ВРБ, и его зондировании широкополосным или полигармоническим излучением, средняя частота которого при калибровке настроена на центральную частоту контура ВРБ, и определении ее расстройки и/или разности амплитуд между спектральными составляющими как информативных факторов для определения параметра приложенного физического поля [3-5]. Цель данной работы рассмотреть возможность применения в разработанном ВОД КРХА, апробированной ранее структуры параллельного рефрактометра [6].

Спектральные характеристики ВБР при изменении размеров электродов температуры и показателя преломления электролита. Для ВРБ центральная длина волны полосы отражения λ_B определяется как

$$\lambda_B = 2n_{eff}\Lambda, \tag{1}$$

где Λ – период ВРБ, определяемый фазовой маской, n_{eff} – эффективный коэффициент преломления ВРБ.

Брэгговская длина волны ВРБ меняет свое значение в зависимости от приложенных к ней температуры и натяжения:

$$\Delta\lambda = \lambda_B (1 - P_e)\epsilon + (\xi_s + \alpha_s)\Delta T, \tag{2}$$

где P_e – коэффициент фотоупругости; ξ_s – термооптический коэффициент ($\sim 7 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$); α_s – коэффициент теплового расширения ($\sim 5 \times 10^{-7} \text{ K}^{-1}$) волокна. Полученные в [2] значения разрешающей способности по температуре и натяжению соответственно составили $0,5 \text{ }^\circ\text{K}$ и $1 \mu\text{m/m}$.

Показатель преломления исследуемого материала (окружающей среды) n_{amb} может быть определен по измеренной λ_B и известным коэффициенте преломления сердцевины n_{co} и радиусе a_{cl} оболочки вытравленного волокна.

Чувствительность ВОД КРХА на базе ВРБ может быть определена следующим образом

$$\Delta\lambda_B = 2 \left(\Lambda \frac{\partial n_{eff}}{\partial n_{amb}} \right) \Delta n_{amb}. \tag{3}$$

Однако для ВОД КРХА наиболее существенной является зависимость сдвига центральной длины волны от изменения коэффициента преломления окружающей среды

$$\frac{\Delta\lambda_B}{\lambda_B} = \alpha \left(\frac{\Delta n_{amb}}{n_{eff}} \right) \left(\frac{\partial n_{eff}}{\partial n_{amb}} \right), \tag{4}$$

где α – доля решетки, вытравленная при изготовлении.

Оценки, проведенные нами, и результаты, приведенные в работах других авторов [6], показали, что величина чувствительности ВОД КРХА в конфигурации с вытравленной решеткой составляет $\sim 10^{-6}$ RIU. Недостатком приведенного решения является появление нелинейной зависимости между сдвигом длины волны и изменением показателя преломления, однако сохраняется значительное увеличение в разрешающей способности рефрактометрических измерений. Реально достижимая полуширина резонансного спектра ВОД КРХА составляет для ВРБ $0,5 \text{ нм}$, в конфигурации внутриволоконного интерферометра Фабри-Перо (ИФП) – $0,025 \text{ нм}$. Это значит, что разрешающая способность ИФП сенсора в 20 раз лучше, чем у датчика на одной ВРБ. Развивая данный подход можно использовать для создания ВОД КРХА ВРБ с фазовым π -сдвигом, которая представляет собой простейший ИФП с длиной резонатора, не превышающей λ_B . Полуширина резонансного пика такого типа решеток может достигать $0,005 \text{ нм}$, что свидетельствует о возможном увеличении разрешающей способности измерений на два порядка по сравнению с датчиком на одной ВРБ.

Измерительные характеристики ВОД КРХА. С учетом рассмотренных положений нами предложена параллельная структура ВОД КРХА, аналогичная [6], но состоящая из трех ВРБ (рис. 1).

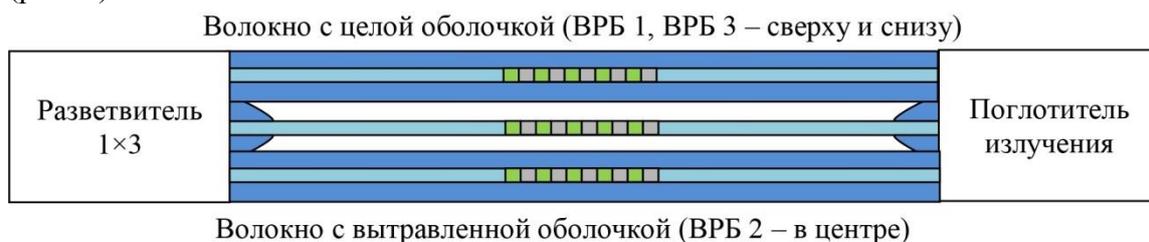


Рис. 1 – Структурная схема датчика параллельной структуры

Поскольку решетки расположены параллельно и в одном месте, идентичны по размерам и комплексированы через разветвитель, то они воспринимаются как одна решетка. Центральные длины волн решеток ВРБ1, ВРБ3 и ВРБ2 при одинаковой температуре

отличаются в силу вытравливания в ВБР2 оболочки волокна на определенную глубину. Если решетка ВРБ3 для контроля размера электрода жестко будет к нему прикреплена, то ее длина волны также будет отличаться и от центральной длины волны ВРБ1. На уровне зондирования это выражается в необходимости использования полигармонического источника зондирующего излучения (комб-генератора) [5], настроенного соответственно на длины волн λ_1 , λ_2 и λ_3 , и решения уравнения раздельно для температуры и коэффициента преломления, температуры и растяжения электрода аналогично задаче для сдвоенных решеток, решенной нами в [6].

Результаты моделирования ВОД КРХА показаны на рис. 2.

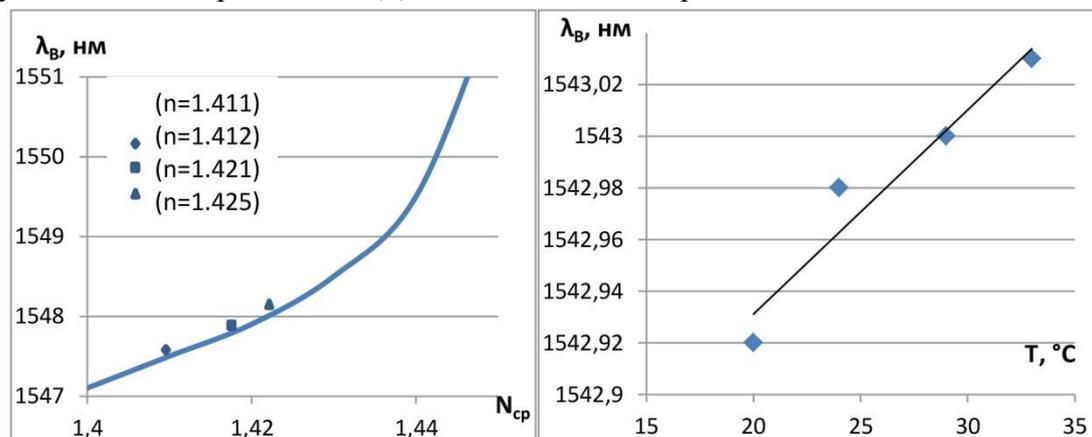


Рис. 2 – Измерительные характеристики ВОД КРХА: а – рефрактометр; б -термометр

Детектирование изменений коэффициента преломления может быть проведено на уровне 10^{-6} . Погрешность измерения температуры составила $0,1^\circ\text{C}$. Результаты были подтверждены экспериментально.

Заключение. В работе описан комплексированный ВОД КРХА, который может быть использован как для контроля СА, так и ЛИА. В основе его работы лежит мультипликативный отклик от встроенных в аккумулятор трех ВРБ, контролирующих размер электродов, температуры и показатель преломления электролита. Для зондирования используется полигармонический радиофотонный излучатель. Работа выполнена при финансовой поддержке МОН РФ в рамках госзадания КНИТУ-КАИ (программа «Радиофотоника», 3.1962.2014/К).

Список литературы

1. Сарварова Л.М. и др. Комплексный подход к решению задач сетевого мониторинга бортовых систем и устройств электроснабжения транспортных средств на основе волоконно-оптических технологий // *Современные проблемы науки и образования*. 2014. № 6. С. 246.
2. Meyer J. et al. Fiber optical sensors for enhanced battery safety // *Proc. of SPIE*. 2015. V. 9480. P. 94800Z.
3. Куревин В.В. и др. Структурная минимизация волоконно-оптических сенсорных сетей экологического мониторинга // *Инфокоммуникационные технологии*. 2009. Т. 7. № 3. С. 46-52.
4. Морозов О.Г. и др. Амплитудно-фазовые методы формирования зондирующих излучений для систем анализа волоконно-оптических структур // *Физика волновых процессов и радиотехнические системы*. 2007. Т. 10. № 3. С. 119-124.
5. Куприянов В.Г. и др. Маломодовое зондирование датчиков на основе волоконных решеток Брэгга // *Научно-технический вестник Поволжья*. 2013. № 4. С. 200-204.
6. Садыков И.Р. и др. Волоконно-оптический рефрактометрический датчик // *Труды МАИ*. 2012. № 61. С. 18.

05.11.16

А.С. Кириллов, В.Р. АгафоновАО «ГНЦ РФ-ФЭИ» им. А.И. Лейпунского,
г. Обнинск, ecs@ipre.ru**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ МОДУЛИ ВВОДА СИГНАЛОВ ТЕРМОПАР С ОБЪЕКТОВ ТЕРМОЭМИССИОННОЙ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ**

В работе представлены результаты сравнительного анализа интеллектуальных модулей ввода сигналов термопар для применения в составе автоматического информационно-измерительного комплекса экспериментальной установки, предназначенной для испытаний электрогенерирующих элементов и электрогенерирующих каналов термоэмиссионных ядерных энергетических установок (ЯЭУ).

Ключевые слова: термоэмиссионная ЯЭУ, интеллектуальный модуль, сторожевой таймер, вольфрам-рениевая термопара, погрешность измерений.

Термоэмиссионная ядерная энергетическая установка (ЯЭУ) является одним из предпочтительных источников энергии в условиях космоса [1]. Испытания электрогенерирующих элементов и электрогенерирующих каналов для термоэмиссионных ЯЭУ проводятся с использованием экспериментальных установок, оборудованных автоматическими информационно-измерительными комплексами (ИИК) [2, 3]. Одной из функций ИИК является измерение температуры объектов термоэмиссионной установки. Для реакторных условий среди датчиков температуры предпочтительны термоэлектрические преобразователи (термопары) в связи с тем, что они более надежны и менее подвержены влиянию облучения [4]. Кроме того, термопары имеют широкий диапазон измерений, верхний предел которого для термоэмиссионной установки может достигать 2000 °С и более, обуславливая применение вольфрам-рениевых термопар.

Для сбора и обработки сигналов термопар в настоящее время разработаны специализированные модули, которые относятся к категории интеллектуальных средств измерений – устройств с расширенными функциональными возможностями за счет встроенного микропроцессора [5, 6]. В работе анализируются технические характеристики и особенности применения интеллектуальных модулей в условиях термоэмиссионной ЯЭУ с целью включения их в состав ИИК.

Модули в ИИК должны обладать следующими интеллектуальными свойствами:

- 1) программная компенсация температуры холодного спая;
- 2) автоматическое преобразование значения термоЭДС в значение температуры с помощью градуировочной таблицы или полинома;
- 3) цифровая фильтрация входных сигналов;
- 4) диагностика обрыва линий связи с термопарами;
- 5) защита от сбоев в работе компьютера.

На рис. 1 приведена схема измерительного канала на основе интеллектуального модуля. Термопары подключаются к модулю компенсационными проводами. Модуль содержит коммутатор входных сигналов, датчик холодного спая, аналого-цифровой преобразователь (АЦП), постоянное запоминающее устройство (ПЗУ), микропроцессор (МП), устройство ввода-вывода. Также в составе модуля могут находиться сторожевой таймер, система индикации состояния и другие компоненты.

В процессе измерений компьютер получает сигнал, соответствующий значению измеряемой температуры. При необходимости для передачи данных от модуля к компьютеру может быть использован специальный модуль – преобразователь интерфейса. В ИИК требуется несколько многоканальных модулей, объединенных в сеть для передачи сигналов нескольких десятков термопар.

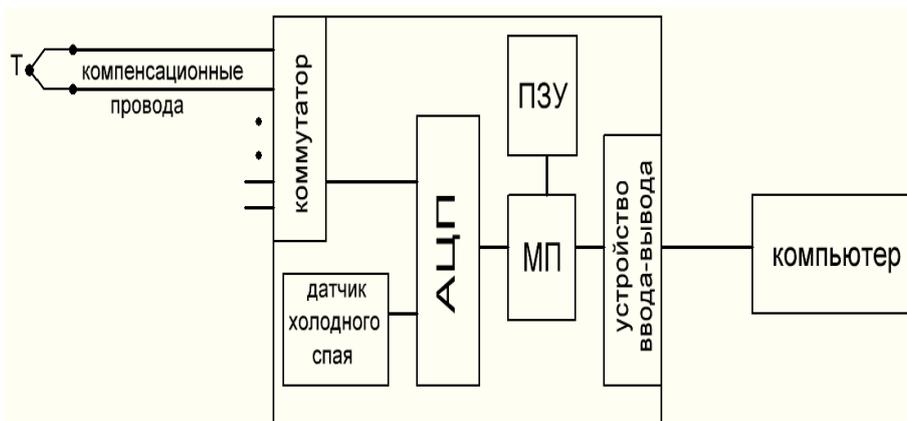


Рис. 1 – Схема измерительного канала

В условиях ЯЭУ интеллектуальные модули обладают следующими преимуществами.

1) Значительная длина и наличие радиоактивного излучения затрудняют визуальный осмотр линий связи модулей с термопарами. Применение интеллектуальных модулей с функцией самодиагностики обрыва линий связи упростит поиск причины появления некорректных данных.

2) В связи с близостью линий связи к силовым электрическим цепям возникают помехи. Цифровая фильтрация, применяемая в интеллектуальных модулях, ослабит влияние помех на результат измерений, т.е. уменьшит погрешность измерений.

3) В случае отказа оборудования или сбоя программного обеспечения выходы интеллектуальных модулей со сторожевым таймером переводятся в безопасные состояния. При этом оператор получает соответствующую информацию, на основании которой принимает решение о перезапуске модуля или программы, либо признает модуль неисправным и производит его замену. Таким образом, наличие сторожевого таймера повышает надежность измерительной системы за счет ускорения диагностики и исправления неисправностей в процессе измерений.

Рассмотрим предложения компаний, специализирующихся на производстве модулей сбора данных и управления, и проведем сравнительный анализ следующих модулей ввода сигналов термопар: NI-9214 (производитель National Instruments), I-7019 (ICP DAS), ADAM-4118 (Advantech), NL-8TI (НИЛ АП), MDS AI-8TC (КонтрАвт), АРМКОНТ А4 8LI (НБТ-АВТОМАТИКА) [7-12]. Все модули имеют не менее 8 измерительных каналов.

Критериями анализа являются:

- совместимость модулей с термопарами различных типов;
- погрешности измерений;
- средства самодиагностики и защиты.

В ИИК целесообразно использование термопар ХА (тип К) при измерениях от 0 до 1000..1300 °С, а также вольфрам-рениевых термопар при измерениях от 1300 до 2000 °С и выше. С вольфрам-рениевыми термопарами связаны следующие вопросы.

Во-первых, разработчики некоторых модулей не приводят информацию о возможности их применения совместно с какими-либо вольфрам-рениевыми термопарами (например, NI-9214, ADAM-4118 и NL-8TI).

Во-вторых, импортные модули рассчитаны на применение совместно с вольфрам-рениевыми термопарами типа С, распространенными преимущественно за рубежом и имеющими отличную от отечественных термопар типа А-1 номинальную статическую характеристику (НСХ) (например, I-7019). В случае совмещения импортных модулей с термопарами А-1 необходим пересчет показаний термопар программным способом, т.е. реализация в программе обработки и отображения результатов измерений дополнительной процедуры вычисления истинного значения температуры.

Модули MDS AI-8TC и АРМКОНТ А4 8LI рассчитаны на применение совместно с термопарами А-1, следовательно, являются лучшими вариантами с точки зрения поддерживаемых типов термопар.

Среди всех видов погрешностей измерительного канала при сравнительном анализе модулей учитываются только те, значение которых зависит от конкретного модуля. Согласно [5], к таким относятся:

- 1) погрешность компенсации температуры холодного спая;
- 2) погрешность компенсации нелинейности преобразовательной характеристики термопары;
- 3) погрешность АЦП;
- 4) динамическая погрешность.

По результатам анализа приводимых разработчиками модулей в различных форматах погрешностей и приведения к одному формату – пределу допускаемой основной погрешности, т.е. наибольшему значению погрешности во всем диапазоне измерений при нормальных условиях эксплуатации, составлена таблица 1.

Таблица 1 – Пределы допускаемой основной погрешности

производитель	термопары К	термопары А-1, С
NI-9214	1 °С	-
I-7019	1 °С	2 °С
ADAM-4118	1 °С	-
NL-8TI	3.5 °С	-
MDS AI-8TC	1 °С	3 °С
АРМКОНТ А4 8LI *	1 °С	2.5 °С

* Погрешности АРМКОНТ А4 8LI приведены без учета погрешности компенсации температуры холодного спая. Данный модуль, в отличие от остальных, не обладает функцией встроенной компенсации, поэтому его погрешность зависит от погрешности используемого датчика температуры холодного спая.

Средствами самодиагностики и защиты, распространенными среди интеллектуальных модулей, являются:

- 1) защита от превышения напряжения питания, неправильного подключения, статического электричества и т.д.;
- 2) диагностика обрыва линий связи с термопарами;
- 3) наличие сторожевого таймера.

Модуль NL-8TI превосходит аналоги по количеству и качеству аварийных режимов работы (короткое замыкание, перегрев выходных каскадов и т.д.).

Диагностику обрыва линий связи с термопарами осуществляют все рассматриваемые модули.

Модули MDS AI-8TC и ADAM-4118 содержат сторожевой таймер, контролирующий интервал времени между запросами по сети к данному модулю. При потере связи выходы модуля переводятся в безопасное состояние.

Модули NL-8TI и I-7019 содержат двойной сторожевой таймер. Один таймер перезапускает модуль в случае его «зависания» или провалов напряжения питания, другой переводит выходы модуля в безопасное состояние при «зависании» управляющего компьютера.

Таким образом, сравнительный анализ модулей на основании выбранных критериев показывает, что приемлемыми характеристиками по всем критериям обладают MDS AI-8TC и I-7019. Отметим, что в связи с задачей импортозамещения более предпочтительны MDS AI-8TC, но для окончательного выбора требуется сбор и анализ информации об опыте применения модулей.

Результаты сравнительного анализа будут использованы при модернизации системы измерений внереакторного исследовательского комплекса, где производится первый этап испытаний термоэмиссионных установок, а затем при разработке ИИК реакторного комплекса в той мере, в которой они применимы в реакторных условиях.

Список литературы

1. *Ярыгин В.И.* Ядерная энергетика прямого преобразования в космических миссиях XXI в. / Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2013. – Вып. 2. – С. 5-20.
2. *Гонтарь А.С., Гриднев А.А., Любимов Д.Ю.* Анализ физико-химических процессов в многоэлементном ЭГК с сообщающимися полостями твэла и межэлектродного зазора. //Атомная энергия. -2008.- т.104. - в. 4, - С.216-224.
3. *Ярыгин В.И., Агафонов В.Р., Тулин С.М., Медведев В.В., Кузнецов Р.В.* Экспериментальные исследования и испытания ТЭП (прибор 0100) в обоснование характеристик унифицированного ЭГК. / Итоги научно-технической деятельности института ядерных реакторов и теплофизики за 2011 год. Научно-технический сборник. ГНЦ РФ ФЭИ. Обнинск. 2012. 411с. С. 404-409.
4. *Арнольдов М. Н., Каржавин В. А., Трофимов А. И.* Основы метрологического обеспечения температурного контроля реакторных установок: Учебное пособие для вузов. – М.: Издательский дом МЭИ, 2012. – 243 с.
5. *Денисенко В.В.* Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием. – М.: Горячая линия – Телеком, 2009. – 608 с.
6. *Раннев Г.Г.* Интеллектуальные средства измерений. – М.: Издательский центр «Академия», 2010. – 272 с.
7. <http://www.russia.ni.com> (дата обращения 21.09.2015).
8. <http://www.icpdas.ru> (дата обращения 21.09.2015).
9. <http://www.advantech.ru> (дата обращения 21.09.2015).
10. <http://www.rlda.ru> (дата обращения 21.09.2015).
11. <http://www.contravt.ru> (дата обращения 21.09.2015).
12. <http://www.nvtav.ru> (дата обращения 21.09.2015).

05.11.13

И.И. Нуреев к.т.н.

Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н.Туполева – КАИ, кафедра радиофотоники и микроволновых технологий,
Казань, microoil@mail.ru

СТАТИЧЕСКАЯ И ДИНАМИЧЕСКАЯ РАДИОФОТОННАЯ ИНТЕРРОГАЦИЯ ОДНОТИПНЫХ ВОЛОКОННЫХ БРЭГГОВСКИХ РЕШЕТОК ПРИ ПОЛИГАРМОНИЧЕСКОМ ЗОНДИРОВАНИИ

В статье рассмотрены принципы построения статических и динамических радиофотонных интеррогаторов одностипных волоконных брэгговских решеток (ВБР) на основе полигармонического зондирования последних. В отличие от существующих оптических интеррогаторов на основе анализаторов спектра и фильтров для статической интеррогации используется комбгенератор на базе двухпортового модулятора Маха-Цендера, для динамической – ЛЧМ-сканер, как минимум, двухчастотного излучения. В обоих случаях составляющие комб- и ЛЧМ-излучения разнесены на частоту, лежащую в области радиочастот – единицы и десятки ГГц. Разработанные радиофотонные интеррогаторы (РИ) позволяют улучшить такие характеристики измерительного преобразования, как отношение сигнал/шум, чувствительность, точность.

Ключевые слова: волоконная брэгговская решетка, последовательность одностипных решеток, статическая и динамическая интеррогация, радиофотонный интеррогатор, комб-генератор, ЛЧМ-сканирование.

Введение. Интеррогаторы – приборы, с помощью которых опрашиваются ВБР, строятся, как правило, на основе сложных дорогостоящих устройств: оптических анализаторов спектра, сканирующих или пространственных оптических фильтров с ПЗС, оптического узкополосного фильтра с зависящей от длины волны спектральной характеристикой склона [1]. В последнее время развиваются более простые и дешевые методы, основанные на импульсной временной рефлектометрии ВБР и амплитудно-фазовой непрерывной симметричной двухчастотной рефлектометрии [2-4]. Равновероятность их применения требует использования в сенсорных сетях технологий как временного, так и волнового или частотного мультиплексирования.

Существенным различием между импульсными и непрерывными методами является «широкополосность» первых и «узкополосность» вторых. Взятые в кавычки термины означают, что для определения центральной длины волны ВБР и в первом, и во втором случае достаточно двух частотных составляющих – межмодовых в импульсе и специально синтезированных с помощью метода амплитудно-фазового преобразования Ильина-Морозова [5] при непрерывном зондировании, разностная частота которых лежит в одинаковых пределах единиц-десятков ГГц. Эта общность позволяет отнести указанные методы к радиофотонным [1]. Различие заключается в том, что в импульсе таких составляющих по спектру множество, и зондирование ВБР с различными длинами волн не требует сканирования или перестройки излучения, а в двухчастотном излучении всего две, что требует применения комб-генераторов и сканирующих полигармонических методов для зондирования ВБР [6] или наложения более жестких условий на разнообразие спектральных характеристик ВБР – применения одностипных ВБР, настроенных на одну длину волны, с относительно невысоким коэффициентом отражения (от – 20 до – 40 дБ. Последнее требование с одной стороны выглядит как ограничение, а с другой позволяет придать некоторую универсальность сенсорным сетям. Решение задач интеррогации одностипных ВБР является предметом рассмотрения данной статьи.

Принципы статической РИ одностипных ВБР. Метод основан на формировании комб-генератора на основе двухпортового модулятора Маха-Цендера и получении полигармонического зондирующего излучения (до 6 составляющих) из исходного

одночастотного с помощью амплитудно-фазовой модуляции.

При решении общей задачи для нахождения центра и полуширины одной ВБР в одномодовом оптическом волокне необходимо решить систему уравнений с амплитудными и фазовыми коэффициентами частотных составляющих. Процедура маломодового определения характеристик ВБР заключается в решении системы уравнений вида:

$$[\mathbf{D}] = [\mathbf{A}] \times [\mathbf{E}] \times [\mathbf{E}]^*, \quad (1)$$

где $[\mathbf{D}]$ – матрица выходных значений токов фотоприемника на частотах $k\Omega$; $[\mathbf{A}]$ – матрица, описывающая ВБР в ее полосе $\Delta\omega$, которая составляет единицы-десятки ГГц при центральной частоте ВБР и лазера ω_0 ; $[\mathbf{E}]$ – матрица, описывающая спектр зондирующего полигармонического излучения на частотах $\{\omega_0 \pm k\Omega\} \in \{\Delta\omega\}$ или множеству N однотипных решеток, как минимум, две составляющие на решетку, $[\mathbf{E}]^*$ – матрица, комплексно-сопряженная $[\mathbf{E}]$.

На первом шаге процедуры осуществляется зондирование двухчастотным излучением. При этом попадания в центр спектра не требуется. По амплитуде составляющих фотоприемника на частоте Ω определяется, на каком склоне решетки находится зондирующее излучение, его крутизна, удаленность от центральной частоты. При этом анализируются амплитуды составляющих фотоприемника на частотах Ω , 2Ω , 3Ω . На втором шаге процедуры путем изменения количества мод k на частотах $\{\omega_0 \pm k\Omega\} \in \{\Delta\omega\}$ и анализирующих фильтров на частотах $k\Omega$, можно оптимизировать анализ спектральных характеристик и настроить центральную частоту зондирующего лазера на центр ВБР для получения сигнала слежения. Поскольку амплитуда составляющих зондирующего колебания известна и, как показали результаты проведенных исследований [2], стабильна, можно с заданной точностью определить параметры ВБР – центральную частоту, крутизну, симметричность формы и т.д.

В качестве избирательных фильтров на частотах $k\Omega$ могут быть использованы упорядоченные волноводные решетки. Дополнительным решением может быть использование комб-генератора с чирпированием, при этом разностная частота должна незначительно отличаться от составляющей к составляющей на кратную величину $k\Delta\Omega$.

Принципы динамической РИ однотипных ВБР. Оценим тактические характеристики ЛЧМ-подсистемы, задавшись ее разрешающей способностью в 5 м и максимальной дальностью 2 км. Девиация частоты лазерного излучателя Δf без учета показателя преломления волокна однозначно определяется разрешающей способностью подсистемы

$$\Delta f = c/4\Delta R. \quad (2)$$

Подставляя в выражение (2) заданную величину получим $\Delta f = 15$ МГц. Для однозначного измерения период модуляции должен быть значительно больше времени задержки сигнала обратного рассеяния с максимальной дальности. При $R=2$ км задержка составит $1,3 \times 10^{-5}$ с, а период модуляции $T_m = 1/f_m = 10^{-4}$ с. Во всех случаях измерение приращения частоты поднесущей излучателя осуществляется посредством регистрации разности частот поднесущих излученного и принятого сигналов. Для дальности R частота биений f_R принимаемого и излучаемого сигнала равна

$$f_R = 2R\Delta f f_m / c. \quad (3)$$

При подстановке наших данных получим $f_R = 2$ МГц и необходимость реализации 100 канального анализатора спектра при полосе фильтра 20 кГц. Таким образом, при использовании ЛЧМ-модуляции с разрешающей способностью 5 м может быть определен участок волокна с ВБР, к которому приложено внешнее физическое поле.

Рассмотрим сканирование ВБР. Если длина волны излучения лазера сканируется по частоте

$$v(t) = v_0 + \Delta v \cos \Omega t, \quad (4)$$

где v_0 – исходная частота лазерного излучения, Δv – глубина сканирования, то интенсивность отраженного излучения, будет равна

$$I(t) = I_0 T(v_0) + I_0 T^{(1)}(v_0) \Delta v \cos \Omega t - 0,25 I_0 T^{(2)}(v_0) \Delta v^2 \cos 2\Omega t + \dots, \quad (5)$$

где $T(v_0), T^{(i)}(v_0)$ – спектральное пропускание контура и его производные по dv ; I_0 – интенсивность излучения источника. Избирательный усилитель, настроенный на частоту Ω или 2Ω , позволяет выделить сигнал даже при малом усилении и исключить большую постоянную составляющую сигнала $I_0 T(v_0)$. При использовании двухчастотного излучения ВБР зондируется двумя сканирующими сигналами с центральными частотами $v_0 - v_T$ и $v_0 + v_T$. При $v_T = \Delta v / 2$ законы модуляции зондирующих частот определяются как

$$v_1(t) = v_0 - \frac{\Delta v}{2} \left(1 + \cos \left(\Omega_0 t + \frac{\beta t^2}{2} \right) \right), \quad v_2(t) = v_0 + \frac{\Delta v}{2} \left(1 + \cos \left(\Omega_0 t + \frac{\beta t^2}{2} \right) \right). \quad (6)$$

Взаимодействие сканирующего излучения лазера с ВБР приводит к появлению амплитудной модуляции (АМ) мощности излучения принимаемого сигнала. Глубина модуляции такого сигнала пропорциональна добротности ВБР, а огибающая АМ-колебания определяется коэффициентом его усиления и дополнительно подчиняется ЛЧМ закону. При настройке центральной частоты лазера на центр контура усиления и равенстве девиации частоты Δv полуширине контура $\Delta\Omega$ исходная частота амплитудной модуляции будет равна Ω_0 , а ее частотная девиация будет равна $2\Delta\Omega$.

Частотное сканирование позволяет повысить чувствительность спектрофотометрического метода, по крайней мере, на 1–2 порядка при хорошем отношении сигнал-шум.

Заключение. Метод статической РИ может найти применение для решения ряда актуальных задач в практике сенсорных волоконно-оптических систем. К таким задачам относятся измерение температуры и натяжения в волокнах ВОЛП или встроенных сенсорных системах с распределенным характером измерений. При этом широкополосные источник излучения и фотоприемник прямого детектирования заменяются соответственно на узкополосный комб-генератор и избирательный фотоприемник на промежуточной частоте с малым уровнем шумов. Использование двухчастотного зондирования в системах с динамической РИ, также позволяет получить выигрыш по чувствительности измерений. Использование дополнительно ЛЧМ-сканирования позволяет определить локализацию места внешнего физического воздействия при анализе последовательности однотипных ВБР.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках проектной части государственного задания на выполнение НИР в КНИТУ-КАИ на 2014-2016 годы (программа «Радиофотоника», задание 3.1962.2014/К) и госконтракта №14.Z50.31.0023 в рамках Постановления Правительства РФ № 220 от 09.04.2010 г.

Список литературы

1. Нуреев И.И. Радиофотонные амплитудно-фазовые методы интеррогации комплексированных датчиков на основе волоконных решеток Брэгга // Инженерный вестник Дона. 2016. №2. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n2y2016/3581.
2. Морозов О.Г., Айбатов Д.Л., Садеев Т.С. Синтез двухчастотного излучения и его применения в волоконно-оптических системах распределенных и мультиплексированных измерений // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2010. Т. 13. № 3. С. 84-91.
3. Морозов О.Г., Айбатов Д.Л., Просвиринов В.П. и др. Амплитудно-фазовые методы формирования зондирующих излучений для систем анализа волоконно-оптических структур // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2007. Т. 10. № 3. С. 119-124.
4. Морозов О.Г. Амплитудно-фазовое преобразование частоты в системах временной и частотной рефлектометрии волоконно-оптических информационных и измерительных сетей // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2004. Т. 7. № 1. С. 63-67.
5. Морозов О.Г., Ильин Г.И. Амплитудно-фазовая модуляция в системах радиофотоники // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2014. № 1 (20). С. 6-42.
6. Куприянов В.Г., Морозов О.Г., Нуреев И.И. и др. Маломодовое зондирование датчиков на основе волоконных решеток Брэгга // Научно-технический вестник Поволжья. 2013. № 4. С. 322-325.

05.11.00

А.Ю. Стрюков, А.В. Федотов, П.С. Иванов

Филиал Военной академии материально-технического обеспечения (г. Пенза),
кафедра артиллерийских приборов
Пенза, wlad_3008@mail.ru

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ ПО РАЗРЕШАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ

Остаточный ресурс работы прибора определяется по пределу разрешения, который задается в технических условиях. Разрешающая способность прибора измеряется с использованием коллиматора. Прогнозирование остаточного ресурса производится по результатам измерений с использованием адаптивных полиномиальных моделей.

Ключевые слова: *качество изображения, коллиматор, остаточный ресурс, оптико-электронный прибор, предел разрешения.*

В настоящее время оптико-электронные приборы (ОЭП) находят широкое применение не только войсковыми и другими силовыми структурами, но и охотниками, туристами, рыбаками, охранными подразделениями и др. Так, приборы ночного видения (ПНВ) позволяют в ночное или сумеречное время, практически как и днем, наблюдать за различными объектами, ориентироваться на местности, вести прицельную стрельбу, водить транспорт, летать, выполнять ремонтные и другие работы.

При длительной эксплуатации ОЭП неизбежно возникают повреждения или отказы его элементов даже при отсутствии дефектов изготовления и соблюдении правил эксплуатации.

В соответствии с ГОСТ 27.002-89 отказом ОЭП считается нарушение его работоспособного состояния. Если ОЭП после отказа или технического освидетельствования не подлежит восстановлению, то такое состояние называют предельным состоянием. Признаки предельного состояния ОЭП, установленные в нормативно-технической документации, называются критериями предельного состояния

Расчетный срок службы ОЭП и остаточный ресурс - это две величины, имеющие слабую корреляцию между собой. Прибор может иметь остаточный ресурс, как до истечения расчетного срока службы, так и после него. Это связано с тем, что условия эксплуатации ОЭП в некоторых случаях могут быть менее интенсивными, чем расчетные. Возможность прогнозирования величины остаточного ресурса обеспечивается при одновременном наличии следующих условий [1]:

- известны параметры, определяющие техническое состояние ОЭП;
- известны критерии предельного состояния ОЭП;
- имеется возможность периодического (или непрерывного) контроля значений параметров технического состояния.

Разработаны математические и статистические методы определения остаточного ресурса при малоцикловых нагрузках, по измерениям контролируемого параметра, а также остаточный ресурс составных частей и др. Все это делается путем применения стандартизированных методик. Для ОЭП такие методики только разрабатываются.

В зависимости от требуемой достоверности прогноза и возможностей получения информации применяют два подхода к прогнозированию: упрощенный, основанный на детерминистических оценках показателей, и уточненный, основанный на вероятностных оценках.

При первом - отклонения контролируемых параметров относят к погрешностям методов контроля, случайным помехам и при прогнозировании остаточного ресурса в расчетах учитывают с помощью коэффициентов запасов. При втором подходе колебания наблюдаемых параметров используют в качестве дополнительной информации, что позволяет повысить достоверность прогнозирования.

Все ОЭП, независимо от их специфики функционирования и предназначения, обязательно имеют одну общую физическую характеристику, которая называется разрешающей способностью. Данное физическое свойство является определяющим для всех без исключения оптико-информационных и оптико-измерительных приборов.

Разрешающая способность ОЭП – это величина, которая характеризует их способность различать наименьшие отдельные детали наблюдаемых или измеряемых объектов. Пределом разрешающей способности называется минимальное расстояние между соседними деталями (точками) объекта, при котором их изображения уже не воспринимаются в качестве отдельных элементов объекта. Чем меньше это расстояние, тем, соответственно, выше разрешающая способность прибора. Обратная пределу разрешения величина служит количественным показателем разрешающей способности. Этим важнейшим параметром будем определять техническое состояние ОЭП при прогнозировании остаточного ресурса [2].

Для определения разрешающей способности используется тест-объект (штриховая мира), который состоит из черно-белых штрихов разной толщины (рис. 1).

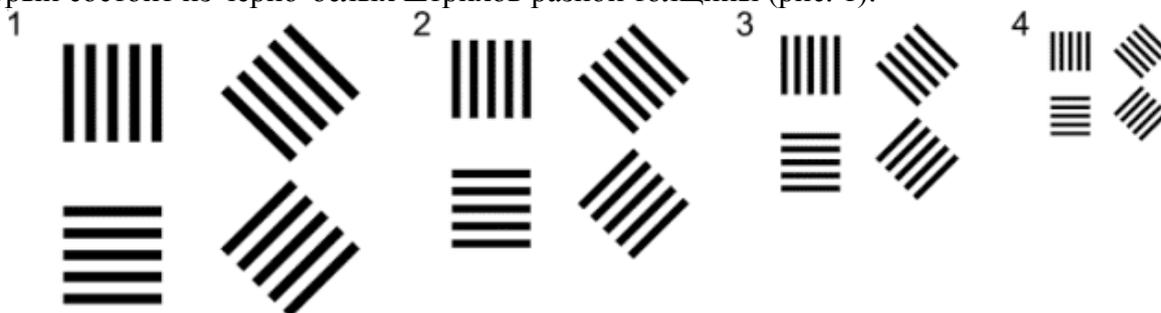


Рис. 1 – Штриховая мира

Для удаленного изображения разрешающая способность измеряется в угловых единицах, а для близкого изображения – в количестве линий на единицу длины (лин/мм).

Оценка остаточного ресурса по изменениям контролируемого параметра

Для проведения оценки был выбран наиболее распространенный ПНВ – ночной стрелковый прицел унифицированный (НСПУ). Разрешающая способность измерялась с помощью универсальной контрольной аппаратуры для ПНВ УКНП-1 (индекс 1Ю6) в течении 20 лет [3]. В качестве тест-объекта использовались миры номинального и предельного значения для положительного и отрицательного контрастов. По номеру различаемого тест-объекта определялась разрешающую способность прибора для положительного и отрицательного контрастов. Результаты последних измерений представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Данные измерений разрешающей способности

Год	Номер тест-объекта		Ширина штриха миры, мм				Разрешающая способность				Срок эксп., лет
			табличная		средняя		рад 10 ⁻³		сек		
	K=-1	K=+1	K=-1	K=+1	K=-1	K=+1	K=-1	K=+1	K=-1	K=+1	
1991	39	1M5	0,160	0,160	0,170	0,180	30,2	33,24	103,9	114,3	24
	37	11M6	0,180	0,180							
		9M6		0,202							
1990	37	11M6	0,180	0,180	0,191	0,203	35,02	36,09	120,5	124	25
	35	9M6	0,202	0,202							
		7M6		0,227							
1979	23	только	0,404	0,320	0,455	0,320	80,89	56,89	287	195,6	36
	21	11M6	0,453								
	19		0,508								

Разрешающая способность рассчитывалась по формуле

$$\alpha = 2a / f_k,$$

где α – разрешающая способность прибора, угл. сек (");

a – ширина полосы тест-объекта, мм;

$f_k=11,25$ мм – фокусное расстояние коллиматора, устанавливаемое для НСПУ.

Так как исследуемый процесс измерений, состоял из детерминированной и случайной компоненты, то описывался полиномом n -го порядка, прогноз на τ шагов вперед осуществлялся по формуле:

$$y_\tau(t) = a_1 + a_2\tau + \frac{1}{2}a_3\tau^2 + \dots + \frac{1}{n!}a_{n+1}\tau^n,$$

где a_1, a_2, \dots, a_n – оценки параметров.

Задача сводилась к вычислению экспоненциальных средних, порядок которых изменялся от 1 до $n+1$, а затем через их линейные комбинации – к определению коэффициентов полинома. Основные формулы для прогнозирования по адаптивным полиномиальным моделям приведены в таблице 2 (α – параметр адаптации, $\beta=1-\alpha$, S_t – функция сглаживания).

Таблица 2 – Прогнозирование по адаптивным полиномиальным моделям

Степень модели	Начальные условия	Экспоненциальные средние	Оценка коэффициентов	Модель прогноза
$n=0$	$S_0^{(1)} = \hat{a}_{1,0}$	$S_t^{(1)} = \alpha y_t + \beta S_{t-1}^{(1)}$	$\hat{a}_{1,t} = S_t^{(1)}$	$\hat{y}_\tau(t) = \hat{a}_{1,t}$
$n=1$	$S_0^{(1)} = a_{1,0} - \frac{\beta}{\alpha} a_{2,0}$ $S_0^{(2)} = a_{1,0} - \frac{2\beta}{\alpha} a_{2,0}$	$S_t^{(1)} = \alpha y_t + \beta S_{t-1}^{(1)}$ $S_t^{(2)} = \alpha S_t^{(1)} + \beta S_{t-1}^{(2)}$	$a_{1,t} = 2S_t^{(1)} - S_t^{(2)}$ $a_{2,t} = \frac{\alpha}{\beta} (S_t^{(1)} - S_t^{(2)})$	$y_\tau(t) = a_{1,t} + a_{2,t} \cdot \tau$
$n=2$	$S_0^{(1)} = a_{1,0} - \frac{\beta}{\alpha} a_{2,0} + \frac{\beta(2-\alpha)}{2\alpha^2} a_{3,0}$ $S_0^{(2)} = a_{1,0} - \frac{2\beta}{\alpha} a_{2,0} + \frac{\beta(3-2\alpha)}{\alpha^2} a_{3,0}$ $S_0^{(3)} = a_{1,0} - \frac{3\beta}{\alpha} a_{2,0} + \frac{3\beta(4-3\alpha)}{2\alpha^2} a_{3,0}$	$S_t^{(1)} = \alpha y_t + \beta S_{t-1}^{(1)}$ $S_t^{(2)} = \alpha S_t^{(1)} + \beta S_{t-1}^{(2)}$ $S_t^{(3)} = \alpha S_t^{(2)} + \beta S_{t-1}^{(3)}$	$a_{1,t} = 3(S_t^{(1)} - S_t^{(2)}) + S_t^{(3)}$ $a_{2,t} = \frac{\alpha}{2\beta^2} [(6-5\alpha)S_t^{(1)} - 2(5-4\alpha)S_t^{(2)} + (4-3\alpha)S_t^{(3)}]$ $a_{3,t} = \frac{\alpha}{\beta^2} [S_t^{(1)} - 2S_t^{(2)} + S_t^{(3)}]$	$y_\tau(t) = a_{1,t} + \tau \cdot a_{2,t} + \frac{1}{2} \tau^2 a_{3,t}$

При обработке результатов измерений для ПНВ получена прогностическая модель в виде полинома третьего порядка

$$y_\tau = 37,875 + 1,976\tau - 0,135\tau^2 + 0,005\tau^3.$$

При этом среднее отклонение от результатов измерений составило 2%, среднеквадратическое отклонение – 1,629, коэффициент корреляции – 0,94.

Таким образом, для прогнозирования остаточного ресурса ОЭП в качестве контролируемого параметра можно использовать разрешающую способность, для обработки результатов измерений адаптивные полиномиальные модели третьего порядка.

Список литературы

1. РД 26.260.004-91. Прогнозирование остаточного ресурса оборудования по изменению параметров его технического состояния при эксплуатации. Метод. указания. – Введ. 1992-01-01. – М.: 1991. – 54с.
2. Федотов, А.В. Физические основы устройства РАВ. Военные оптические приборы: учебное пособие/ А. В. Федотов, В.Н. Федотов, П.С. Иванов. – Пенза: Филиал ВА МТО, 2015.– 332 с.
3. УКНП-1. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. АЛ2.768.000 ТО. Завод.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ (05.13.00)

05.13.05

Н.Н. Беспалов к.т.н., Ю.В. Горячкин к.т.н., Д.В. Тундыков

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

ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ УПРАВЛЯЮЩЕГО УСТРОЙСТВА НА ПЛИС ДЛЯ ОБМЕНА ДАННЫМИ ПО ИНТЕРФЕЙСУ SPI

Статья посвящена разработке управляющей программы для реализации обмена данными по интерфейсу SPI (Serial Peripheral Interface) между программируемой логической интегральной схемой (ПЛИС) XC3S500E Xilinx Spartan-3E и ИМС цифро-аналогового преобразователя (ЦАП) LTC2624 в составе отладочной платы NI Digital Electronics FPGA Board. Рассматривается создание программного модуля на языке VHDL при помощи специализированного программного обеспечения WebPACK ISE фирмы Xilinx.

Ключевые слова: ПЛИС, цифро-аналоговый преобразователь, интерфейс SPI, отладочная плата, язык VHDL.

В настоящее время аппаратно-программные комплексы широко используются для быстрой и эффективной разработки и исследования средств измерений и контроля. Компанией National Instruments (NI) разработано устройство NI Digital Electronics FPGA Board [1-3], которое может применяться для этой цели. Это устройство может использоваться разработчиками, поскольку является единой удобной платформой, в которой объединены возможности по созданию цифровых и аналоговых схем [4]. Базовым компонентом отладочной платы является ПЛИС XC3S500E Xilinx Spartan-3E [5]. Также в состав отладочной платы входит интегральная схема LTC2624 фирмы Linear Technology. Микросхема содержит четыре 12-разрядных ЦАП. Сопряжение ПЛИС на отладочной плате с периферийными устройствами (ЦАП, АЦП) происходит через SPI интерфейс. При этом есть два способа реализации управления данным интерфейсом: это аппаратный и программный. В статье рассматривается второй, т.е. программный способ управления на языке VHDL для обмена данными между ПЛИС и ИМС ЦАП.

SPI интерфейс. Коммутация цифровых сигналов, формируемых в ПЛИС, на входы ЦАП осуществляется с помощью интерфейса SPI. При этом используется 32-разрядный протокол передачи данных. Сформированные аналоговые сигналы, уровень которых соответствует значениям входного 12-разрядного двоичного кода, поступают на выводы А-D ЦАП. На рисунке 1 представлена структурная схема узла ЦАП и его сопряжение с ПЛИС отладочной платы [6, 7].

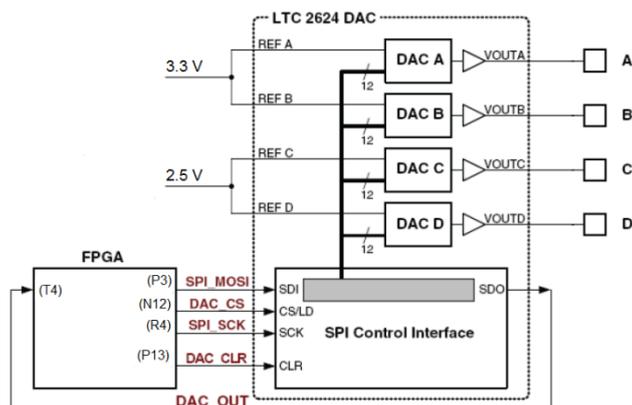


Рис. 1 – Структурная схема узла ЦАП и его сопряжение с ПЛИС через SPI интерфейс

На рисунке 2 представлена временная диаграмма сигналов интерфейса SPI. Каждый бит передаётся (принимается) относительно внутреннего тактового сигнала SPI_SCK. После присвоения сигналу DAC_CS низкого логического уровня ПЛИС передает данные посредством сигнала SPI_MOSI, начиная со старшего бита. После передачи всех 32 битов данных ПЛИС завершает передачу данных по шине SPI путем возврата сигнала DAC_CS в состояние логической 1.

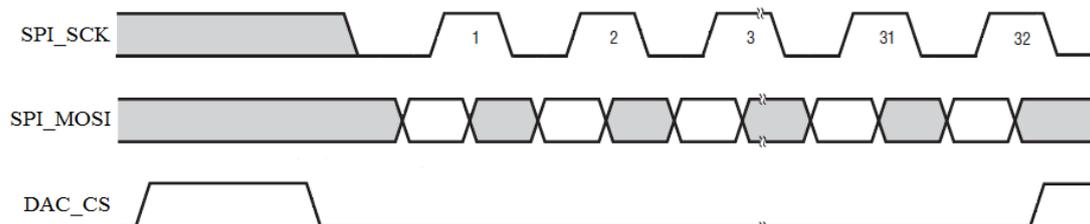


Рис. 2 – Сигналы интерфейса SPI

На рисунке 3 показан коммуникационный протокол, необходимый для взаимодействия ПЛИС с интегральной схемой ЦАП. В ЦАП LTC2624 интерфейс SPI формирует 32-битный регистр сдвига. Каждая 32-разрядная команда состоит из 4-разрядной команды и 4-разрядного адреса, а также 12-разрядного значения данных. Когда новая команда поступает в ЦАП, предыдущая 32-разрядная команда возвращается обратно к ведущему устройству (в данном случае ПЛИС).

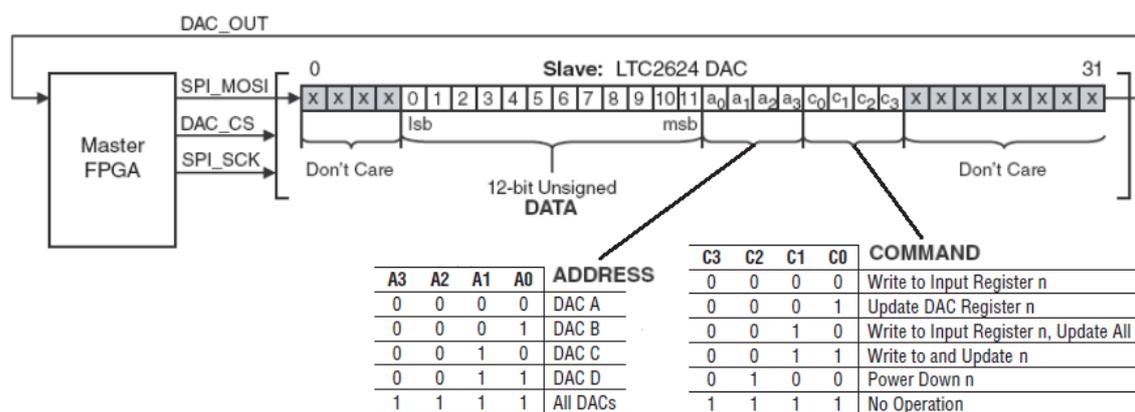


Рис. 3 – Протокол взаимодействия ПЛИС с узлом ЦАП LTC 2624

ПЛИС сначала посылает восемь фиктивных (не значащих) битов, за которыми следует 4-битная команда. Затем ПЛИС выбирает один или все выходные каналы ЦАП через поле адреса, состоящего из четырех бит. После поля адреса ПЛИС передает 12-разрядное значение данных без знака, которое ЦАП преобразует в аналоговое значение на выбранный выход. Наконец, четыре фиктивных (не значащих) бита окончательно формируют 32-разрядную команду.

Программная реализация SPI интерфейса. Устройство, работающее как SPI интерфейс, имеет два входа (RES, CLK) и четыре выхода (MOSI, SCK, CS, CLR), соответствующих линии связи в шине SPI (SPI_MOSI, SPI_SCK, DAC_CS, DAC_CLR) на рисунке 1. Реализованный SPI интерфейс позволяет сформировать 12-битную посылку данных для узла ЦАП. Таким образом, сигналы, уровень которых соответствует значениям входного 12-разрядного двоичного кода, поступают на выводы А-Д ЦАП. Разработанный в WebPACK ISE программный модуль имеет следующий вид:

```

architecture end_ltc2624 of ltc2624 is
signal memory_dac : std_logic_vector(31 downto 0):= (others=> '0');
begin
process(CLK, RES)
variable count : natural range 0 to 100 := 0;
begin
    if RES = '1' then
        -- Установка команды записи и обновления
        memory_dac(23 downto 20) <= "0011";
        -- Выбор канала А ЦАП
        memory_dac(19 downto 16) <= "0000";
        -- посылка данных, эквивалентная 1/2 от опорного напряжения
        memory_dac(15 downto 4) <= "100000000001";
        count := 0;
        CS <= '1';
    elsif CLK'event and CLK = '1' then
        count := count+1;
        case count is
            when 1 => CS <= '0';
                -- Загрузка данных
                memory_dac(15 downto 4) <= "100000000001";
                -- Загрузка адреса
                memory_dac(19 downto 16) <= "0000";
                MOSI <= memory_dac(31);
            when 33 => CS <= '1';
            when 64 => count := 0;
            when others => MOSI <= memory_dac(31-((count-1) mod 32));
        end case;
    end if;
    count_out <= std_logic_vector(conv_unsigned(count, 7));
end process;
SCK <= not(CLK);
CLR <= not(RES);
end end_ltc2624;

```

Модуль интерфейса ЦАП представляет собой конечный автомат на основе переменной count. Каждый раз, на фронте сигнала CLK, данная переменная увеличивается, и проверяются несколько условий. Если count равно единице, то данные загружаются в память интерфейса (memory_dac) и готовятся для передачи данных в направлении выбранных каналов ЦАП. В данном программном модуле выбран канал А и, соответственно, используется поле адреса A3A2A1A0 = "0000". После того, как переданы все 32 бита, сигнал CS устанавливается в состояние логической единицы, для того чтобы указать ЦАП инициировать весь процесс снова. Данный процесс повторяется до тех пор, пока не будет прерван сигналом сброса RES. Сигналы SCK и CLR получены инверсией сигналов CLK и RES соответственно.

Далее было проведено моделирование с помощью ISE Simulator [5], чтобы проверить правильность работы программной реализации интерфейса SPI. После проверки работоспособности программный модуль был скомпилирован и запрограммирован в ПЛИС.

Заключение. В процессе работы нами получены следующие результаты.

– Разработан программный модуль на языке VHDL при помощи специализированного программного обеспечения WebPACK ISE, позволяющий реализовать обмен данными по интерфейсу SPI между ПЛИС XC3S500E Xilinx Spartan-3E и ИМС ЦАП LTC2624.

– Созданный модуль промоделирован в среде ISE Simulator (ISim), где проверена правильность работы данного модуля, скомпилирован и запрограммирован в ПЛИС.

Предполагается использовать результаты данной работы в разработке аппаратно-программного комплекса для измерения параметров силовых полупроводниковых приборов.

Список литературы

1. National Instruments Corporation NI Digital Electronics FPGA Board. User Manual. Circuit Development Platform. – USA. : National Instruments Corporation, 2009. – 52 с.
2. Отладочная плата NI Digital Electronics FPGA Board. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://download.ni.com/pub/branches/russia/ni_elvis/prototyping_board_with_fpga_design.pdf.
3. FPGA Board Programmable with NI LabVIEW and Xilinx ISE Tools and Integrated with NI ELVIS II/II+. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.ni.com/pdf/products/us/cat_defpga.pdf.
4. Рыбин Ю. К. Разработка средств сбора информации на основе NI Digital Electronics FPGA Board / Ю. К. Рыбин, М. А. Пушных, С. С. М. Салих // Проблемы информатики. – 2011. – № 5. – С. 120-123.
5. Зотов В. Ю. Проектирование цифровых устройств на основе ПЛИС фирмы Xilinx в САПР WebPACK ISE / В. Ю. Зотов. – М. : Горячая линия – Телеком, 2003. – 624 с.
6. Новый инструментальный комплект Spartan – 3E. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.kit-e.ru/articles/cad/2006_10_64.php. – Загл. с экрана.
7. Design of a BPSK modulator with VHDL. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://oghdez.webs.ull.es/scd/eng/pdf/Design%20of%20a%20BPSK%20modulator%20with%20VHDL.pdf>.

05.13.01

В.Т. Бобронников д.т.н., Т.С. Терешенко

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», факультет «Аэрокосмический», кафедра 604 «Системный анализ и управление»,

Москва, vlbobronnikov@yandex.ru tatiana.s.abramova@gmail.com.

ОБ АНАЛИЗЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ АВТОНОМНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ ЭНЕРГИЮ СОЛНЦА, С УЧЕТОМ ОБЛАЧНОСТИ

Разработана статистическая модель облачности для использования при оценке эффективности автономных энергетических систем, в состав которых входят солнечные батареи. В основу положено представление изменений состояния облачности над местом эксплуатации системы в виде дискретного марковского процесса. Предложена методика расчета параметров модели с использованием результатов наблюдений облачности на наземных метеостанциях. Представлены результаты численных расчетов.

Ключевые слова: автономная энергетическая система, солнечная батарея, облачность, случайный процесс, имитационная модель.

Введение. Данная работа является продолжением работ [1, 2], посвященных разработке математических моделей автономных альтернативных энергетических систем (ААЭС), использующих энергию ветра и Солнца, как нелинейных стохастических динамических систем. Модели предназначены для использования в составе системы поддержки решений (СПР), принимаемых на этапе формирования системы из доступных компонентов по заказу потребителя системы, планирующего использовать систему в определенных климатических условиях.

Основной областью применения ААЭС является энергоснабжение изолированных потребителей, расположенных в удаленных районах и не имеющих возможности пользоваться сетевой энергией. В аэрокосмическом комплексе Российской Федерации (РФ) такими изолированными потребителями могут быть малые аэродромы, наземные измерительные пункты космических систем, ретрансляторы радиорелейных линий и другие объекты наземной инфраструктуры. При эксплуатации таких систем одной из актуальных проблем является надежность снабжения потребителя энергией в периоды безветрия (для ААЭС с ветрогенератором - ВГ), в ночное время или при пасмурной погоде (для ААЭС с солнечной батареей - СБ). Эта проблема решается путем включения в состав ААЭС накопителя энергии (НЭ), например, аккумуляторной батареи, или создания гибридной ААЭС, в которую дополнительно к ВГ и/или СБ вводится дизельный генератор (ДГ).

Таким образом, основными показателями эффективности ААЭС являются стоимость приобретения, развертывания и эксплуатации ААЭС, а также надежность снабжения потребителя необходимой ему энергией. Эти показатели зависят от технических и эксплуатационных характеристик компонентов ААЭС, таких как номинальные мощности ВГ, СБ и ДГ, количество топлива, потребляемого ДГ, емкость НЭ, характеристики контроллера-инвертора, управляющего функционированием компонентов ААЭС и преобразующего вырабатываемое напряжение к напряжению устройств потребителя. Кроме того, указанные показатели существенно зависят от статистических характеристик ветра (для ААЭС с ВГ) и облачности (для ААЭС с СБ) в месте эксплуатации системы.

Оба случайных процесса – скорость ветра $V(t)$ и количество облачности $B(t)$ сложны для статистического описания и моделирования, поскольку являются существенно негауссовскими и сильно коррелированными во времени.

Целью данной статьи является разработка методики построения математической модели облачности (МО), описывающих случайный процесс $B(t)$ изменения количества облачности

над местом расположения ААЭС в виде дискретного марковского процесса.

Предлагаемая МО предназначена для использования при оценке эффективности применения СБ в составе модели функционирования ААЭС на этапе расчета коэффициента $K_{\text{осл}}(t)$ ослабления потока солнечного излучения, падающего на панель СБ, в зависимости от состояния облачности $B(t)$.

Точность разработанной модели проанализирована путем сравнения значений функциональных показателей эффективности сетевого и автономного вариантов АЭС, рассчитанных с использованием МО, с их значениями, рассчитанными с использованием непосредственно результатов наблюдений облачности, зарегистрированных в прошлом на метеостанции (т.е., так называемой, ретроспективной модели облачности – РМО).

Постановка задачи. Рассматривается случайный процесс $B(t)$ изменения количества облачности над наземной метеостанцией, представляющий собой оцениваемую по 10-балльной шкале относительную долю площади небосвода, наблюдаемого с метеостанции, закрытую облаками.

В течение продолжительного периода времени T в дискретные моменты времени $t_i, i=1, N$, с шагом Δt проведены наблюдения процесса $B(t)$. Результаты наблюдений представлены в виде округленных до ближайшего целого значений $\tilde{B}(t_i) = \tilde{B}^i, \tilde{B}^i \in [0, 10]$, образующих файл измерений $\tilde{\mathbf{B}} = [\tilde{B}^i]_N$, где $N = T/\Delta t$.

Требуется, используя данные, содержащиеся в файле $\tilde{\mathbf{B}}$, разработать модель процесса $B(t)$, учитывая его существенную негауссовость и временную коррелированность, и с помощью этой модели проанализировать влияние $B(t)$ на эффективность ААЭС.

Методика решения задачи. Ниже в данной работе методика построения МО демонстрируется с использованием результатов наблюдений облачности на метеостанции в г. Элисте в течение 20 лет с 1983 по 2002 годы [3]. В этом месте среднегодовое количество облачности m_B составляет 5.96 балла. Среднегодовая гистограмма значений процесса $B(t)$ для этого места приведена на рис. 1.

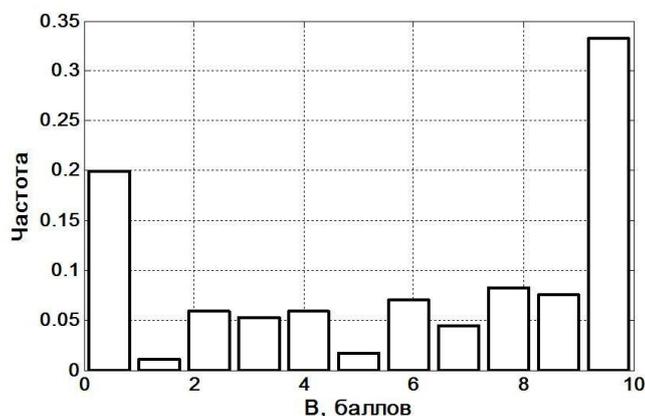


Рис. 1. — Среднегодовая гистограмма процесса $B(t)$

Качественно временную изменчивость процесса $B(t)$ характеризует его ковариационная функция $R_B(\tau)$. На рис. 2 приведена среднегодовая нормированная ковариационная функция для Элисты. Из графика видно, что в данном месте в среднем за год время корреляции процесса $B(t)$ составляет около 120 ч, т.е. 5 суток.

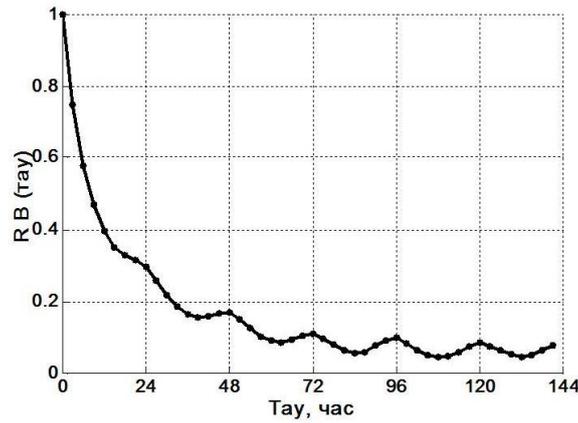


Рис. 2. — Среднегодовая нормированная ковариационная функция процесса $B(t)$

Существенная негауссовость процесса $B(t)$ (см. рис. 1) не позволяет использовать для его описания методы теории гауссовских-марковских процессов [4]. Поэтому в данной работе мы предлагаем использовать представление $B(t)$ в виде марковского случайного процесса с дискретными состояниями и непрерывным временем. Исчерпывающей характеристикой такого процесса $B(t)$ является матрица $\mathbf{Q} = [q_{ij}]_{n \times n}$ интенсивностей его переходов между дискретными состояниями V_i и V_j , $i, j = \overline{1, n}$, $i \neq j$, [5].

Учитывая U-образный характер распределения процесса $B(t)$, а также стремясь получить не слишком громоздкую модель, целесообразно представить этот процесс в виде процесса с тремя дискретными состояниями: $V_1 \in [0, 3]$, $V_2 \in [4, 6]$ и $V_3 \in [7, 10]$ баллов. Частоты \hat{P}_i , $i = \overline{1, 3}$ этих состояний можно рассчитать через частоты \hat{p}_i , $i = \overline{0, 10}$ состояний исходного процесса, вычисленные путем статистической обработки файла измерений $\tilde{\mathbf{V}}$, с помощью соотношений

$$\hat{P}_1 = \sum_{i=0}^3 \hat{p}_i, \hat{P}_2 = \sum_{i=4}^6 \hat{p}_i, \hat{P}_3 = \sum_{i=7}^{10} \hat{p}_i.$$

В качестве конкретных значений состояний V_i , $i = \overline{1, 3}$, при расчетах следует использовать оценки средних значений \hat{m}_{B_i} , $i = \overline{1, 3}$, вычисляемые по формулам

$$\hat{m}_{B_1} = \sum_{i=0}^3 i \cdot \hat{p}_i, \hat{m}_{B_2} = \sum_{i=4}^6 i \cdot \hat{p}_i, \hat{m}_{B_3} = \sum_{i=7}^{10} i \cdot \hat{p}_i.$$

Например, среднегодовые оценки компонент векторов $\hat{\mathbf{P}} = [\hat{P}_i]_3$ и $\mathbf{m}_B = [m_{B_i}]_3$ для Элисты оказались следующими:

$$\hat{P} = [0.32 \ 0.14 \ 0.53]^T; \quad \hat{m}_B = [0.95 \ 4.95 \ 9.34]^T. \tag{1}$$

Условием марковости дискретного процесса $V(t)$ является экспоненциальный характер распределений

$$p_{\tau_{ij}}(\tau) = q_{ij} e^{-q_{ij}\tau}, \quad i, j = \overline{1, 3}, \quad j \neq i, \quad \tau \geq 0, \tag{2}$$

времен τ_{ij} пребывания процесса в состояниях V_i , $i = \overline{1, 3}$, завершившихся переходами в состояния V_j , $j = \overline{1, 3}$, $j \neq i$. Параметры q_{ij} , $i, j = \overline{1, 3}$, $i \neq j$, этих распределений являются недиагональными элементами матрицы $\mathbf{Q} = [q_{ij}]_{3 \times 3}$ интенсивностей переходов процесса $V(t)$ между состояниями, а диагональные элементы q_{ii} , $i = \overline{1, 3}$, выражаются через недиагональные элементы соотношениями

$$q_{ii} = -\sum_{j=1}^3 q_{ij}, j \neq i, i = \overline{1,3}. \quad (3)$$

Зная матрицу \mathbf{Q} , путем интегрирования матричного уравнения Колмогорова

$$\frac{d\mathbf{G}}{d\tau} = \mathbf{G}\mathbf{Q} \quad (4)$$

при начальном условии $\mathbf{G}(0) = \mathbf{I}_{3 \times 3}$, где $\mathbf{I}_{3 \times 3}$ - единичная матрица размерности 3×3 , можно рассчитать зависимости $g_{ij}(\tau)$, $i, j = \overline{1,3}$, элементов матрицы $\mathbf{G}(\tau) = [g_{ij}(\tau)]_{3 \times 3}$ вероятностей переходов между дискретными состояниями процесса как функции интервала времени τ между моментами t и $t + \tau$ наблюдения процесса. Эти зависимости характеризуют временную изменчивость (коррелированность) процесса $V(t)$, учет которой является одной из главных целей построения МО.

Таким образом, при предлагаемом подходе для описания процесса $V(t)$ в виде коррелированного во времени дискретного марковского процесса с тремя состояниями требуется задать 6 недиагональных элементов q_{ij} , $i, j = \overline{1,3}$, $j \neq i$, матрицы \mathbf{Q} . Эти элементы можно найти, решив задачу идентификации матрицы \mathbf{Q} , изменение которой описывается уравнением (4). В качестве критерия идентификации целесообразно принять подлежащий минимизации квадратичный критерий

$$J(\mathbf{Q}) = \sum_{k=1}^K \left[\left(\hat{\mathbf{G}}(\tau_k) - \mathbf{G}(\mathbf{Q}, \tau_k) \right)^T \left(\hat{\mathbf{G}}(\tau_k) - \mathbf{G}(\mathbf{Q}, \tau_k) \right) \right], \quad (5)$$

где $\hat{\mathbf{G}}(\tau_k)$ - оценки матрицы $\mathbf{G}(\tau)$ для интервалов $\tau_k = k\Delta t$, $k = \overline{1, K}$, вычисленные непосредственно путем статистической обработки файла измерений $\tilde{\mathbf{V}}$;

$\mathbf{G}(\mathbf{Q}, \tau_k)$ - аналогичные матрицы, рассчитанные с использованием матрицы \mathbf{Q} для интервалов τ_k путем интегрирования (4);

$K = T_{\text{кор}} / \Delta t$ - число шагов Δt измерений $\tilde{\mathbf{V}}$ в пределах предполагаемого времени корреляции $T_{\text{кор}}$ процесса $V(t)$.

Задача оптимизации критерия (5), зависящего от шести недиагональных элементов матрицы \mathbf{Q} , может быть решена с использованием одного из методов математического программирования. При оптимизации должны учитываться ограничения типа неравенств $q_{ij} > 0$, $i, j = \overline{1,3}$, $j \neq i$, для недиагональных элементов и соотношения (3) для расчета диагональных элементов q_{ii} , $i = \overline{1,3}$.

При оптимизации в качестве начального приближения $\mathbf{Q}^0 = [q_{ij}^0]_{3 \times 3}$ можно принять значения элементов q_{ij}^0 , $i, j = \overline{1,3}$, $j \neq i$, рассчитанные с помощью соотношений

$$q_{ij}^0 = 1/\hat{m}_{\tau_{ij}}, i, j = \overline{1,3}, j \neq i, q_{ii}^0 = -\sum_{j=1}^3 q_{ij}^0, i, j = \overline{1,3}, j \neq i, \quad (6)$$

где $\hat{m}_{\tau_{ij}}$ - оценки средних времен пребывания процесса $V(t)$ в состояниях V_i , завершившихся его переходами в состояния V_j , $j \neq i$, вычисленные путем статистической обработки файла измерений $\tilde{\mathbf{V}}$.

Для Элисты среднегодовые значения $\hat{m}_{\tau_{ij}}$ оказались следующими:

$$\hat{m}_{\tau_{12}} \approx \hat{m}_{\tau_{13}} = 12.6 \text{ час}; \hat{m}_{\tau_{21}} \approx \hat{m}_{\tau_{23}} = 4.6 \text{ час}; \hat{m}_{\tau_{31}} \approx \hat{m}_{\tau_{32}} = 17.8 \text{ час}. \quad (7)$$

Как видно из этих данных, в рассматриваемом месте наиболее стабильным является состояние V_3 , а наименее стабильным – состояние V_2 .

Результирующая матрица \mathbf{Q}^* , полученная в результате решения задачи идентификации с критерием (5) с учетом (6) и (7), оказалась следующей

$$\mathbf{Q}^* = \begin{bmatrix} -0.0889 & 0.0888 & 0.0001 \\ 0.2000 & -0.4170 & 0.2120 \\ 0.0021 & 0.0600 & -0.0621 \end{bmatrix}, \text{ 1/час.} \quad (8)$$

Близость переходных вероятностей $g_{ij}(\tau)$, $i, j = \overline{1,3}$, рассчитанных интегрированием уравнения Колмогорова (4) при матрице интенсивностей \mathbf{Q}^* , элементы которой указаны в (8), к $\hat{g}_{ij}(\tau)$, $i, j = \overline{1,3}$, полученным с использованием непосредственно результатов наблюдений, демонстрируют графики, представленные на рис. 3 при переходах из состояний V_1 , V_2 и V_3 в состояния V_1 и V_3 , соответственно.

Анализ этих графиков и других результатов расчетов показывает, что марковская МО достаточно хорошо аппроксимирует свойства процесса $V(t)$, хотя несколько занижает времена корреляции для отдельных состояний процесса по сравнению с их значениями, наблюдаемыми для реального процесса.

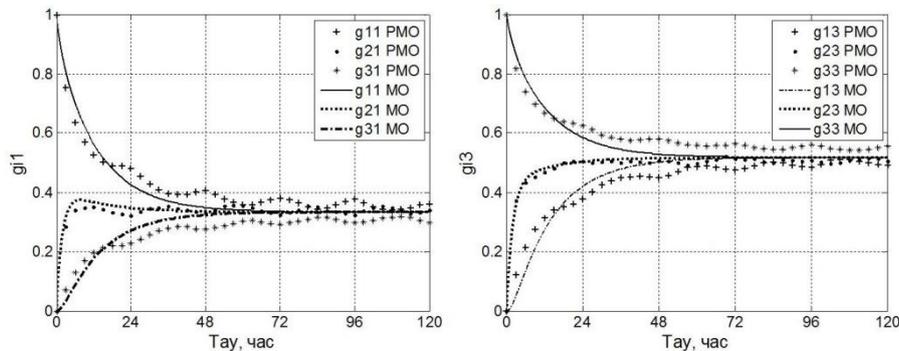


Рис. 3. — Переходные вероятности процесса $V(t)$ в состояния V_1 и V_3

Имитация процесса $V(t)$. Как показано в [1], наличие НЭ делает ААЭС динамической и существенно нелинейной системой. Поэтому функциональные показатели эффективности ААЭС целесообразно рассчитывать с помощью имитационной модели системы. Имитируя процесс выработки энергии с помощью СБ, необходимо разыгрывать реализации процесса $V(t)$ как помехи при работе СБ.

Простейшим способом имитации $V(t)$ в виде дискретного марковского процесса является розыгрыш его реализаций с фиксированным шагом Δt во времени, равным шагу имитации функционирования ААЭС в целом. Для розыгрыша $V(t)$ с использованием МО этим способом необходимо предварительно вычислить матрицу $\mathbf{G}(\Delta t) = [g_{ij}(\Delta t)]_{3 \times 3}$, интегрируя (5) до момента $\tau = \Delta t$.

Например, матрица \mathbf{G}^* , рассчитанная с помощью изложенной методики при $\Delta t = 3$ часа для Элисты, оказалась следующей

$$\mathbf{G}^*(\Delta t = 3 \text{ ч}) = \begin{bmatrix} 0.8092 & 0.1399 & 0.0509 \\ 0.3152 & 0.3276 & 0.3572 \\ 0.0329 & 0.1021 & 0.8650 \end{bmatrix}. \quad (9)$$

При марковской МО состояние процесса $V_{k+1} = V(t \in \Delta t_{k+1})$ на шаге Δt_{k+1} разыгрывается с использованием i -й строки матрицы \mathbf{G}^* , соответствующей состоянию $V_k = V(t \in \Delta t_k) = V_i$ на шаге Δt_k , согласно алгоритму

$$B_{k+1} = \begin{cases} B_1, & \text{если } u_{k+1} \in [0, g_{i1}] \\ B_2, & \text{если } u_{k+1} \in [g_{i1}, g_{i2}] \\ B_3, & \text{если } u_{k+1} \in [g_{i2}, 1] \end{cases},$$

где u_{k+1} - случайное число, разыгранное с помощью генератора случайных чисел, равномерно распределенных в интервале $[0,1]$.

Анализ эффективности ААЭС. Точность разработанной МО и влияние облачности на эффективность ААЭС можно оценить, рассчитав и сравнив показатели эффективности ААЭС с СБ, в которой облачность имитируется с использованием МО и РМО.

Для решения задачи в такой постановке была разработана упрощенная модель ААЭС, в которой предполагалось, что в среднем за год СБ облучается Солнцем в течение 12 часов каждые сутки. Изменения количества энергии, вырабатываемого СБ, обусловленные внутрисуточными и сезонными изменениями азимута и высоты Солнца, не учитывались.

Для количественного описания степени ослабления потока солнечного излучения E , падающего на СБ, облачностью использовалась эмпирическая зависимость коэффициента ослабления потока $K_{\text{осл}}(B)$, представленная графически в [6]. Эту зависимость мы аппроксимировали аналитическим выражением

$$K_{\text{осл}}(B) = ae^{bB} + ce^{dB} \quad (10)$$

с параметрами $a = -0.001742$, $b = 0.6254$, $c = 0.9907$, $d = 0.001261$.

В качестве исходных данных рассматривались следующие характеристики упрощенной модели ААЭС: $N_{\text{потр}}^* = \text{const}$ – мощность, запрашиваемая потребителем энергии; $N_{\text{СБ}_0} = \text{const}$ - номинальная мощность СБ, т.е. мощность, которую может выработать СБ без учета влияния облачности; $S_{\text{НЭ}}$ - емкость НЭ.

Анализ ААЭС. Применительно к ААЭС расчеты проводились с помощью динамической имитационной модели, в которой системное время изменялось с шагом $\Delta t = 3$ часа на интервале T продолжительностью 20 лет. Состояния облачности разыгрывались с помощью матриц \mathbf{G}^* , элементы которой указаны в (9).

В имитационной модели ААЭС единственной переменной ее состояния является количество энергии $E_{\text{НЭ}}(t)$, хранящееся в НЭ. Изменение этой переменной описывается дифференциальным уравнением [1]

$$\frac{dE_{\text{НЭ}}}{dt} = \begin{cases} \Delta N(t), & \text{если } E_{\text{НЭ}}(t) \in [0, S_{\text{НЭ}}] \\ 0, & \text{если } E_{\text{НЭ}}(t) \notin [0, S_{\text{НЭ}}] \end{cases}, \quad E_{\text{НЭ}}(t_0) = E_{\text{НЭ}_0}, \quad (11)$$

где $E_{\text{НЭ}_0}$ - начальное количество энергии, хранящееся в НЭ; $\Delta N(t) = N_{\text{СБ}}(t) - N_{\text{потр}}^*(t)$ - разность между мощностью $N_{\text{СБ}}(t) = K_{\text{осл}}(B(t)) \cdot N_{\text{СБ}_0}$, поступающей от СБ с учетом $B(t)$ в текущий момент времени, и энергией $N_{\text{потр}}^*(t)$, запрашиваемой потребителем в этот момент. При расчете $K_{\text{осл}}(B(t))$ в качестве аргумента использовались компоненты вектора $\hat{\mathbf{m}}_B$, значения которых для Элисты указаны в (1).

В модели РМО реализации $B(t)$ задавались по результатам наблюдений, а в МО разыгрывались по изложенной методике. Расчеты проводились при $N_{\text{потр}}^* = 1$ кВт и $N_{\text{СБ}_0} = 3.15$ кВт. Указанное значение $N_{\text{СБ}_0}$ было подобрано из условия обеспечения $K_{\text{потр}} = 100\%$ при использовании НЭ неограниченной емкости. Емкость НЭ $S_{\text{НЭ}}$ варьировалась в диапазоне от 0 до 30 кВт·ч.

Были рассчитаны следующие функциональные показатели эффективности ААЭС:

$K_{\text{потр}}$ - коэффициент надежности снабжения потребителя энергией как отношение количества энергии, полученного потребителем от ААЭС за заданный продолжительный

период ее функционирования T , к суммарному количеству энергии, которое запрашивалось потребителем за этот период;

$K_{\text{потерь}}$ - коэффициент потерь энергии как отношение количества энергии, которое было выработано СБ, но оказалось неиспользованным из-за ограниченной емкости НЭ и коррелированности процесса $B(t)$, и другие.

Графики зависимостей $K_{\text{потр}}(S_{\text{НЭ}})$, $K_{\text{потерь}}(S_{\text{НЭ}})$, рассчитанные при использовании РМО и МО, приведены на рис. 4.

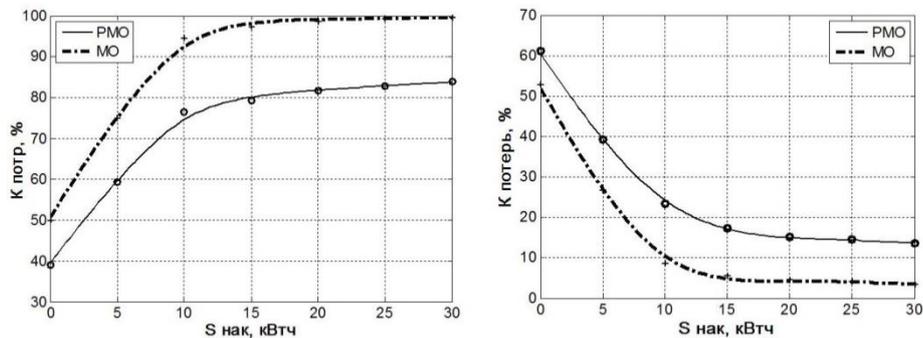


Рис. 4. — Зависимость $K_{\text{потр}}(S_{\text{НЭ}})$ и $K_{\text{потерь}}(S_{\text{НЭ}})$

Анализируя графики, представленные на этих рисунках, можно отметить следующее.

1. При отсутствии НЭ в составе ААЭС облачность уменьшает количество энергии, полученное потребителем, до 40-50% от ее величины, которую потребитель мог бы получить при безоблачной погоде. Использование НЭ позволяет повысить среднегодовое значение $K_{\text{потр}}$ до 90-95%, но для этого емкость НЭ должна быть весьма большой.

2. Использование МО несколько завышает показатель надежности снабжения потребителя энергией $K_{\text{потр}}$ по сравнению с его значением при РМО. Можно назвать следующие возможные причины такого завышения:

- методические ошибки, обусловленные аппроксимацией исходного процесса $B(t)$ с 11 состояниями, свойства которого обусловлены сезонными и суточными изменениями погоды, стационарным дискретным процессом с тремя состояниями;

- недостаточно точное выполнение условий марковости для реального процесса $B(t)$, приводящее к более коротким временам корреляции процесса, описываемого моделью МО, по сравнению с их значениями, рассчитанными с помощью РМО (см. рис. 3).

3. Ограниченная емкость НЭ $S_{\text{НЭ}}$ и коррелированность процесса $B(t)$ приводят к значительным потерям энергии, вырабатываемой СБ. Эти потери можно снизить, увеличивая емкость НЭ $S_{\text{НЭ}}$.

Имитационная модель позволяет также рассчитать и другие показатели эффективности ААЭС, которые могут быть учтены при формировании системы для потребителя. Такими показателями могут быть среднее количество энергии, хранящееся в НЭ, доля времени, когда потребитель получает необходимую ему энергию от ААЭС не в полном объеме, частота включений ДГ и среднемесячное потребление топлива при использовании гибридного варианта ААЭС и другие.

Заключение. Существуют две особенности автономных (изолированных) альтернативных систем энергоснабжения, отличающие их от сетевых систем: сетевая энергия потребителю недоступна, а ААЭС должна функционировать в определенном месте, указываемом заказчиком-потребителем энергии, с определенными климатическими условиями.

На этапе формирования ААЭС, в состав которой планируется включить СБ, необходимо использовать математическую модель ААЭС как нелинейной стохастической динамической системы, обеспечивающую расчет показателей эффективности ААЭС в том числе с учетом облачности в месте эксплуатации системы.

Предложенная в работе модель облачности в виде дискретного марковского процесса позволяет учесть основные особенности процесса $B(t)$ - его негауссовость и сильную временную коррелированность. В качестве параметров модели необходимо задать средние значения трех дискретных состояний и 6 интенсивностей переходов между состояниями для конкретного места эксплуатации ААЭС.

Изложенная методика позволяет оценить эти параметры путем статистической обработки результатов длительных метеонаблюдений в месте эксплуатации системы. Точность разработанной модели облачности может быть дополнительно повышена путем расчета сезонных значений параметров МО.

Параметры МО, рассчитанные по изложенной методике для различных климатических зон на территории РФ [7], могут быть включены в базу данных в составе СППР и использоваться при решении задач формирования ААЭС для потребителей с учетом климатических условий в местах эксплуатации системы.

Список литературы

1. *Бобронников В.Т.* Математическая модель автономной ветроэнергетической системы с учетом характеристик ветра как коррелированного случайного процесса // Известия РАН. ТиСУ. – 2013. – №. 5. – С. 114–125.
2. *Абрамова Т.С., Бобронников В.Т., Кадочникова А.Р.* Векторная модель ветра для анализа эффективности автономных ветроэнергетических систем // Известия РАН. ТиСУ. 2016. – №. 3. – С 80-87.
3. Единый Государственный Фонд Данных, ВНИИГМИ-МЦД [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.meteo.ru (дата обращения: 13.04.2016).
4. Статистическая динамика и оптимизация управления летательных аппаратов. / Бобронников В.Т., Козорез Д.А, Красильщиков М.Н., и др. [под ред. Красильщикова М.Н. и Малышева В.В.]. М.: Альянс, 2013. – 468 с.
5. *Тихонов В.И., Миронов М.А.* Марковские процессы. – М.: Советское радио, 1977. – 488 с.
6. *Кубова Р.М., Кубова А.М., Павленко А.А.* Оценка влияния статистических характеристик облачности на инсоляцию фотобатарей // Образовательные ресурсы и технологии. – 2014. – № 5(8). – С. 136-143.
7. *Попель О.С., Фортон В.Г.* Возобновляемая энергетика в современном мире. – М.: Издательский дом МЭИ, 2015. – 450 с.

05.13.18

А.П. Буйносов д.т.н.

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

**АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ УРАВНЕНИЙ ТРАНСЛЯЦИОННОЙ ДИНАМИКИ
ДВИЖЕНИЯ КОЛЕСНОЙ ПАРЫ В РЕЛЬСОВОЙ КОЛЕЕ**

В статье приводятся теоретическое обоснование и алгоритм построения уравнений трансляционной динамики математической модели движения колесной пары железнодорожного подвижного состава в рельсовой колее.

Ключевые слова: *железнодорожный транспорт, колесная пара, рельс, колея, динамика, движение, уравнение, построение, алгоритм.*

Рассмотрим уравнение трансляционного движения центра масс нагруженной колесной пары в лабораторной (неподвижной) системе координат. Будем считать, что колесная пара находится в поле тяжести Земли, а также на нее действуют силы со стороны боковых рам тележки, которые обозначим $\vec{F}^{(lab)}(t)$. Результатом взаимодействия колесной пары с рельсами является действие сил реакции, приложенных в точках контакта [1]. Учитывая перечисленные выше силы, уравнение трансляционной динамики колесной пары может быть представлено в виде:

$$M_0 \cdot \ddot{\vec{R}}_0^{(lab)} = M_0 \cdot \vec{g}^{(lab)} + \vec{F}^{(lab)}(t) + \sum_{i=1}^{kl} \vec{F}_{li}^{(lab)} + \sum_{i=1}^{kr} \vec{F}_{ri}^{(lab)}, \tag{1}$$

$$\vec{g}^{(lab)} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -g \end{bmatrix}$$

где M_0 – масса колесной пары; $\vec{F}^{(lab)}(t)$ – сила, действующая на колесную пару со стороны боковых рам тележки (в лабораторной системе координат не конкретизируется); $\vec{F}_{li}^{(lab)}$, $\vec{F}_{ri}^{(lab)}$ – силы реакции, действующие со стороны левого и правого рельса на колесную пару (в лабораторной системе координат не конкретизируется); kl , kr – число точек контакта колесной пары с левым и правым рельсом [2].

Поделив уравнение (1) на массу и введя удельные силы

$$\vec{f}^{(lab)}(t) = \frac{\vec{F}^{(lab)}(t)}{M_0}, \quad \vec{\mathfrak{R}}_{l(r)i}^{(lab)} = \frac{\vec{F}_{l(r)i}^{(lab)}}{M_0}, \tag{2}$$

получаем уравнение трансляционной динамики в следующем виде

$$\ddot{\vec{R}}_0^{(lab)} = \vec{g}^{(lab)} + \vec{f}^{(lab)}(t) + \sum_{i=1}^{kl} \vec{\mathfrak{R}}_{li}^{(lab)} + \sum_{i=1}^{kr} \vec{\mathfrak{R}}_{ri}^{(lab)}. \tag{3}$$

Преобразуем уравнение (3) в путевую систему координат (4). Первые три слагаемых в правой части уравнения (4) являются инерционными членами, появляющимися вследствие перехода в неинерциальную систему отсчета. Общность постановки задачи привела к тому, что инерционные члены имеют несколько необычный вид. После несложных преобразований рассматриваемых слагаемых они приобретают известный физический смысл.

$$\begin{aligned} \ddot{\vec{R}}_0^{(rail)} = & -\vec{T}^{-1} \cdot \ddot{\vec{R}}^{(L)} - \vec{T}^{-1} \cdot \ddot{\vec{T}} \cdot \vec{R}_0^{(rail)} - 2 \cdot \vec{T}^{-1} \cdot \dot{\vec{T}} \cdot \dot{\vec{R}}_0^{(rail)} + \vec{T}^{-1} \cdot \vec{g}^{(lab)} + \vec{T}^{-1} \cdot \vec{f}^{(lab)} + \\ & + \sum_{i=1}^{kl} \vec{T}^{-1} \cdot \vec{\mathfrak{R}}_{li}^{(lab)} + \sum_{i=1}^{kr} \vec{T}^{-1} \cdot \vec{\mathfrak{R}}_{ri}^{(lab)}. \end{aligned} \tag{4}$$

В первом слагаемом правой части уравнения после преобразования можно выделить трансляционный и центробежный инерционные члены (связанные с переносным движением):

$$-\bar{T}^{-1} \cdot \ddot{\bar{R}}^{(L)} = \begin{bmatrix} -\ddot{L} \\ -\frac{(\dot{L})^2}{\rho(L)} \cdot \cos\gamma \\ \frac{(\dot{L})^2}{\rho(L)} \cdot \sin\gamma \end{bmatrix}, \quad (5)$$

где $\rho(L)$ – локальный радиус кривизны линии пути (в данном случае – отрицательный) [3].

Второе слагаемое в правой части уравнения (6) представляет собой обобщенные центробежные силы и после преобразования может быть представлен в виде

$$\begin{aligned} -\bar{T}^{-1} \cdot \ddot{\bar{T}} \cdot \bar{R}_0 = & \begin{bmatrix} -\frac{1}{\rho \cdot \eta} \cdot \dot{L} \cdot (Y_0 \cdot \sin\gamma + Z_0 \cdot \cos\gamma) \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \\ & \left(\frac{\rho_L}{\rho^2} \cdot \dot{L}^2 - \frac{1}{\rho} \cdot \ddot{L} \right) \cdot (-Y_0 \cdot \cos\gamma + Z_0 \cdot \sin\gamma) \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} - \frac{1}{\rho^2} \cdot \dot{L}^2 \cdot (Y_0 \cdot \cos\gamma - Z_0 \cdot \sin\gamma) \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ -\cos\gamma \\ \sin\gamma \end{bmatrix} + \\ & + \frac{1}{\eta^2} \cdot \dot{L}^2 \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix} + \left(\frac{\eta_L}{\eta^2} \cdot \dot{L}^2 - \frac{1}{\eta} \cdot \dot{L} \right) \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ -Z_0 \\ Y_0 \end{bmatrix}, \end{aligned} \quad (6)$$

$$\eta(L) = \frac{1}{\gamma_L}, \quad (7)$$

где η – радиус кручения

В дальнейшем индекс (rail) путевой системы координат опускается. Третье слагаемое правой части уравнения (4) представляет обобщенные кориолисовы силы

$$-2 \cdot \bar{T}^{-1} \cdot \dot{\bar{T}} \cdot \dot{\bar{R}}_0 = -2 \cdot \frac{1}{\eta} \cdot \dot{L} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ -\dot{Z}_0 \\ \dot{Y}_0 \end{bmatrix} + 2 \cdot \frac{1}{\rho} \cdot \dot{L} \cdot (\dot{Y}_0 \cdot \cos\gamma - \dot{Z}_0 \cdot \sin\gamma) \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}. \quad (8)$$

Подставляя (5)–(8) в (4), получаем систему уравнений, описывающих переносное движение колесной пары. При подстановке результатов вычисления инерционных членов в уравнения движения выполним перегруппировку слагаемых, смысл которой будет виден в окончательных уравнениях.

В первую очередь рассмотрим уравнение движения колесной пары вдоль оси $Ox^{(rail)}$ путевой системы координат

$$\begin{aligned} & \ddot{L} + \frac{1}{\rho \cdot \eta} \dot{L}^2 \cdot (Y_0 \cdot \sin\gamma + Z_0 \cdot \cos\gamma) + \\ & + \left(\frac{\rho_L}{\rho^2} \cdot \dot{L}^2 - \frac{1}{\rho} \cdot \ddot{L} \right) \cdot (Y_0 \cdot \cos\gamma - Z_0 \cdot \sin\gamma) - \frac{1}{\rho} \cdot \dot{L} \cdot (\dot{Y}_0 \cdot \cos\gamma - \dot{Z}_0 \cdot \sin\gamma) = \\ & \frac{1}{\rho} \cdot \dot{L} \cdot (\dot{Y}_0 \cdot \cos\gamma - \dot{Z}_0 \cdot \sin\gamma) + f_x + \sum_{i=1}^{kl} \mathfrak{R}_{xli} + \sum_{i=1}^{kr} \mathfrak{R}_{xri} \end{aligned} \quad (9)$$

Так как кривизна траектории, по которой движется центр масс колесной пары, отличается от кривизны линии L , введем коэффициент, учитывающий изменения метрики

$$\tau(L) = 1 - \frac{1}{\rho} \cdot (Y_0 \cdot \cos\gamma - Z_0 \cdot \sin\gamma) \quad (10)$$

Тогда скорость центра масс колесной пары может быть представлена в виде

$$\dot{\tilde{L}} = \dot{L} \cdot \tau \quad (11)$$

Нетрудно показать, что с учетом (10) и (11) уравнение (9) приобретает вид

$$\ddot{\vec{L}} = \frac{1}{\rho} \cdot \dot{L} \cdot (\dot{Y}_0 \cdot \cos \gamma - \dot{Z}_0 \cdot \sin \gamma) + f_x + \sum_{i=1}^{kl} \mathfrak{R}_{xli} + \sum_{i=1}^{kr} \mathfrak{R}_{xri} \quad (12)$$

Первое слагаемое в правой части уравнения (12) – остаточное кориолисово ускорение. Уравнение (12) является следствием точного преобразования уравнений динамики в неинерциальную систему координат и не содержит приближений.

Перейдем к анализу уравнений движения центра масс колесной пары в плоскости $YOZ^{(rail)}$ путевой системы координат. В соответствии с формулами (4)–(8) получаем:

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} \ddot{Y}_0 \\ \ddot{Z}_0 \end{bmatrix} &= \frac{1}{\eta^2} \cdot \dot{L}^2 \cdot \begin{bmatrix} Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix} + 2 \cdot \frac{1}{\eta} \cdot \dot{L} \cdot \begin{bmatrix} \dot{Z}_0 \\ -\dot{Y}_0 \end{bmatrix} - \left(\frac{\eta_L}{\eta^2} \cdot \dot{L}^2 - \frac{1}{\eta} \cdot \ddot{L} \right) \cdot \begin{bmatrix} Z_0 \\ -Y_0 \end{bmatrix} + \\ &+ \frac{\dot{L}^2}{\tilde{\rho}} \cdot \begin{bmatrix} -\cos \gamma \\ \sin \gamma \end{bmatrix} - g \cdot \begin{bmatrix} \sin \gamma \\ \cos \gamma \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} f_Y \\ f_Z \end{bmatrix} + \sum_{i=1}^{kl} \begin{bmatrix} \mathfrak{R}_{Yli} \\ \mathfrak{R}_{Zli} \end{bmatrix} + \sum_{i=1}^{kr} \begin{bmatrix} \mathfrak{R}_{Yri} \\ \mathfrak{R}_{Zri} \end{bmatrix}, \end{aligned} \quad (13)$$

где учтено влияние метрики на радиус кривизны траектории

$$\tilde{\rho} = \rho \cdot \tau \quad (14)$$

Первые три слагаемых в правой части уравнения (13) после несложных преобразований могут быть приведены к хорошо известному виду, описывающему неинерциальные эффекты при вращении системы координат с угловой скоростью $\dot{\vec{\gamma}}$

$$\frac{1}{\eta^2} \cdot \dot{L}^2 \cdot \begin{bmatrix} Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix} + 2 \cdot \frac{1}{\eta} \cdot \dot{L} \cdot \begin{bmatrix} \dot{Z}_0 \\ -\dot{Y}_0 \end{bmatrix} - \left(\frac{\eta_L}{\eta^2} \cdot \dot{L}^2 - \frac{1}{\eta} \cdot \ddot{L} \right) \cdot \begin{bmatrix} Z_0 \\ -Y_0 \end{bmatrix} = [\vec{R} \times \ddot{\vec{\gamma}}] + 2 \cdot [\dot{\vec{R}} \times \dot{\vec{\gamma}}] + [\ddot{\vec{\gamma}} \times [\vec{R} \times \dot{\vec{\gamma}}]] \quad (15)$$

Четвертое слагаемое уравнения (13) описывает центробежные эффекты, обусловленные вращением системы координат с угловой скоростью $\dot{\vec{\phi}}$. В частном случае, когда возвышение наружного рельса остается постоянным, неинерциальные эффекты (15) исчезают, и уравнения движения колесной пары (13) приобретают вид

$$\begin{bmatrix} \ddot{Y}_0 \\ \ddot{Z}_0 \end{bmatrix} = \frac{\dot{L}^2}{\tilde{\rho}} \cdot \begin{bmatrix} -\cos \gamma \\ \sin \gamma \end{bmatrix} - g \cdot \begin{bmatrix} \sin \gamma \\ \cos \gamma \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} f_Y \\ f_Z \end{bmatrix} + \sum_{i=1}^{kl} \begin{bmatrix} \mathfrak{R}_{Yli} \\ \mathfrak{R}_{Zli} \end{bmatrix} + \sum_{i=1}^{kr} \begin{bmatrix} \mathfrak{R}_{Yri} \\ \mathfrak{R}_{Zri} \end{bmatrix} \quad (16)$$

Если при этом метрический коэффициент близок к единице, тогда система уравнений (12) и (16) приводится к виду

$$\ddot{\vec{L}} = f_x + \sum_{i=1}^{kl} \mathfrak{R}_{xli} + \sum_{i=1}^{kr} \mathfrak{R}_{xri} \quad (17)$$

$$\begin{bmatrix} \ddot{Y}_0 \\ \ddot{Z}_0 \end{bmatrix} = \frac{\dot{L}^2}{\rho} \cdot \begin{bmatrix} -\cos \gamma \\ \sin \gamma \end{bmatrix} - g \cdot \begin{bmatrix} \sin \gamma \\ \cos \gamma \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} f_Y \\ f_Z \end{bmatrix} + \sum_{i=1}^{kl} \begin{bmatrix} \mathfrak{R}_{Yli} \\ \mathfrak{R}_{Zli} \end{bmatrix} + \sum_{i=1}^{kr} \begin{bmatrix} \mathfrak{R}_{Yri} \\ \mathfrak{R}_{Zri} \end{bmatrix}$$

В этом случае движение центра масс колесной пары можно рассматривать как плоское в путевой системе координат. Преобразование произвольного радиус-вектора при переходе от лабораторной к подвижной системе координат может быть представлено как суперпозиция трансляции и поворота:

$$\vec{R}^{(lab)} = \vec{R}^{(L)} + \vec{\Phi} \cdot \vec{R}^{(move)}, \quad \vec{\Phi} = \begin{bmatrix} \cos \phi & -\sin \phi & 0 \\ \sin \phi & \cos \phi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (18)$$

Предполагая, что полотно железной дороги может изменять наклон (например, при входе в кривую), введем поворот системы координат на угол $\gamma(L)$ – угол возвышения наружного рельса. Матрица перехода в новую систему координат, которую назовем путевой (railway), может быть представлена в виде

$$\vec{R}^{(move)} = \vec{\Gamma} \cdot \vec{R}^{(rail)}, \quad \vec{\Gamma} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\gamma & -\sin\gamma \\ 0 & \sin\gamma & \cos\gamma \end{bmatrix}. \quad (19)$$

Суперпозиция преобразований (18) и (19) определяет переход из лабораторной в путевую систему координат (labrail):

$$\vec{R}^{(lab)} = \vec{R}^{(L)} + \vec{T} \cdot \vec{R}^{(rail)}, \quad \vec{T} = \vec{\Phi} \cdot \vec{\Gamma}. \quad (20)$$

Отметим, что при преобразовании векторных физических величин, не являющихся радиус-векторами (силы, моменты сил и так далее), должно осуществляться только вращательное преобразование, без трансляции [4].

В представленном выше преобразовании из лабораторной в путевую систему координат фигурируют только две динамические переменные системы: координату $L(t)$ и скорость переносного движения центра масс колесной пары

$$V^{(L)}(t) = \dot{L}(t). \quad (21)$$

Список литературы

1. Буйносов А.П. Модель эксплуатационного износа сложных систем железнодорожного транспорта // Вестник транспорта Поволжья. – 2010. – № 4(24). – С. 21–25.
2. Буйносов А.П. Математическая модель повышения долговечности бандажей колесных пар тягового подвижного состава // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2012. – № 9. – С. 121–129.
3. Буйносов А.П., Шепелева И.О. Моделирование упрочнения стали бандажей при термообработке колесных пар электровозов // Научно-технический вестник Поволжья. – 2015. – № 2. – С. 86–89.
4. 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

А.В. Вицентий к.т.н., А.Г. Олейник д.т.н., Д.В. Рябов

Институт информатики и математического моделирования технологических процессов
Кольского НЦ РАН, лаборатория региональных информационных систем,
Апатиты, alx_2003@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ ВЫЧИСЛЕНИЙ НА ГРАФИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОРАХ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ¹

В работе исследуется эффективность вычислений на GPU Nvidia Tesla C2050 на примере алгоритма умножения матриц. Вычислительные эксперименты проводились на матрицах разной размерности с числами как одинарной, так и двойной точности. Показано, что механизмы работы с памятью, реализованные в Tesla C2050, накладывают существенные ограничения на производительность вычислений.

Ключевые слова: *Tesla C2050, GPGPU, вычисления общего назначения, CUDA, сравнение производительности, геовизуализация.*

Введение. В последние годы параллельные вычисления находят все более широкое применение [1,2]. Для авторов наибольший интерес представляет использование массивно-параллельных вычислений для анализа и обработки данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и построения на их основе когнитивных геоизображений [3]. Указанная область является важным компонентом системы получения, анализа и обработки информации для задач управления комплексной безопасностью развития арктических регионов. Когнитивные геоизображения могут обеспечить повышение эффективности управления безопасностью и оперативности выработки обоснованных решений по управлению территориями. Не смотря на развитие облачных и суперкомпьютерных технологий, существует класс задач, которые должны выполняться локально, на клиентской машине. До распространения неспециализированных вычислений на графических процессорах это было трудновыполнимо. Большинство рабочих станций не могли справиться с такой ресурсоемкой задачей за приемлемое время, что не позволяло использовать их для решения задач оперативного мониторинга территорий, выработки управляющих воздействий в критических и чрезвычайных ситуациях [4]. Существенно увеличить вычислительную производительность системы позволяет использование графического процессора (graphics processing unit, GPU) видеокарты для выполнения общих вычислений (General-purpose computing for graphics processing units, GPGPU) и программно-аппаратная архитектура параллельных вычислений (CUDA). Архитектура CUDA для графического процессора от компании Nvidia даёт разработчику возможность по своему усмотрению организовывать доступ к набору инструкций графического ускорителя и управлять его памятью.

Цель работы. Многие процедуры обработки данных ДЗЗ и последующей геовизуализации связаны с матричными вычислениями. От эффективности их реализации на GPU зависит производительность всей вычислительной системы. В связи с этим была поставлена цель исследования вычислительных возможностей GPU Nvidia Tesla C2050 на примере алгоритма умножения матриц (АУМ). Умножение матриц хорошо подходит для исследования вычислительных особенностей и программирования GPGPU, так как относится к задачам массивно-параллельной обработки данных [5].

Эксперимент. В работе за время выполнения алгоритма бралась сумма времени выполнения фаз «Конфигурация ядра GPU», «Передача данных на GPGPU» и «Выполнение вычислений», что позволяет определить точное время занятости графического процессора без учета производительности других компонентов тестирующей платформы. Для реализации задач исследования производительности GPU Tesla C2050 был спроектированы и

¹ Работы выполнены при финансовой поддержке РФФИ. Проект № 15-07-04290

реализованы на языках программирования C++, C, CUDA в среде быстрой разработки приложений Visual Studio 2008 Express программные модули, позволяющие экспериментальным путем оценить производительность центрального и графического процессоров на примере АУМ. Компиляция исходного кода для вычислений на графическом процессоре выполнялась средствами компилятора NVIDIA NVCC, входящим в состав NVIDIA CUDA SDK.

Эксперименты проводились на матрицах размерностью от 128x128 до 5120x5120 элементов, как одинарной, так и двойной точности. Вторым параметром являлся выбор вычисляемого блока данных (группировка потоков в блоки). Каждый эксперимент проводился не менее чем 100 раз, что позволило убедиться в статистической достоверности полученных результатов. Проверка корректности выполнения алгоритма осуществлялась средствами NVIDIA CUDA Toolkit Visual Profiler.

Основные результаты и выводы. Экспериментальное исследование позволило наглядно показать необходимость оптимизации программного кода вычислений для GPU Nvidia Tesla C2050 с целью получения лучших результатов с точки зрения производительности.

На рисунке 1 показана зависимость времени выполнения АУМ от размерности матрицы. Следует отметить, что аппаратные ограничения GPU не позволили использовать матрицы большой размерности (более 4096). Быстродействие АУМ на GPU можно повысить за счет разбиения исходной задачи на множество подзадач. Использование ядра для вычисления одного элемента результирующей матрицы не эффективно, так как требует исполнения большого числа математических операций и операций чтения данных из глобальной памяти GPU. Для увеличения объема данных, получаемых в результате исполнения ядра, было решено ассоциировать с каждым ядром не один элемент исходных матриц, а целый блок, то есть перейти к блочному АУМ. В этом случае блок результирующей матрицы X' выразится как: $X' = A1'*B1' + A2'*B2' + \dots + An'*Bm'$, где An' и Bn' соответствующие блоки перемножаемых матриц.

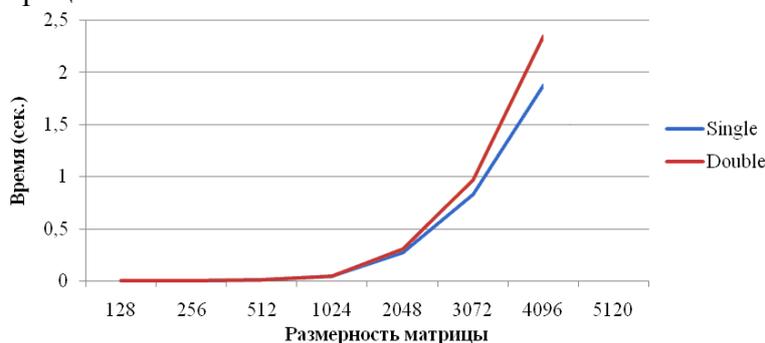


Рис. 1 - Зависимость времени выполнения АУМ от размерности матрицы для алгоритма без использования разделяемой памяти

График, представленный на рисунке 2, показывает зависимость времени выполнения алгоритма умножения матриц с использованием разделяемой памяти от размерности матрицы при оптимальных условиях конфигурирования ядра графического процессора.

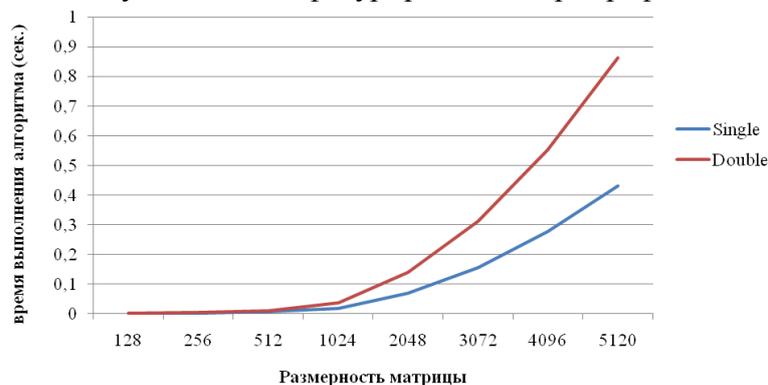


Рис. 2 - Зависимость времени выполнения АУМ от размерности матрицы для алгоритма с использованием разделяемой памяти

Заключение. Исследования, результаты которых представлены на рисунках 1 и 2 показали, что лимитирующим критерием в скорости выполнения вычислений на GPGPU является доступ к глобальной памяти, Минимизировать время доступа можно за счет использования разделяемой памяти графического процессора. При этом то, каким образом отдельные нити группируются в блоки, не оказывает значительного влияния на быстродействие. Также проводились эксперименты и с другими вариантами реализации АУМ: без оптимизации под особенности GPU; оптимизированные алгоритмы; с использованием библиотек cuBLAS и Thrust. Также проведено сравнение производительности АУМ на CPU и GPU [6]. При размерах матриц 2048x2048 элементов ускорение GPU относительно CPU устанавливается на уровне 250-400 раз для вычисления данных одинарной точности и 150-200 раз для данных двойной точности. Эксперимент показал, что ускорение при вычислении больших объемов данных значительно больше, чем при малых, так как конфигурирование ядра GPU и передача данных требуют значительного времени.

На основе проведенных вычислительных экспериментов можно утверждать, что при некоторых ограничениях, параллельные реализации АУМ могут быть эффективно использованы для обработки графических данных большого объема (ДЗЗ) на GPU Nvidia Tesla C2050.

Список литературы

1. *Kollias G., Madan S., Olaf S., and Ananth G.* Fast parallel algorithms for graph similarity and matching. // Journal of Parallel and Distributed Computing. 2014. Vol. 74, № 5. P. 2400–2410
2. *Chang E.* PSVM: Parallelizing Support Vector Machines on Distributed Computer. // Foundations of Large-Scale Multimedia Information Management and Retrieval. Springer. 2011. P. 213-230
3. *Вицентий А.В.* Разработка технической платформы средств динамического картографирования и визуального анализа на примере системы информационной поддержки мониторинга радиологической обстановки. // Фундаментальные проблемы системной безопасности: материалы V Международной научной конференции, посвященной 90-летию со дня рождения выдающегося ученого, генерального конструктора ракетно-космических систем академика В.Ф. Уткина. 2014. С. 324-329
4. *Вицентий А.В., Порядин Т.А., Шишаев М.Г.* Разработка системы информационной поддержки мониторинга радиологической обстановки с использованием данных ДЗЗ (на примере Мурманской области) // Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли: материалы международной научной конференции. (Красноярск, 23-26 сентября 2014 г.). Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2014. С. 262-266.
5. *Golub G., Loan C.* Matrix computations. Matrix Computations. Johns Hopkins University Press. 1996. 694 p
6. *Рябов Д.В., Вицентий А.В.* Анализ вычислительных возможностей GPU TESLA C2050 // Труды Кольского научного центра РАН. 2013. № 4. С. 160-169

05.13.05

Л.Р. Галимуллина, О.Г. Морозов, М.А. Салихова, Л.М. Сарварова, И.Т. Ибрагимов

Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева – КАИ, кафедра радиофотоники и микроволновых технологий,
Казань, microoil@mail.ru

ДАТЧИКИ МОНИТОРИНГА МЕЖЧЕЛЮСТНОГО ДАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ БРЭГГОВСКИХ РЕШЕТОК

В статье рассмотрены принципы построения волоконно-оптических датчиков мониторинга межчелюстного давления человека на основе волоконных брэгговских решеток. Проведен расчет параметров решетки Брэгга как длинной решетки и датчика поперечной деформации, смоделирована структурная схема системы мониторинга в среде Optiwave System, получены основные характеристики ее блоков. В результате экспериментальных исследований получены характеристики изменения межчелюстного давления как функции длины волны решетки Брэгга.

Ключевые слова: *межчелюстное давление, мониторинг, длинная волоконная решетка Брэгга, датчик поперечной деформации.*

Введение. С развитием технологий совершенствовались старые ортодонтические аппараты и появился ряд новых, успешно применяемых при лечении зубочелюстных аномалий у взрослых пациентов и детей [1]. Многие учёные работали над установлением характеристических величин для определения жевательного давления зубов. Изучение поведения зубного давления требует создания системы точного распределенного измерения давления на зубы. Размещение датчика во рту определяет его малый размер и метод измерений, которые не препятствуют нормальной жизни пациента. В медицинской области датчик представляет устройство, которое отвечает на физический стимул и передает получающийся импульс, через беспроводное устройство на компьютер. Целью работы является разработка датчиков для мониторинга межчелюстного давления человека.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи: анализ основных характеристик длинной волоконной брэгговской решетки; исследование волоконно-оптических датчиков поперечного давления; моделирование устройства в среде Optiwave System; экспериментальные исследования сердечных и дыхательных функций.

Характеристики длинной ВБР. Длинная ВБР – это, как правило, решетка длиной 80-100 мм, что свидетельствует о ее очень узком спектре. При этом нажатие на решетку в том, или ином месте существенно меняет спектр отраженного от нее излучения [2]. Для длинной ВБР центральная длина волны полосы отражения λ_B определяется также, как и у короткой

$$\lambda_B = 2n_{eff}\Lambda, \quad (1)$$

где Λ – период ВБР, определяемый фазовой маской, n_{eff} – эффективный коэффициент преломления ВБР.

В случае измерения поперечного давления в решетке создается дополнительное двулучепреломление, что приводит к разделению пиков центральной длины ВБР в двух ортогональных поляризационных плоскостях. Таким образом, информационная составляющая межчелюстного давления определяется по отношению амплитуд ортогональных составляющих, что дополнительно позволяет устранить погрешность измерения, определяемую нестабильностью мощности лазерного источника.

Моделирование датчика в среде Optiwave System. Для моделирования структурной схемы датчика для контроля межчелюстного давления человека в среде Optiwave System была использована схема корреляции спектров измерительной и стабильной опорной решетки [3-5]. Обе решетки одинаковы, как по калиброванному значению центральной длины волны, так и по полной ширине на полувысоте и максимальному коэффициенту отражения.

На рис. 1,а показан результат регистрации спектра длинной ВБР при несжатых челюстях, на рис. 1,б при полном усилии сжатия.

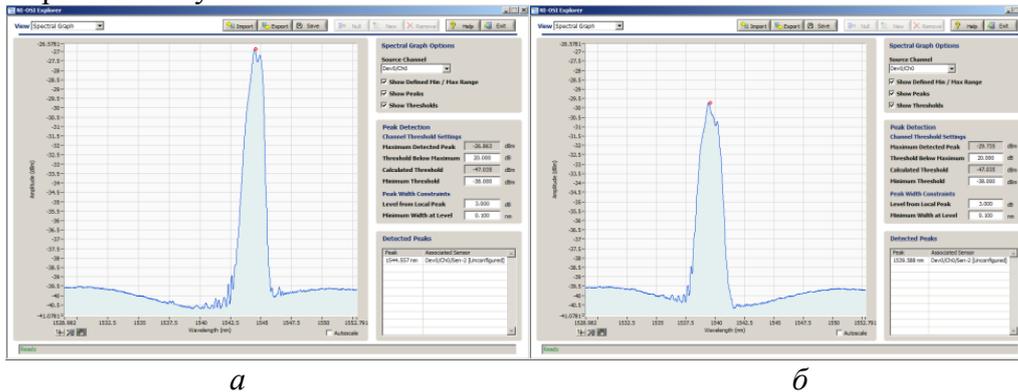


Рис. 1 – Спектр широкополосного излучения на выходе датчика без сжатия челюстей $\lambda_B = 1544,5$ нм (а) и со сжатием $\lambda_B = 1539,5$ нм (б)

Экспериментальные исследования межчелюстного давления. Структурная схема устройства представлена на рис. 2.

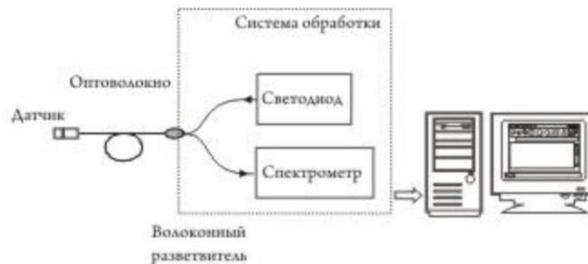
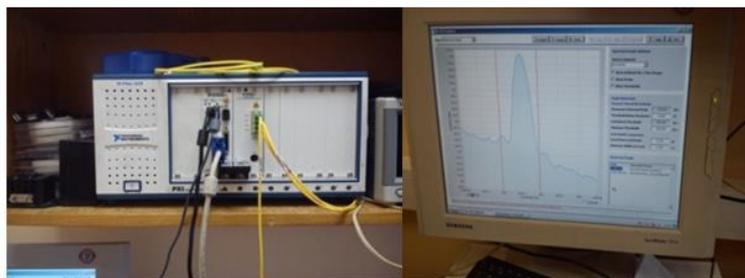


Рис. 2 – Структурная схема мониторинга межчелюстного давления

В эксперименте, был использован интеррогатор (рис. 3,а), боксерская каппа (рис. 3,б), оптоволокну SMF-28 и длинная решетка, записанная в нем в лаборатории НИИ ПРЭФЖС КНИТУ-КАИ. ВРБ была помещена внутрь каппы (70×57×20 мм). Когда каппа и оптоволокну были подвергнуты поперечной нагрузке, оказалось, энергия сжатия распределялась по всей длине каппы в силу высокой упругости ее материала. Поэтому каппа была заменена конструкцией с менее упругим материалом, позволяющим точно передавать нагрузку на волокно (рис. 3,в).



а



б

в

Рис. 3 – Элементы экспериментальной установки для контроля межчелюстного давления: а – интеррогатор National Instruments; б – боксерская каппа; в – специализированная каппа

Выходное устройство датчика для обработки спектральной информации может быть реализовано как на волоконно-оптических, так и беспроводных технологиях, чтобы облегчить мобильность пациента [6]. Дистанционно полученные результаты представлены на рис. 4. Для получения дистанционных результатов использовался радиофотонный интеррогатор [7-9]. Данные результаты позволяют качественно подтвердить возможность регистрации межжелудочного давления человека как в интегральном варианте с упругой каппой, так и с конкретизацией места наибольшего давления (специализированная каппа). Количественная оценка результатов на данном этапе исследований не проводилась.

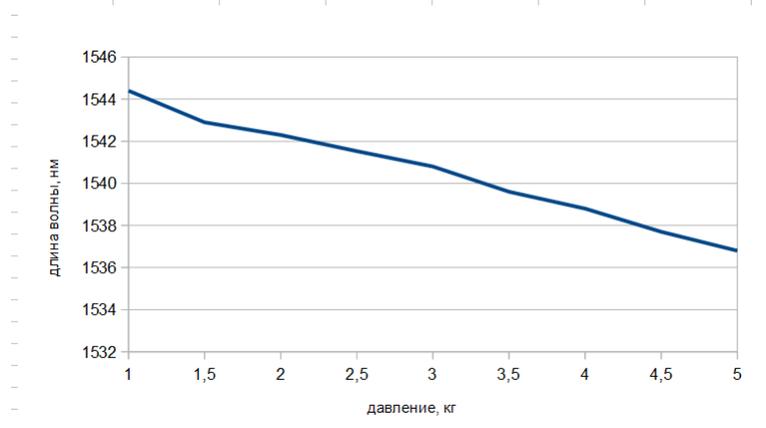


Рис. 4 – Зависимость длины волны от давления

Заключение. В работе качественно показана возможность оценки характеристик межжелудочного давления человека на основе волоконно-оптических датчиков, использующих длинные ВБР.

Работа выполнена при финансовой поддержке МОН РФ в рамках госзадания КНИТУ-КАИ (программа «Радиофотоника», 3.1962.2014/К).

Список литературы

1. *Иванов А.С.* Тензометрический прибор для измерения передачи давления через зубы на периодонт // *Стоматология*. 1974. №3. С. 86.
2. *Dennison C.R., Wild P.M.* Sensitivity of Bragg gratings in birefringent optical fiber to transverse compression between conforming materials // *Appl. Opt.* 2010. V. 49. P. 2250-2261.
3. *Касимова Д.И. и др.* Оценка возможностей применения волоконных решеток Брэгга с гауссовым профилем отражения в качестве датчика температуры // *Вестник Поволжского государственного технологического университета*. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2013. № 2 (18). С. 73-81.
4. *Кузнецов А.А.* Комплексированный волоконно-оптический датчик износа и температуры трущихся поверхностей // *Научно-технический вестник Поволжья*. 2016. №1. С. 45-48.
5. *Садыков И.Р. и др.* Волоконно-оптический рефрактометрический датчик // *Труды МАИ*. 2012. № 61. С. 18.
6. *Куприянов В.Г. и др.* Волоконно-оптические технологии в распределенных системах экологического мониторинга // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2011. Т. 13. № 4-4. С. 1087-1091.
7. *Морозов О.Г., Айбатов Д.Л., Просвирин В.П. и др.* Амплитудно-фазовые методы формирования зондирующих излучений для систем анализа волоконно-оптических структур // *Физика волновых процессов и радиотехнические системы*. 2007. Т. 10. № 3. С. 119-124.
8. *Морозов О.Г.* Амплитудно-фазовое преобразование частоты в системах временной и частотной рефлектометрии волоконно-оптических информационных и измерительных сетей // *Физика волновых процессов и радиотехнические системы*. 2004. Т. 7. № 1. С. 63-67.
9. *Морозов О.Г., Ильин Г.И.* Амплитудно-фазовая модуляция в системах радиофотоники // *Вестник Поволжского государственного технологического университета*. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2014. № 1 (20). С. 6-42.

05.13.06

Л.В. Галина, А.М. Черноусова, С.Ю. Шамаев

Оренбургский государственный университет, аэрокосмический институт,
кафедра систем автоматизации производства,
Оренбург, lubov51@yandex.ru, am_chernousova@mail.ru, aki_2123@mail.ru

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ВЫСОКОАВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ

В работе описана предлагаемая методика оценки эффективности функционирования высокоавтоматизированных производственных систем, осуществляемая по двум критериям – коэффициенту загрузки и сроку окупаемости. Методика основана на применении методов математического моделирования и реализована в виде программного обеспечения подсистемы АСТПП. Для документирования полученных в исследовании решений использовались диаграммы универсального языка моделирования UML.

Ключевые слова: *высокоавтоматизированные производственные системы, оценка эффективности, моделирование.*

В современном мире главную роль для любого предприятия играет эффективность работы, которая является индикатором развития и важнейшим стимулом для дальнейшего существования. Этому вопросу посвящено большое количество трудов и научных исследований, в которых приведены различные трактовки и основы его формирования, предложены пути повышения.

Проведенный обзор работ показал, что для оценки и определения эффективности производства на предприятии в основном используются два метода: аналитический расчет и компьютерное моделирование. Метод аналитического расчета сопряжен с затратами времени и сил аналитиков, поскольку основан на длительных и сложных расчетах. Такой метод требует наличия на предприятии специализированного отдела. В отличие от аналитического метода, моделирование – это процесс проведения экспериментов на модели вместо прямых экспериментов на самой системе [1].

Данные, полученные в результате использования моделей, являются важным, а чаще единственным источником, из которого можно почерпнуть информацию, которую на предприятии могут использовать как в процессе проектирования новой производственной системы, оценке качества и эффективности работы существующей производственной системы, а также при проектировании автоматизированных систем управления. Применение моделей, полностью заменяющих систему или её элементы, снижает затраты времени на разработку, а также материальные затраты, так как модель, с необходимой достоверностью характеризующая и описывающая основные свойства рассматриваемой системы или ее элементов, взятых в отдельности, дает возможность выявить причины отклонения от качества выполняемых работ и продумать пути повышения качества.

В работе для документирования полученных в исследовании решений использовались диаграммы универсального языка моделирования UML. Один из примеров применения объектно-ориентированного моделирования рассмотрен в статье [2].

Как показал анализ этапов принятия решения о выпуске определенного набора заказов на ряде предприятий, они вносят весомый вклад в процесс производства, поскольку решение зависит от многих факторов. На рисунке 1 приведена диаграмма прецедентов, отображающая участников процесса принятия решения [3].

Обработка заказа начинается с отдела продаж, куда поступает заявка от клиента. Он составляет карту заказа, эта карта направляется к руководству предприятия. Карта заказа поступает в технический отдел, решающий имеются ли на предприятии возможности производства данного изделия на оборудовании, установленном на предприятии. Далее выносится решение отдела снабжения о наличии материала, требуемого для производства данного изделия.



Рис. 1- Диаграмма прецедентов, отображающая участников процесса принятия решения

Производственно-диспетчерский отдел просчитывает возможные временные сроки производства изделия в зависимости от наличия необходимого оборудования и его загрузки. Финансово-экономический отдел рассчитывает стоимость выполнения всего заказа. Решение принимает администрация на основании отчетов, полученных от отделов.

Сократить сроки принятия решения о выполнении заказа возможно с помощью автоматизации расчетов плановой эффективности производства конкретного изделия, а именно, с помощью применения компьютерного моделирования. Компьютерное моделирование можно проводить либо с использованием универсальных программных средств, либо с использованием специализированных программных средств.

Разработанный программный комплекс «Подсистема АСТПП для оценки эффективности изготовления изделий» позволяет оперативно формировать портфель заказов предприятия на основе оценки эффективности изготовления изделий на имеющемся производственном оборудовании.

На рисунке 2 приведена диаграмма деятельности, иллюстрирующая реализацию алгоритма применения разработанного программного обеспечения для автоматизированной оценке эффективности высокоавтоматизированных производственных систем. Программное обеспечение включает зарегистрированные авторами три программных средства (50201001649, 2010617495, 2010617229).

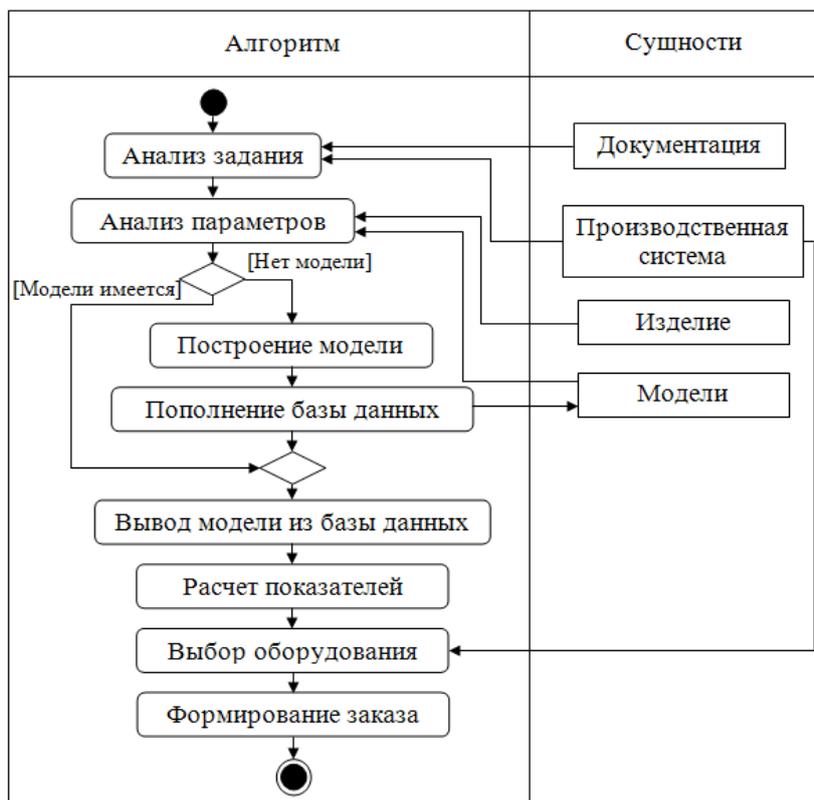


Рис. 2 – Диаграмма деятельности «Работа с подсистемой АСТПП»

Работа с применением подсистемы АСТПП начинается с анализа заказа на производство, который сопровождается конструкторской и технологической документацией. Ввод всех имеющихся данных завершается проверкой на соответствие их требуемому диапазону вычислительных экспериментов. При выходе данных за пределы диапазоны выводится сообщение с предложением провести дополнительные вычисления и рассчитать математическую модель.

Пользователю, создающему модель, необходимо иметь навыки работы с результатами вычислительных экспериментов, а, именно, навыки использования регрессионного анализа, построения моделей с помощью метода полного факторного эксперимента и методов статистической обработки полученных результатов. Далее проводится расчет показателей эффективности по математическим моделям с использованием ранее введенных исходных данных. Окончательным этапом работы подсистемы является расчет числовых значений показателей эффективности и построение на их основе графических зависимостей, показывающих изменения рассчитанных показателей.

Для программной реализации проведены вычислительные эксперименты и построены математические модели, дающие возможность провести оценку эффективности функционирования для конкретного сочетания технологических параметров, параметров оборудования, характеристик организации работы и уровня автоматизации производственной системы, определить область эффективного изготовления изделий по требуемому показателю эффективности.

Для оценки полного взаимного влияния нескольких параметров на эффективность функционирования производственной системы применен метод полного факторного эксперимента, это дало возможность рассчитать математические модели с комплексной зависимостью от полного набора параметров.

Таким образом, оценка эффективности производства деталей с помощью разработанного алгоритмического, информационного и программного обеспечения подсистемы АСТПП дает возможность руководителю предприятия оперативно оценить возможность участия в торгах при формировании портфеля заказов на новую номенклатуру изделий.

Список литературы

1. *Советов, Б.Я.* Моделирование систем. Практикум: учеб. пособие для ВУЗов [Текст] / Б.Я. Советов, С.А. Яковлев. – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Высш. школа, 2003. – 295 с.
2. *Шамаев, С. Ю.* Применение объектно-ориентированных технологий при моделировании высокоавтоматизированных производственных систем / С. Ю. Шамаев, А. М. Черноусова // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2012. – Т. 14. – № 4 (2). – С. 777 – 782.
3. *Галина, Л.В.* Повышение эффективности автоматизированных производств на основе экспресс-оценки номенклатуры изделий: Монография / Л.В. Галина, А.И. Сердюк, А.М. Черноусова. – Оренбург: ООО ИПК «Университет», 2012. – 197 с.

05.13.10

Л.Ю. Грудцына, И.Ю. Мышкина

Набережночелнинский институт ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», кафедра системного анализа и информатики,
Набережные Челны, larisa_u_g@mail.ru

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УСПЕШНОСТИ ОБУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ РЕТРОСПЕКТИВНОЙ ИНФОРМАЦИИ

В работе рассмотрена возможность применения метода деревьев решений для анализа и прогнозирования успеваемости обучения студентов вуза. Определен ряд параметров, оказывающих существенное влияние на успешность обучения. Получены диапазоны изменения параметров, соответствующие характеристикам как наиболее успешных в обучении студентов, так и студентов, имеющих проблемы с успеваемостью.

Ключевые слова: *прогноз успеваемости, data mining, деревья решений.*

Подготовка высококвалифицированных специалистов – одна из главных задач высших учебных заведений в современных экономических условиях. Реформа образования, проводимая в настоящее время, направлена на совершенствование учебной деятельности вузов. Изменились условия приема абитуриентов, технологии обучения и способы оценки учебных достижений студентов. Проблема оценки успешности, эффективности обучения студентов в этих условиях становится особенно актуальной.

Основным критерием успешности обучения считается академическая успеваемость, выражающаяся в балльной оценке учебных достижений. Прогнозирование успеваемости на ранних стадиях обучения, еще при поступлении в вуз, дает возможность повысить эффективность управления студенческим контингентом.

В данной статье рассматривается возможность применения метода деревьев классификации для анализа и прогнозирования успеваемости студента в зависимости от его индивидуальных характеристик.

Рассмотрим задачу в следующей постановке. Пусть имеются данные:

– множество студентов $C = \{c_1, c_2, \dots, c_m\}$;

– множество переменных $X = \{x_1, x_2, \dots, x_N, y\}$, определяющих характеристики студента, где x_i , $i = \overline{1, N}$ – независимые (входные) переменные, y – зависимая (целевая) переменная (см. табл.);

– множество оценок характеристик студентов $\{x_j(c_j)\}$, $i = \overline{1, N}$, $j = \overline{1, V}$.

Таблица – Переменные, определяющие характеристики студента

N	Наименование переменной	Возможные значения	Шкала измерения
1	Пол	0-женский; 1-мужской	номинальная
2	Регион проживания	1-РТ; 2-РФ за пределами РТ; 3-иностранное государство	номинальная
3	Населенный пункт	1-Набережные Челны; 2-др.город; 3-деревня, село, поселок	номинальная
4	Тип оконченного учебного заведения	1-школа; 2-гимназия, лицей; 3-колледж, техникум, училище	порядковая
5	Медаль (диплом с отличием)	0-нет, 1-да	номинальная
6	Основа поступления	1-бюджет, 0-контракт	номинальная
7	ЕГЭ Математика	количество баллов	количественная
8	ЕГЭ Физика	количество баллов	количественная
9	ЕГЭ Русский язык	количество баллов	количественная
10	Успеваемость (целевая)	2-плохо; 3-удовлетворительно; 4-хорошо; 5-отлично	порядковая

Необходимо на основе оценок характеристик $\{x_i(c_j)\}$ определить возможное значение зависимой переменной $y(c_j)$.

В настоящей работе для решения поставленной задачи применялся метод деревьев решений. Для построения дерева решений был выбран алгоритм CHAID как один из наиболее гибких алгоритмов, позволяющий строить деревья с произвольным количеством ветвлений в узлах.

Выбранный метод основан на проверке гипотезы о независимости двух переменных по критерию χ^2 . Согласно методу, на первом шаге оценивается влияние каждой входной переменной на целевую путем составления таблиц сопряженности и вычисления статистики критерия хи-квадрат:

$$\chi_0^2 = \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^M \frac{(n_{ij} - \tilde{n}_{ij})^2}{\tilde{n}_{ij}},$$

где n_{ij} , $i = \overline{1, K}$, $j = \overline{1, M}$ – наблюдаемая частота, т.е. число случаев одновременного

наблюдения i -й категории входной и j -й категории целевой переменной, $\tilde{n}_{ij} = \frac{\sum_{m=1}^M n_{im} \cdot \sum_{k=1}^K n_{kj}}{n}$ – ожидаемая (в случае независимости переменных) частота, n – общее число наблюдений.

Производится разбиение множества наборов $\{x_1(c_j), x_2(c_j), \dots, x_N(c_j), y(c_j)\}$, $j = \overline{1, V}$ по той независимой переменной, которая имеет наибольшее значение χ_0^2 . Считается, что фактор, соответствующий этой переменной, будет наилучшим образом объяснять различия значений целевой переменной. Исходное множество наборов разбивается на несколько дочерних подмножеств (узлов). Для каждого полученного подмножества (узла) снова производится проверка оставшихся независимых переменных по критерию хи-квадрат и вновь производится разбиение узла на дочерние и т.д. Более подробное описание метода приведено в работе [1].

Авторами была подготовлена выборка объемом 300 (человек), содержащая информацию о прошедших конкурсный отбор абитуриентах 2013, 2014, 2015 годов поступления, согласно характеристикам из таблицы. Для оценки успеваемости использовался текущий средний экзаменационный балл.

На основе обучающей выборки средствами пакета SPSS Statistics построено дерево классификации (рис. 1). Анализируя полученную классификацию, можно сказать следующее. Самым значимыми факторами, влияющими на разброс в значениях целевой переменной «Успеваемость» оказались переменные «ЕГЭ Математика», «Тип оконченного учебного заведения», «ЕГЭ Русский язык», «ЕГЭ Физика», «Медаль».

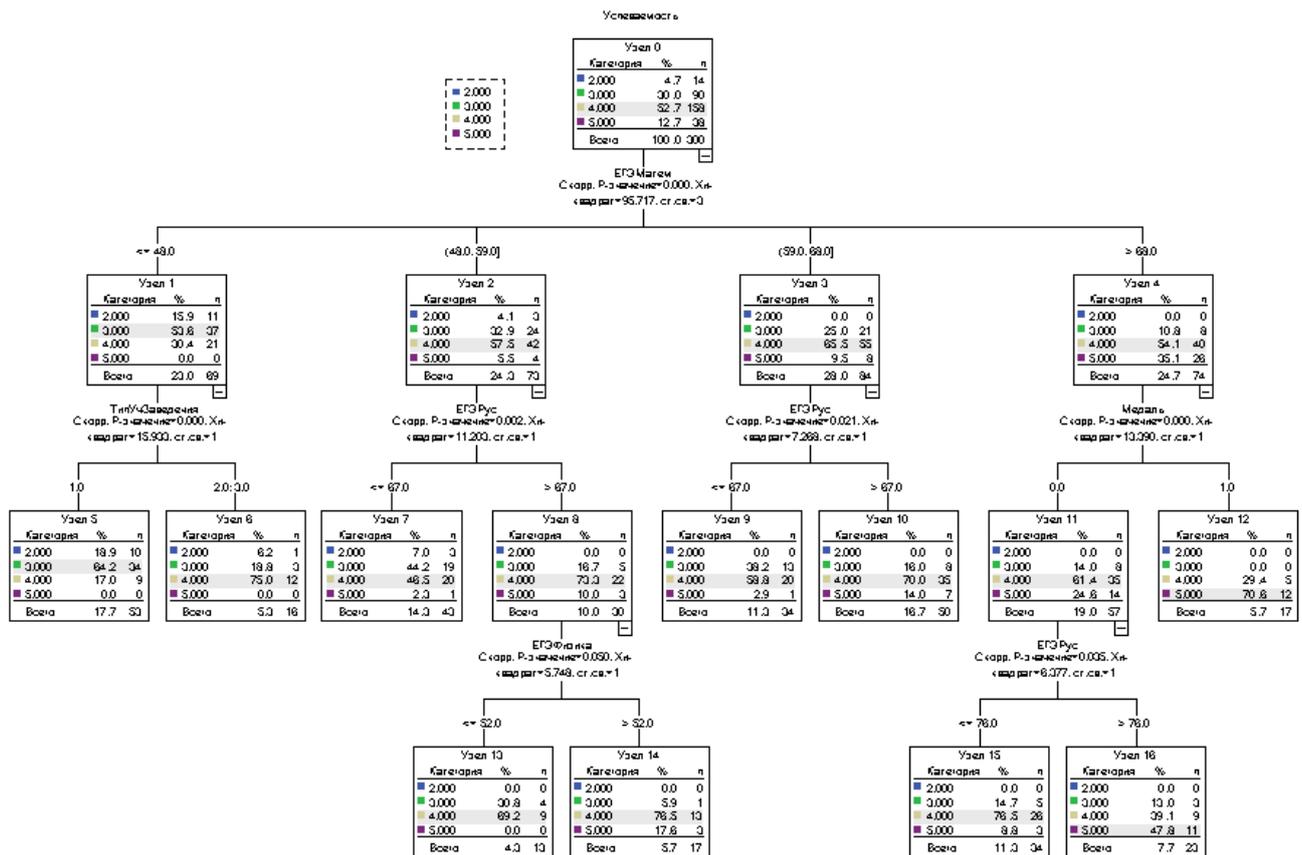


Рис. 1 – Дерево классификации

Таким образом, определяются следующие классифицирующие правила:

- (1) IF $EG_{\text{Матем}} \leq 48$ AND $\text{ТипУчЗаведения} = 1$ THEN $\text{Успеваемость} = 3$ с вероятностью 0.642.
- (2) IF $EG_{\text{Матем}} \leq 48$ AND $\text{ТипУчЗаведения} \neq 1$ THEN $\text{Успеваемость} = 4$ с вероятностью 0.75.
- (3) IF $(EG_{\text{Матем}} > 48$ AND $EG_{\text{Матем}} \leq 59)$ AND $EG_{\text{Рус}} \leq 67$ THEN $\text{Успеваемость} = 4$ с вероятностью 0.465.
- (4) IF $(EG_{\text{Матем}} > 48$ AND $EG_{\text{Матем}} \leq 59)$ AND $EG_{\text{Рус}} > 67$ AND $EG_{\text{Физика}} \leq 52$ THEN $\text{Успеваемость} = 4$ с вероятностью 0.692.
- (5) IF $(EG_{\text{Матем}} > 48$ AND $EG_{\text{Матем}} \leq 59)$ AND $EG_{\text{Рус}} > 67$ AND $EG_{\text{Физика}} > 52$ THEN $\text{Успеваемость} = 4$ с вероятностью 0.765.
- (6) IF $(EG_{\text{Матем}} > 59$ AND $EG_{\text{Матем}} \leq 68)$ AND $EG_{\text{Рус}} \leq 67$ THEN $\text{Успеваемость} = 4$ с вероятностью 0.588.
- (7) IF $(EG_{\text{Матем}} > 59$ AND $EG_{\text{Матем}} \leq 68)$ AND $EG_{\text{Рус}} > 67$ THEN $\text{Успеваемость} = 4$ с вероятностью 0.70.
- (8) IF $EG_{\text{Матем}} > 68$ AND $\text{Медаль} = 0$ AND $EG_{\text{Рус}} \leq 76$ THEN $\text{Успеваемость} = 4$ с вероятностью 0.765.
- (9) IF $EG_{\text{Матем}} > 68$ AND $\text{Медаль} = 0$ AND $EG_{\text{Рус}} > 76$ THEN $\text{Успеваемость} = 5$ с вероятностью 0.479.
- (10) IF $EG_{\text{Матем}} > 68$ AND $\text{Медаль} = 1$ THEN $\text{Успеваемость} = 5$ с вероятностью 0.706.

Указанные правила могут «работать» для составления прогноза вузовской успеваемости абитуриента. Приведенная модель будет неплохо предсказывать «хорошистов» (85,4% корректных предсказаний) и «отличников» (65%). Однако для неуспевающих и «троечников» процент корректных предсказаний будет низким.

Для устранения этой проблемы сформируем новую целевую переменную «Перспективный студент», принимающую два возможных значения: 1 – средний балл 4 и выше; 0 – средний балл 3 и ниже. В этом случае процент корректных предсказаний

повышается – для неперспективных студентов он будет равен 69,6%. Соответствующие решающие правила изменятся так:

(1*) IF ЕГЭМатем<=47 AND ТипУчЗаведения=1 THEN ПерспективныйСтудент=0 с вероятностью 0.867.

(3*) IF (ЕГЭМатем>47 AND ЕГЭМатем<=56) AND ЕГЭРус<=65 THEN ПерспективныйСтудент=0 с вероятностью 0.639.

Замечание. Полученные результаты исследования основаны на данных трех лет и отражают специфику подготовки бакалавров на отделении информационных технологий и энергетических систем НЧИ КФУ.

Описанный в работе метод деревьев решений относится к группе методов data mining и представляет собой эффективный инструмент для нахождения скрытых закономерностей. Метод деревьев выгодно отличает способность выявлять нелинейные зависимости, устойчивость к выбросам нетипичных значений, возможность обработки пропущенных данных. В отличие от нейронных сетей, деревья решений способны наглядно представить структуру обрабатываемых данных при сравнимых показателях корректности прогноза [2]. Новым в применении метода деревьев может быть возможность его использования при решении конкретных проблем, обусловленная появившимися возможностями технических и программных средств.

Результаты проведенного исследования могут быть использованы для анализа принимаемого контингента студентов в работе приемных комиссий вузов, а также для оценки потребностей в научно-педагогических кадрах в работе учебных отделов.

Список литературы

1. Грудцына Л.Ю., Мышкина И.Ю. Прогнозирование длительности безработицы на основе деревьев решений // Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева. – Казань: Изд-во КГТУ, 2015. – № 5 (81). – С. 143-147.
2. Чубукова И.А. Data Mining: учебное пособие. – М.: Интернет-университет информационных технологий, Бином. Лаборатория знаний, 2014. – 384с.

05.13.19

Н.Ю. Дегтярев, Г.П. Жигулин к.т.н., Р.А. Шакирова, С.А. БондаревУниверситет ИТМО,
Санкт-Петербург, nikolay.degtyarev@corp.ifmo.ru**АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ
ОБЛАЧНЫХ СЕРВИСОВ**

В статье агрегированы результаты международных и отечественных исследований в части использования облачных сервисов. В ходе исследования была изучена международная и отечественная база знаний в области обеспечения информационной безопасности облачных сервисов. В результате выявлены основные проблемы обеспечения информационной безопасности облачных сервисов.

Ключевые слова: *информационная безопасность, облачные сервисы, оценка рисков, cloud security, risk assessment, cloud services.*

Без сомнений облачные сервисы получили феноменальное распространение в последние годы и признаки замедления этой экспансии отсутствуют. То, что было невообразимо еще несколько лет назад, сейчас стало привлекательной опцией и операционной моделью для многих компаний. Обработка данных в облаке стала обычным делом для огромного числа организаций самого разного размера: от небольших частных фирм до международных корпораций.

Так, например, согласно исследованию iKS-Consulting, опубликованному 15 сентября 2015 года, объем рынка облачных услуг в Российской Федерации в 2014 году составил почти 13 млрд руб., показав рост на 35% к предыдущему году. К 2018 году рынок увеличится в 2,5 раза по сравнению с 2014 г., достигнув объема 32 млрд руб. [1]

Провайдеры облачных сервисов прилагают все усилия чтобы предоставить своим клиентам возможность максимально отказаться от обслуживания информационных систем и снизить расходы на поддержание ИТ инфраструктуры. Возможность использования облачных сервисов оценивается компаниями для всех процессов, которые только можно представить, начиная от управления взаимоотношениями с контрагентами до переноса в облака комплексных ERP-систем. На смену традиционным центрам обработки данных приходят решения, которые совмещают и обеспечивают виртуализацию, управление информационными технологиями в автоматическом режиме, информационную безопасность. Их отличает масштабируемость, доступность по требованию, возможность расчета затрат в зависимости от фактически использованных ресурсов.

Очевидно, что облачные сервисы открывают большие возможности для того, чтобы сделать бизнес более удобным и менее затратным. Но вместе с возможностями появляются и новые риски, которые необходимо своевременно выявлять и строго контролировать. Однако, отсутствует анализ тех сложностей обеспечения информационной безопасности при использовании облачных сервисов, с которыми предстоит столкнуться компаниям.

4 декабря 2015 года были опубликованы результаты исследования восприятия облачных технологий российскими банками, проводившимся Национальным агентством финансовых исследований (НАФИ) по заказу компании SAP. Опрошенные эксперты считают, что использование облачных сервисов сопряжено с дополнительными рисками, и в первую очередь с отсутствием уверенности в действиях вендора, в связи с невозможностью его контроля. [2]

Компанией RightScale также было проведено исследование использования облачных технологий. В нем приняло участие 1060 респондентов со всего мира — в их числе ИТ-специалисты, технические руководители и топ-менеджеры различных компаний, которые используют облачную инфраструктуру. Процент респондентов, заявивших о сложностях, связанных с обеспечением информационной безопасности при использовании облачных

технологий, увеличился по сравнению с прошлым годом и является вторым по количеству голосов респондентов. Обеспечение информационной безопасности представляет собой одну из наиболее сложных задач, стоящих перед компаниями, использующими облачные сервисы. [3]

Некоммерческой организацией Cloud Security Alliance (CSA) разработаны рекомендации по обеспечению информационной безопасности для критически важных областей облачных вычислений (“Security Guidance for Critical Areas of Focus in Cloud Computing”). Также была создана, матрица контрольных процедур, учитывающих специфику облачных технологий. Данная матрица призвана содействовать внедрению надежных контрольных механизмов провайдером облачных сервисов и помочь их потенциальным клиентам в оценке общего риска информационной безопасности при взаимодействии с провайдером.

Существуют и другие руководящие документы, описывающие контрольных механизмы, учитывающую специфику облачных технологий. Например, ISO/IEC 27017:2015.

Однако, как в вышеупомянутых, так и в других руководящих документах отсутствуют взаимосвязи между контрольными процедурами и рисками. Во многом это связано с тем, что набор соответствующих рисков уникален для каждой компании, сервиса и бизнес-процесса, переносимого в облако.

Но отсутствие подобных взаимосвязей значительно затрудняет внедрение контрольных механизмов. Это может приводить, с одной стороны, к избыточному контролю и, как следствие, избыточным затратам, с другой, к недостаточному контролю и инцидентам информационной безопасности. Другими словами, для полноценного и эффективного обеспечения информационной безопасности анализ рисков должен проводиться компаниями, использующими и (или) предоставляющими облачные сервисы.

Но стандарты, рекомендации и руководства, принятые в международной и отечественной практике в области управления рисками, не учитывают специфику облачных технологий.

Недостаток соответствующих экспертных знаний и специалистов, вызывающий наибольшие сложности при использовании облачных технологий [3], только усугубляет ситуацию.

Что же касается Российской Федерации, то у нас общепринятые стандарты, рекомендации и руководства в области обеспечения безопасности облачных технологий, в т.ч. по управлению соответствующими рисками и внедрению механизмов контроля, отсутствуют как таковые. При этом одной из характеристик идеального образа надежного и безопасного облачного сервиса, опрошенные в рамках исследования НАФИ, эксперты называют наличие и соблюдение провайдером механизмов контроля, подтвержденных независимым тестированием. Ниже приведен один из показательных ответов респондентов.

«Насколько сама система в облаке, насколько она вообще закрыта, используются ли penetration тесты независимыми компаниями, каков результат аудита информационной безопасности. Вот мы, например, все это, перед тем, как переходили, запрашивали у компании ЦФТ»

Только 58% IT-специалистов указали, что хорошо знают обо всех трех моделях облачных решений (PaaS, IaaS, SaaS). [2] На примере банковского сектора исследование НАФИ показало, что уровень осведомленности и знаний IT-специалистов Российской Федерации об облачных технологиях, также оставляет желать лучшего.

Таким образом, основными проблемами при обеспечении информационной безопасности облачных сервисов является отсутствие как в международной, так и в отечественной базе знаний методик оценки рисков информационной безопасности облачных сервисов, а также отсутствие достаточного количества кадровых ресурсов, обладающих квалификацией, позволяющей эффективно обеспечивать информационную безопасность при использовании облачных сервисов. Именно вышеупомянутые проблемы затрудняют установку доверия к облачным решениям, создают иллюзию отсутствия возможности контроля. Из-за этого компании отказываются от переноса в облака сложных и значимых бизнес-процессов, что в свою очередь значительно замедляет развитие облачных технологий в Российской Федерации.

Федерации. Создание руководящих документов по управлению рисками, учитывающих специфику облачных сервисов, в будущем поможет значительно нивелировать вышеупомянутые проблемы.

Список литературы

1. Облачный провайдинг: экономика, стратегии, бизнес-модели [Электронный ресурс] / iKS-Consulting. – Режим доступа: <http://www.iksconsulting.ru/ratings-220.html> (дата обращения: 01.05.2016).
2. Восприятие облачных технологий в российских банках : отчет по результатам исследования / Нац. агентство финанс. исслед. – Москва, 2015.
3. State of the Cloud Report / RightScale. – 2016.

05.13.05

И.Т. Ибрагимов, О.Г. Морозов, Л.Р. Галимуллина, М.А. Салихова, В.В. Садчиков

Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н.Туполева–КАИ, кафедра радиофотоники и микроволновых технологий,
Казань, microoil@mail.ru

ДАТЧИКИ МОНИТОРИНГА СЕРДЦЕБИЕНИЯ И ДЫХАТЕЛЬНОЙ ФУНКЦИИ ЧЕЛОВЕКА НА ОСНОВЕ БРЭГГОВСКИХ РЕШЕТОК

В статье рассмотрены принципы построения волоконно-оптических датчиков мониторинга сердцебиения и дыхательной функции человека на основе волоконных брэгговских решеток. Проведен расчет параметров решетки Брэгга как датчика деформации (растяжения), смоделирована структурная схема системы мониторинга в среде OptiwaveSystem, получены основные характеристики ее блоков. В результате экспериментальных исследований получены характеристики изменения пульса в области запястья, виска, грудной клетки, а также ритма дыхания в области живота.

Ключевые слова: пульс, дыхание, растяжение, сжатие, волоконная решетка Брэгга, медицинский смарт-текстиль.

Введение. Волоконная брэгговская решетка (ВБР) является одним из наиболее часто используемых элементов для разработки смарт-текстиля [1] медицинского назначения (ВБР помещенная в текстильный биндаж), благодаря ее хорошей чувствительности к деформации. Эта характеристика позволяет разрабатывать множество конфигураций, как точечных, так и последовательно и параллельно распределенных, основанных на измерении величины деформации сжатия/растяжения ВБР при мониторинге дыхания, при контроле частоты сердечных сокращений или пульса.

Целью работы является разработка датчиков для системы мониторинга сердцебиения и дыхательной функции человека.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи: анализ основных характеристик волоконной брэгговской решетки; исследование волоконно-оптических датчиков, используемых на стадии контроля функций дыхательной и сердечной деятельности; моделирование устройства в среде OptiwaveSystem; экспериментальные исследования сердечных и дыхательных функций.

Спектральные характеристики ВРБ. Для ВРБ центральная длина волны полосы отражения λ_B определяется как

$$\lambda_B = 2n_{eff}\Lambda, \quad (1)$$

где Λ – период ВРБ, определяемый фазовой маской, n_{eff} – эффективный коэффициент преломления ВРБ.

Брэгговская длина волны ВРБ меняет свое значение в зависимости от приложенных к ней температуры и натяжения:

$$\Delta\lambda = \lambda_B(1 - P_e)\epsilon + (\xi_s + \alpha_s)\Delta T, \quad (2)$$

где P_e – коэффициент фотоупругости; ξ_s – термооптический коэффициент ($\sim 7 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$); α_s – коэффициент теплового расширения ($\sim 5 \times 10^{-7} \text{ K}^{-1}$) волокна. При использовании атермальных решеток в [2] получены типовые значения чувствительности ВРБ к деформации растяжения сжатия в $10^{-3} \Delta L/L$, где L – длина ВБР, как правило 3-10 мм.

Моделирование датчика в среде OptiwaveSystem. Для моделирования структурной схемы датчика для контроля сердечной и дыхательной функций человека в среде OptiwaveSystem была использована схема корреляции спектров измерительной и стабильной опорной решетки [3-5]. Обе решетки одинаковы, как по калиброванному значению центральной длины волны, так и по полной ширине на полувысоте и максимальному коэффициенту отражения.

На рис. 1,а показан случай при совпадении центральной длины спектров измерительной и

опорной решетки, на рис. 1,б при их расхождении. Заметен провал, свидетельствующий о сдвиге спектра измерительной ВБР, подвергшейся воздействию сжатия/растяжения.

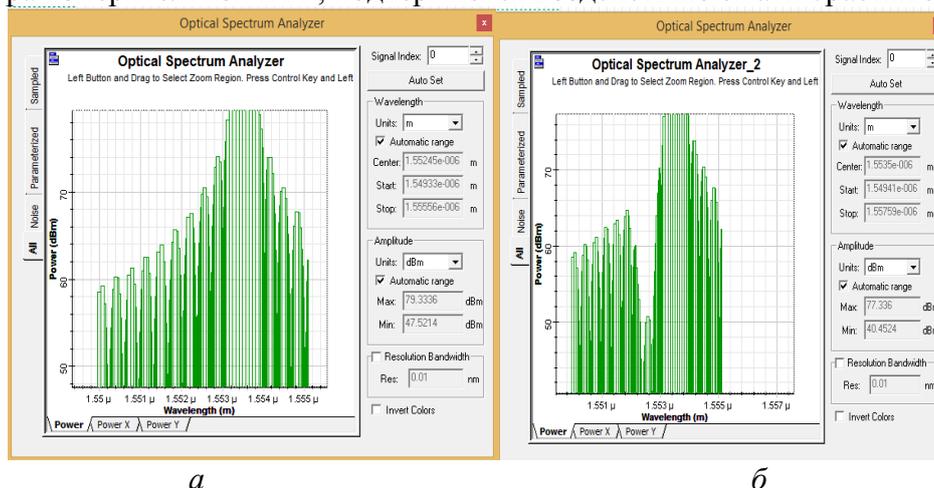


Рис. 1 – Спектр широкополосного излучения на выходе датчика при совпадении (а) и расхождении (б) измерительной и опорной ВБР

Экспериментальные исследования сердечных и дыхательных функций. Сенсорная система может быть компактна и проста в реализации, также может быть и автономным устройством, потенциально открывая возможность долгосрочной перспективы и амбулаторного мониторинга, и применения в условиях ухода на дому. Кроме того, предлагаемый способ может быть реализован как на мужчинах, так и на женщинах, с сопоставимой точностью. При этом калибровка датчика не требует вмешательства пациента. Эти датчики могут применяться врачами при исследованиях МРТ. Регистрация явления гипервентиляции, повышение сердечного ритма имеет многочисленные теоретические и эмпирические ссылки на тревогу, панику, страх и клаустрофобию, часто встречающиеся у некоторых людей при их помещении в камеру МРТ. Предполагается, что можно снизить госпитализацию пациентов с сердечной недостаточностью при использовании предлагаемых датчиков ими и более частой оценкой их состояния в домашних условиях. На рис. 2 показаны прототипы датчиков для мониторинга пульса (а) и контроля дыхания (б). При внедрении конструкция датчиков может быть оптимизирована. На рис. 3 представлена процедура измерения сигналов сердцебиения в области грудной клетки (а) и измерения характеристик дыхания в области верха живота (б).



Рис. 2–Датчик для мониторинга сигналов сердцебиения (а) и дыхания (б)

Выходное устройство датчика для обработки спектральной информации может быть реализовано как на волоконно-оптических, так и беспроводных технологиях, чтобы облегчить мобильность пациента. Дистанционно полученные результаты представлены на рис. 4, а-г. Для получения результатов использовался оптический интеррогатор Ibsen-400.

Данные результаты позволяют качественно подтвердить возможность регистрации периодических действий дыхательной и сердечной деятельности человека. Количественная оценка результатов на данном этапе исследований не проводилась.

Встроенные волоконные брэгговские решетки



Рис. 3 – Измерение сигналов сердцебиения в области грудной клетки (а) и измерение характеристик дыхания в области верха живота (б)

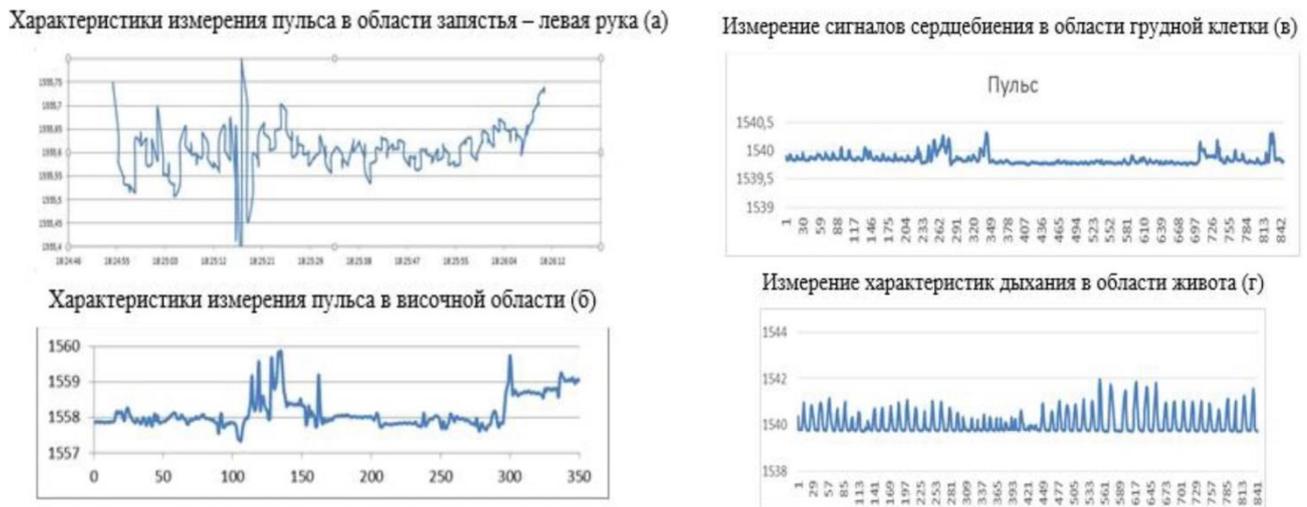


Рис. 4. Характеристики пульса в области запястья (а), виска (б), грудной клетки (в) и дыхания в области живота (г).

Заключение. В работе качественно показана возможность оценки характеристик сердцебиения и дыхательной функции человека на основе волоконно-оптических датчиков, использующих ВБР.

Работа выполнена при финансовой поддержке МОН РФ в рамках госзадания КНИТУ-КАИ (программа «Радиофотоника», 3.1962.2014/К).

Список литературы

1. Dziuda L., Krej M., Skibniewski M.F. Fiber Bragg gratings train sensor incorporated to monitor patient vital signs during MRI // IEEE sensors J. 2013. V. 13. No. 12. P. 4986-4991.
2. Куприянов В.Г. и др. Волоконно-оптические технологии в распределенных системах экологического мониторинга // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2011. Т. 13. № 4-4. С. 1087-1091.
3. Касимова Д.И. и др. Оценка возможностей применения волоконных решеток Брэгга с гауссовым профилем отражения в качестве датчика температуры // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2013. № 2 (18). С. 73-81.
4. Кузнецов А.А. Комплексированный волоконно-оптический датчики зноса и температуры трущихся поверхностей // Научно-технический вестник Поволжья. 2016. №1.С. 45-48.
5. Садыков И.Р. и др. Волоконно-оптический рефрактометрический датчик // Труды МАИ. 2012. № 61. С. 18.

05.13.18

А.В. Казаков к.т.н., М.В. Фроленко

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
 Электротехнический факультет, Кафедра Конструирование и технологии в электротехнике,
 Пермь, ktei@pstu.ru

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО ХЛАДАГЕНТА СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ НА ОСНОВЕ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

В данной работе рассмотрена проблема охлаждения трехфазного асинхронного малогабаритного электродвигателя. В ходе проведения исследования была разработана математическая модель, численная реализация которой позволила определить наибольшую эффективность хладагента использовавшегося в контуре охлаждения малогабаритного электродвигателя. Были исследованы три хладагента: вода, масло, керосин.

Ключевые слова: *хладагент, ANSYS Fluent, жидкостное охлаждение, малогабаритный электродвигатель.*

На данный момент одной из наиболее распространенных проблем при эксплуатации электропривода является отвод тепла, выделяющегося за счет внутренних потерь. Для решения этой проблемы применяют охлаждающие контуры, в которых согласно ГОСТ 20459-87 допустимо использовать такие охлаждающие жидкости, как: вода, масло, керосин [1, 2].

Постановка задачи

Рассмотрим геометрию охлаждающей рубашки малогабаритного электродвигателя (рис. 1)

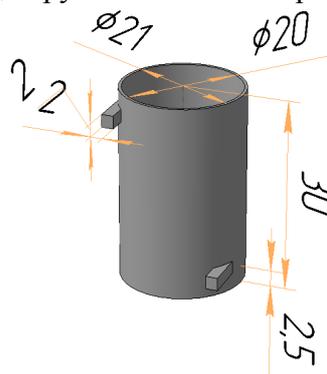


Рис.1. Геометрия охлаждающей рубашки

Рубашка для охлаждения представляет собой сплошной кольцевой зазор, имеющий патрубки подачи и отъема жидкости.

Для упрощения были сделаны следующие допущения:

- процесс стационарный;
- теплофизические свойства охлаждающей жидкости постоянны;
- тепловой поток от двигателя равномерно передавался через цилиндрическую стенку;
- теплоноситель охлаждался во внешнем контуре до температуры окружающей среды;
- температура электродвигателя принималась равной температуре на его поверхности;

С учетом сделанных допущений система дифференциальных уравнение примет следующий вид:

Уравнение неразрывности:

$$\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0$$

Уравнение энергии:

$$c_p \left(v_x \frac{\partial T}{\partial x} + v_y \frac{\partial T}{\partial y} + v_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) = \Delta \lambda T$$

Уравнения движения:

$$\begin{cases} \rho \left(v_x \frac{\partial v_x}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_x}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_x}{\partial z} \right) = -\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} \\ \rho \left(v_x \frac{\partial v_y}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_y}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_y}{\partial z} \right) = -\frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} \\ \rho \left(v_x \frac{\partial v_z}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_z}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) = -\frac{\partial P}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z} \end{cases}$$

Уравнения: движения, неразрывности и энергии дополняются граничными условиями (расход жидкости на входном патрубке, задаваемый через эпюру скорости, температура окружающей среды на входе, нулевые компоненты скорости на неподвижных стенках канала, ненулевой тепловой поток с внешних стенок канала, тепловой поток с поверхности двигателя соответствующий теплопотерям в его обмотках) и физико-реологическими свойствами исследуемых охлаждающих жидкостей [3, 4].

В данной работе были рассмотрены следующие охлаждающие жидкости: вода, масло, керосин. В таблице 1 приведены их некоторые теплофизические и реологические свойства.

Таблица 1, теплофизические свойства

Хладагент	ρ , кг/м ³	λ , Вт/(м ² К)	μ , Па·с	C , кДж/(кг ² К)
Вода	998,23	0,566	1,02	4,182
Масло	892,1	0,109	122,9	2,043
Керосин	802,4	0,119	1,19	2,09

Результаты исследования

В работе проведено исследование влияния различных жидкостей на работу охлаждающего контура трехфазного малогабаритного двигателя, с заданной мощностью теплопотерь двигателя на нагрев 200 Вт. Задача решалась численно, методом конечных элементов. Для расчетов использовалась среда инженерных расчетов ANSYS Fluent. На рисунке 2 показана геометрия охлаждающей рубашки со схемой движения тепла и охлаждающей жидкости в ANSYS.

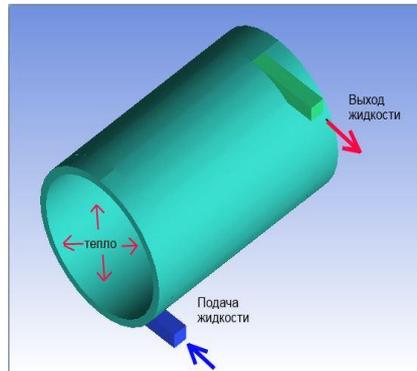


Рис. 2. Геометрия в ANSYS

Для оценки сходимости численного метода было проведено исследование зависимости средней температуры на выходном патрубке от количества счетных итераций (рис. 3)

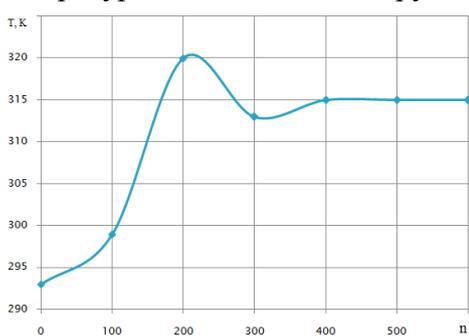


Рис. 3. Сходимость задачи

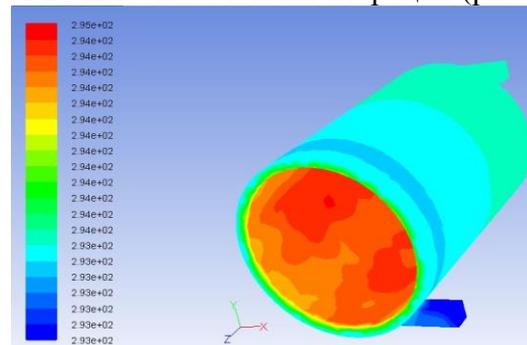


Рис. 4. Температурное поле

По рисунку 3 видно, что для стабилизации решения необходимо и достаточно 400 итераций.

На рисунке 4 показано температурное поле охлаждающей рубашки.

Для определения наиболее подходящего хладагента результаты представлены в таблице 2, зависимость максимальной температуры на внутренней стенке охлаждающей рубашки от расхода жидкости при 0,0002 кг/с, 0,001 кг/с и 0,01 кг/с. С целью определения наиболее эффективного хладагента результаты сведены на рис. 5. На графике показаны зависимости максимальной температуры на внутренней стенке охлаждающей рубашки, от расхода жидкости.

Таблица 2. Результаты

Хладагент	Расход, кг/с		
	0,0002	0,001	0,01
Максимальная температура, К			
Вода	364,11	314,8	302,35
Масло	474,59	348,36	319,98
Керосин	456,16	340,78	314,96

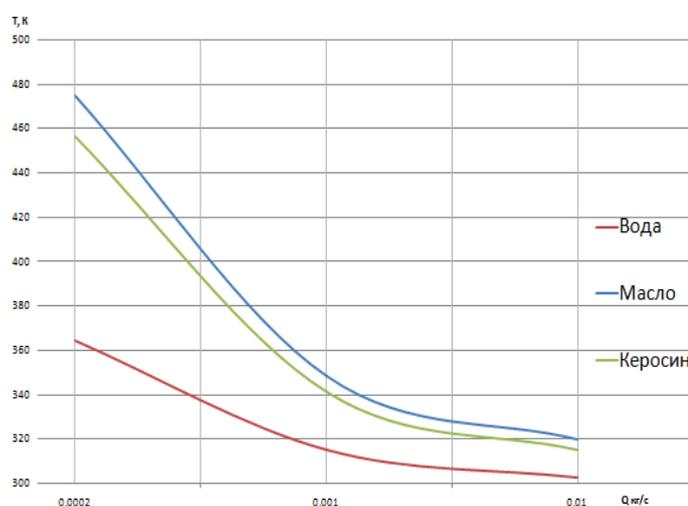


Рис. 5. Эффективность хладагентов

В ходе численных экспериментов была исследована возможность применения различных жидкостей для охлаждения электродвигателя. Установлено, что наилучшей охлаждающей жидкостью для рассмотренных условий и режимов работы явилась вода, так как ее применение обеспечивало наименьшую температуру на электродвигателе при минимальном расходе.

Данные результаты могут быть использованы при проектировании различных установок электрического привода. Так же есть возможность динамического управления параметрами охлаждения от меняющейся нагрузки на основании построенных зависимостей.

Список литературы

1. Новожилов Ю.Н. Система охлаждения электродвигателей // Промышленная энергетика. – 2005. – № 3. – С. 16 – 17.
2. Никитин М.Н. Исследование теплообмена с жидкой фазой в кольцевом канале охлаждающего корпуса смесительного теплогенератора // Тепловые процессы в технике. – 2013. – № 9. – С. 404 – 410
3. Марчук С. Решения для жидкостного охлаждения электрооборудования // Силовая электроника. – 2011. – Т. 3. – № 31. – С. 70 – 71
4. Цветков Ф.Ф., Григорьев Б.А. Тепломассообмен. – М.: Изд-во МЭИ, 2005. – 551 с.

05.13.18

В.О. Каледин, О.А. Штейнбрехер

Новокузнецкий институт (филиал) Кемеровского государственного университета,
факультет информационных технологий,
кафедра математики и математического моделирования,
Россия, Новокузнецк

АЛГОРИТМ ОПТИМИЗАЦИИ МНОГОЭЛЕМЕНТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ОГРАНИЧЕНИЯМИ ПО ПРОЧНОСТИ И ГАБАРИТАМ

Предложен алгоритм решения задач оптимального проектирования конструкций при произвольном числе нелинейных ограничений. Задача сводится к безусловной минимизации вспомогательной функции, которая строится из исходной целевой функции и R-предикатов произвольного числа ограничений. Алгоритм проверен на задаче определения оптимальных геометрических параметров сечения консольной балки.

Ключевые слова: *оптимальное проектирование силовых конструкций, минимум массы, R-предикат, алгоритм минимизации.*

Задачи оптимального проектирования многоэлементных силовых конструкций по критерию минимума массы с ограничениями на прочность каждого элемента, общую, местную и осесимметричную устойчивость содержат большое число ограничений, выражаемых функциями, нелинейно зависящими от варьируемых факторов [1]. Известен способ приведения произвольного числа ограничений к одному, в котором система ограничений-неравенств заменяется одним неравенством, в левой части которого находится R-предикат пересечения множеств, определяемых каждым ограничением в отдельности [2, 3]. Область допустимых параметров, как правило, является невыпуклой. Это затрудняет использование традиционных методов решения задачи нелинейного программирования.

В данной работе предлагается усовершенствованный вариант алгоритма [2], в основе которого лежит алгоритм симплексного поиска, в котором для описания невыпуклых гладких участков границы строится частичный R-предикат допустимой области, учитывающий только ближайшие к текущей точке участки границы (доминанты).

Поставим задачу следующим образом: отыскивается минимум целевой функции – массы конструкции $z(x_1, x_2, \dots, x_n)$. Решением будет точка x с координатами (x_1, x_2, \dots, x_n) в области допустимых решений Ω , которая определяется системой из N ограничений-неравенств:

$$\Omega: \begin{cases} \omega_1(x_1, x_2, \dots, x_n) \geq 0, \\ \omega_2(x_1, x_2, \dots, x_n) \geq 0, \\ \dots \\ \omega_N(x_1, x_2, \dots, x_n) \geq 0. \end{cases} \quad (1)$$

Значения каждой из функций в (1) определяет меру расстояния текущей (пробной) точки от соответствующего участка границы. Поэтому на шаге поиска можно построить частичный предикат, в который входят только несколько наименьших функций из (1) – «доминантных» ограничений:

$$\omega(x_1, x_2, \dots, x_n) = \omega_1(x_1, x_2, \dots, x_n) \wedge_{\alpha} \omega_2(x_1, x_2, \dots, x_n) \wedge_{\alpha} \dots \quad (2)$$

(функции в (1) предполагаются упорядоченными по возрастанию).

Далее, введём вспомогательную целевую функцию:

$$Z(x_1, x_2, \dots, x_n) = z(x_1, x_2, \dots, x_n) - (\nabla \omega \cdot \nabla z) \omega, \quad (3)$$

градиент которой направлен вдоль поверхности уровня предиката ω . Безусловный минимум вспомогательной функции совпадает с условным минимумом целевой функции

$z(x_1, x_2, \dots, x_n)$ на границе области допустимых решений. Поэтому следующая пробная точка может быть выбрана на данном шаге поиска перемещением в сторону убывания вспомогательной функции. Для этого значения функции (3) вычисляются в вершинах пробного симплекса, построенного вокруг исходной точки, и отражения «худшей» вершины относительно центра симплекса.

Реализация этого алгоритма, однако, встретила сложности, обусловленные заикливанием вблизи острых углов области поиска и «кратных» границ, определяемых линейно зависимыми ограничениями. Для решения этой проблемы алгоритм был модифицирован следующим образом. Каждая доминанта заменялась упругой связью, которая действует на перемещаемый симплекс аналогично пружине, нормальной к поверхности $\omega_i(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0$ (рис. 1, а), а направление перемещения симплекса корректируется с учетом суммы реакций этих упругих связей (рис. 1, б). Тогда по мере убывания вспомогательной целевой функции симплекс движется на приблизительно равном расстоянии от доминант, вдоль линии Дирихле области поиска, и приходит в искомую точку по кратчайшему пути.



Рис. 1 – Вычисление измененной целевой функции

Приведенные рассуждения относятся к случаю, когда начальная точка находится внутри допустимой области. В общем же случае при произвольной начальной точке алгоритм включает следующие шаги.

Шаг 1. Задаются проектные параметры x_i конструкции, определяющие n -мерное пространство переменных задачи оптимизации.

Шаг 2. Задается система ограничений-неравенств, определяющих область допустимых решений.

Шаг 3. Задаем точку $X_0 \subseteq R_n$, которая определяет симплекс Δ^0 (многогранник n -мерного пространства) на нулевом шаге.

Шаг 4. В каждом узле симплекса вычисляется сумма его координат, умноженных на коэффициент $R = -\sum \nabla \omega_i \bar{\omega}_i$, где ω_i - нормализованный предикат доминантного ограничения, $\bar{\omega}_i$ - его среднее арифметическое значение. Когда все функции из (1) положительны во всех вершинах симплекса, начальное приближение симплекса считается найденным.

Далее выполняется поиск в области допустимых решений при фиксированном размере симплекса. Когда все доминанты уменьшаются до заданного порогового значения, определяется точка, в которой значение всех доминант обращается в нуль, т.е. находится точка минимума суммы квадратов доминант.

На следующем этапе производится перестроение симплекса с уменьшением размера в два раза, и весь процесс поиска повторяется. Поиск завершается, когда размеры симплекса становятся меньше заданного значения погрешности ε . Окончательно, в качестве решения задачи выбирается центр тяжести полученного симплекса.

Тестирование алгоритма проведено на задаче определения оптимальных геометрических параметров сечения консольной балки прямоугольного сечения, нагруженной поперечной силой (рис. 2, а). Эта задача имеет точное аналитическое решение. В качестве варьируемых параметров выбраны высота и ширина сечения балки на каждом из n участков, а целевая функция – масса балки – будет иметь следующий вид:

$$z(x_1, y_1, \dots, x_n, y_n) = \sum x_i y_i \Delta L, \tag{4}$$

где i – индекс участка балки, x_i - ширина сечения участка балки, y_i - высота сечения участка балки, $\Delta L = \frac{L}{n}$ – длина участка балки, L – длина балки, n - количество участков разбиения.

Учитывались следующие ограничения: неотрицательность размеров сечений $x_i > 0$, $y_i > 0$, ограничение предельной высоты сечения $y_i \leq H$ и ограничения по прочности конструкции $\sigma_i = \frac{6M_{xi}}{J_{xi}} = \frac{6P(\Delta L \cdot i)}{x_i y_i^2} \leq \sigma_{кр}$, где σ_i - напряжение на i -м участке балки, рассчитываемое как отношение изгибающего момента к моменту сопротивления, $\sigma_{кр}$ - заданное предельное значение напряжения, H – максимальное значение высоты, P – величина приложенной силы.

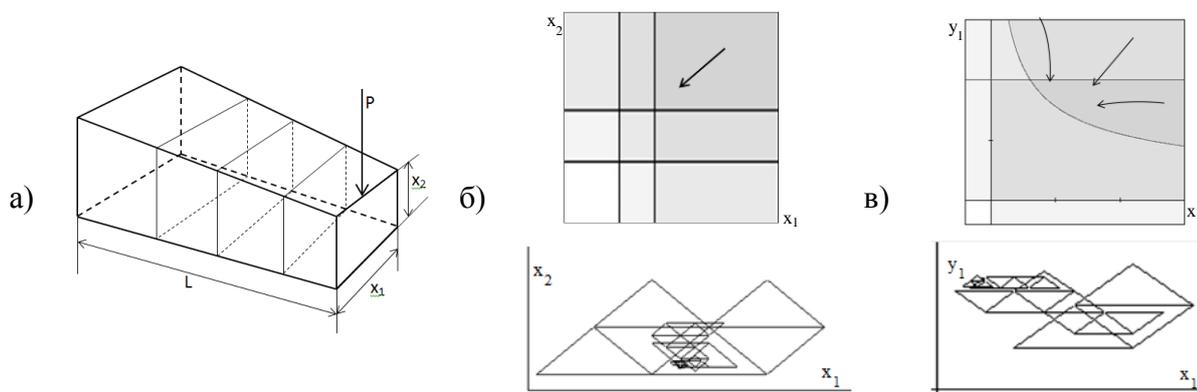


Рис. 2 – Определение оптимальных параметров сечения балки: расчетная модель (а); области ограничения и траектория симплекса при постоянном (б) и переменном (в) значении высоты балки

На рисунке 2,б и 2,в изображены области допустимых решений и траектории движения при симплексном поиске в проекции на одну из координатных координатную плоскостей. Рисунок 2,б соответствует варьированию только ширины сечения, рисунок 2,в – варьированию и ширины, и высоты сечения на каждом участке. В первом случае допустимая область не имеет кратных участков границ и острых углов, во втором случае искомая точка находится в остром углу области. Несмотря на это, в обоих случаях поиск сходится к точному решению, причём процесс поиска устойчив к возмущениям параметров задачи (нагрузке и предельной высоте сечения).

Таким образом, предложенное усовершенствование алгоритма делает его пригодным к решению задач оптимального проектирования с нелинейными ограничениями по прочности.

Список литературы

1. Васильев В. В. и др. Анизотридные композитные сетчатые конструкции — разработка и приложения к космической технике // Композиты и Наноструктуры. 2009. №3. С. 38–50.
2. Каледин В.О. Оптимизация анизотридных сетчатых конструкций из композиционных материалов с ограничениями по прочности, жесткости и устойчивости // Проблемы оптимального проектирования сооружений: докл. 3-й Всерос. конф. – Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. арх.-стр. ун-та, 2014. – С. 190-197.
3. Рвачев В.Л. Теория R-функций и некоторые ее приложения, Киев, Наукова думка, 1982, 552 с.

05.13.19

А.О. Киклевич, Е.А. Хлюпина, Г.П. Жигулин к.т.н.

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, факультет информационной безопасности и компьютерных технологий, кафедра мониторинга и прогнозирования информационных угроз,
Санкт-Петербург, ikvo@grv.ifmo.ru

МЕТОД И МОДЕЛЬ СНИЖЕНИЯ АПРИОРНОЙ ЭНТРОПИИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ УГРОЗ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ОСНОВЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

В настоящей работе представлены результаты исследований по определению общего порядка идентификации угроз информационной безопасности при их реализации в условиях недостатка информации, и построению апостериорной модели угроз, с математически обоснованным расчетом вероятности возникновения угроз информационной безопасности на основе параметрического анализа.

Ключевые слова: *информационная безопасность, модель угроз, ключевые параметры модели угроз, параметрический анализ.*

На современном этапе развития нашего общества информация становится одним из наиболее ценных и востребованных ресурсов, на сохранение и защиту которых выделяется все больше времени и средств. В связи с этим обстоятельством защита информации является одним из важных процессов любой организации. Процесс построения и расчета модели угроз информационной безопасности тесно связан с процессами защиты информации и реализуемыми мерами защиты, ведь полнота и корректность реализации мер и механизмов защиты информации во многом зависит от степени априорной энтропии возникновения угрозы. Однако, получаемые в результате такого моделирования характеристики угрозы не всегда имеют под собой строго формализованное описание, достаточное для идентификации самой угрозы, в случае её возникновения. Такие модели угроз имеют общее описательное назначение, а основные параметры и характеристики сценариев носят априорный характер. Отсутствие формализованного подхода к определению параметров, влияющих на определение и идентификацию угроз информационной безопасности, а также неявный (скрытый) характер их возникновения, существенно увеличивают неопределенность поведения, как системы защиты информации в целом, так и средств защиты информации в частности. В связи с тем, что в основу реализации любой системы защиты информации закладываются не только требования нормативно-правовой документации, но и результаты формирования модели угроз, в которой вероятность реализации угрозы является априорным значением, особо остро встает проблема минимизации априорной энтропии возникновения угроз информационной безопасности, с учетом современных информационных технологий и средств обработки информации, основанных на параметрическом анализе возникающих угроз, способствующих снижению неопределенности при их идентификации.

Одним из перспективных направлений при решении данной проблемы является использование математических обоснованных методик снижения энтропии при возникновении угроз, способных существенно сократить временные затраты на определение и идентификацию угроз информационной безопасности при их непосредственной реализации в организации. В условиях постоянно меняющихся требований по защите информации, изменения методологических подходов и мнений экспертов по информационной безопасности, а также изменения факторов, воздействующих на информацию, целесообразным является применение единой подсистемы определения и идентификации угроз информационной безопасности, основанной на динамическом анализе получаемых параметров от процессов и механизмов защиты информации. Однако, в процессе реализации такой подсистемы возникает ряд существенных затруднений, вызванных отсутствием научно обоснованного методического аппарата, учитывающего не

только общие и статические сведения об угрозах информационной безопасности, включая мнение экспертов организации, но и изменчивость факторов возникновения и реализации угроз информационной безопасности, вызывающих неопределенность при их идентификации.

Таким образом, актуальность данного исследования обуславливается отсутствием научно обоснованного методического аппарата, учитывающего не только общие и статические сведения об угрозах информационной безопасности, включая мнение экспертов организации, но и изменчивость факторов возникновения и реализации угроз информационной безопасности, вызывающих неопределенность при их идентификации, и способных существенно снизить априорную энтропию их возникновения при построении апостериорной модели угроз.

Зачастую построение апостериорной модели является затруднительным, ведь на этапе построения самой модели угроз возникает неопределенности поведения угрозы в условиях существующих мер и механизмов защиты [1].

В результате исследования был разработан метод снижения априорной энтропии возникновения угроз информационной безопасности, который может быть сведен к реализации следующих шагов:

- 1) Построение априорной модели угроз ИБ[1].
- 2) Разработка и реализация компенсирующих и предупреждающих воздействия, исходя из априорной актуальности угроз ИБ.
- 3) Формирование параметрического набора зависимостей определяющих угрозу [3].
- 4) Формирование сводной таблицы зависимостей, учитываемых при построении модели угроз для конечных объектов защиты организации:
 - a. «Тип актива» – «Угроза»;
 - b. «Угроза» – «Условие возникновения угрозы»;
 - c. «Угроза» – «Меры перекрытия угрозы»;
 - d. «Меры перекрытия угрозы» – «Средства перекрытия».
- 5) Заполнение полученных сводных таблиц зависимости для каждой угрозы, входящей в состав априорной модели [2].
- 6) Расчет итогового значения вероятности реализации угрозы, с учетом имеющихся параметров угрозы и сводных таблиц, с использованием формулы (1).
- 7) Формирование итоговой апостериорной модели угроз ИБ.

Рассмотрим возникающую угрозу, как совокупность параметров, определяющих её поведение при возникновении в системе защиты информации. На основе анализа данных параметров в условиях конечной системы защиты информации, количество информации, необходимой для её идентификации получается при использовании основных положений [2]. Поскольку условие возникновения угрозы напрямую зависит от сочетания типа актива и присущих ему угроз, значение параметра «Условие возникновения угрозы» будет варьироваться в значениях (α):

- 1 – условие возникновения угрозы существует;
- 0 – условие возникновения угрозы не существует.

Количество и состав условий определяется для каждой угрозы отдельно, с учетом совокупного специалистов по защите информации в организации.

Основываясь на знаниях об условиях возникновении угроз и типах активов, подверженных угрозе, происходит формализация мер перекрытия угрозы, для каждой из которых вводятся соответствующие средства перекрытия. В случае необходимости перекрытия угрозы совокупностью мер, для каждой из мер вводится процентная градация степени перекрытия угрозы (X).

Для каждого средства перекрытия конкретной меры определяется максимальное значение, устанавливающее полноту перекрытия меры данным средством. Основываясь на результатах опроса экспертов в области информационной безопасности, устанавливаются следующие значения полноты перекрытия меры средством перекрытия (R):

0 – средство перекрытия угрозы отсутствует;

3 – средство перекрытия не обладает подтверждением реализации требуемых функций, корректности их настройки;

5 – средство перекрытия обладает подтверждением требуемых функций, но отсутствуют сведения о корректности;

7 – средство перекрытия обладает подтверждением требуемых функций и есть подтверждения корректности настройки.

Таким образом, расчет возможности реализации (V) угрозы будет определяться по следующей формуле:

$$\left\{ \begin{array}{l} V = \alpha * \frac{\left((R_{1max} - R_{1par}) * \frac{X_1}{100} \right) + \left((R_{2max} - R_{2par}) * \frac{X_2}{100} \right) + \dots + \left((R_{nmax} - R_{npar}) * \frac{X_n}{100} \right)}{R_{max}} \\ X_1 + X_2 + \dots + X_n = 100 \# \\ \alpha \in [0,1] \end{array} \right. \quad (1)$$

R_{npar} – текущее значение полноты перекрытия меры средства R , для меры n .

X_n – коэффициент степени перекрытия угрозы X , для меры n .

α – наличие условия возникновения угрозы.

Использование данной логики позволяет существенно увеличить эффективность действующих в организации мер и механизмов защиты информации, за счет снижения итоговой энтропии возникновения угроз, а в совокупности с предлагаемым подходом [1,2] позволит уже на этапе проектирования СЗИ определять наиболее оптимальный состав средств защиты, с учетом имеющихся ресурсов. Использование разработанной модели позволит рассчитать поведение СЗИ при её развитии.

На рисунке 1, представлена упрощенная модель снижения априорной энтропии возникновения угрозы при формировании апостериорной модели угроз ИБ, с учетом результатов параметрического анализа.

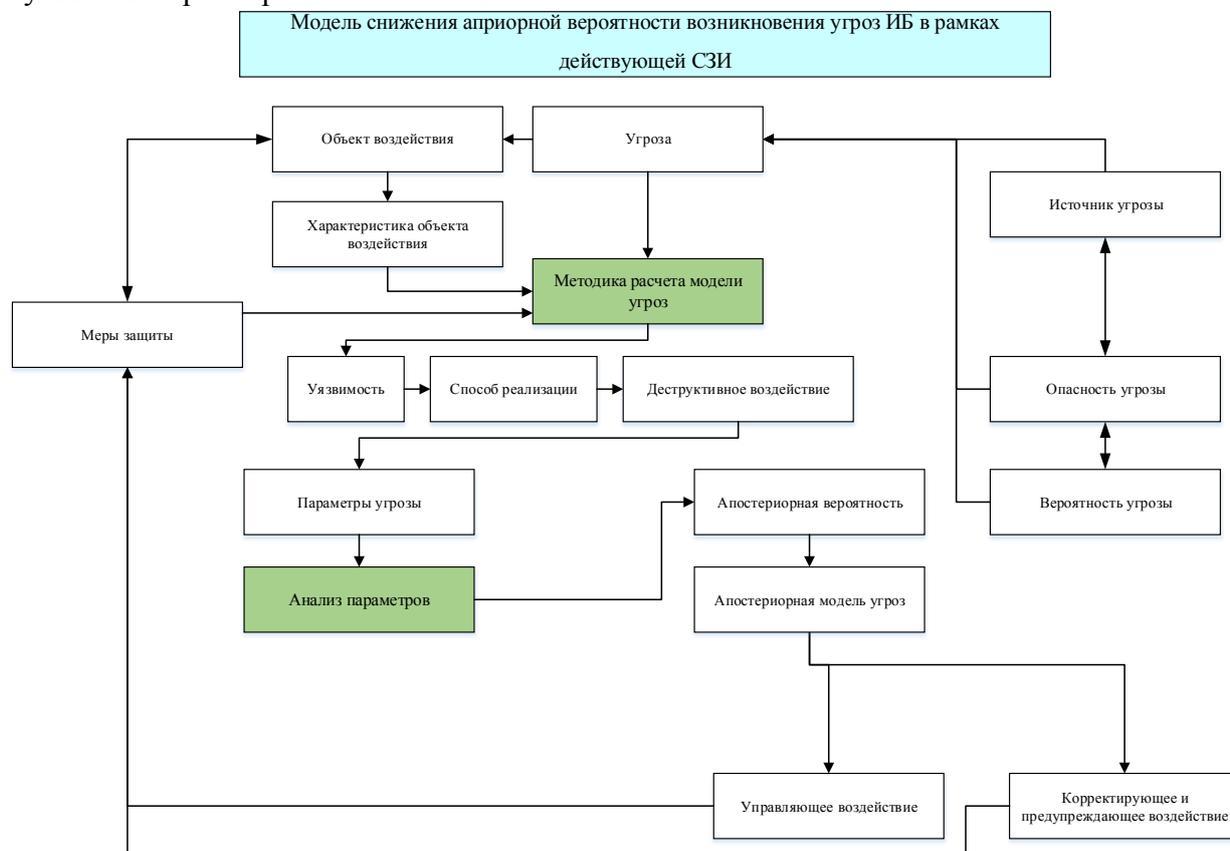


Рис 1 - упрощенная модель снижения априорной энтропии возникновения угрозы при формировании апостериорной модели угроз ИБ.

Список литературы

1. *А.С. Исаев* «Автоматизация процесса формирования модели угроз безопасности персональных данных, при их обработке в информационных системах персональных данных, на основе теории построения экспертных систем»: Научно-технический вестник Поволжья № 2, 2014, с – 130-133.
2. *А.С., Исаев, Е.А.Хлюпина* «Принятие управленческих решений в условиях неопределенности возникновения угроз информационной безопасности»: Научно-технический вестник Поволжья №3, 2015, с – 145-147.
3. *А.О. Киклевич, Е.А. Хлюпина, Г.П. Жигулин* «Определение ключевых параметров при построении апостериорной модели угроз безопасности информации»: Научно-технический вестник Поволжья №2, 2015, с – 134-137.

05.13.06

Т.А. Кузнецова к.т.н., П.В. Репп

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Электротехнический факультет, кафедра Конструирование и технологии в электротехнике,
Пермь, ktei@pstu.ru

РАЗРАБОТКА РОБАСТНОЙ БОРТОВОЙ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ УПРАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ

На основе многокритериального анализа производится выбор оптимальной аппаратной платформы для робастной бортовой информационно-измерительной управляющей системы (ИИУС). Совместно рассматриваются функциональные и нефункциональные требования. Получена оптимальная структура робастной ИИУС.

Ключевые слова: бортовая информационно-измерительная управляющая система, робастность, функциональные и нефункциональные требования, аппаратная платформа, многокритериальная оптимизация.

Одной из наиболее важных проблем современного приборостроения является повышение надежности встроенных систем управления объектами транспортной инфраструктуры. Совершенствование методов ее решения строится на основе разработки робастных бортовых информационно-измерительных управляющих систем (ИИУС), работающих в реальном времени и учитывающих сложность объекта управления, функционирующего в условиях внешних и внутренних помех [1].

Особенностью бортовых ИИУС является: высокая алгоритмическая сложность, большой объем вычислений, быстросействующий информационный обмен в реальном времени, диверсифицированные требования (функциональность, надёжность), неоднородность каналов передачи (точка-точка, шина, коммутатор, беспроводные каналы), составляющих (датчики, индикаторы, вычислители, органы управления, исполнительные механизмы), данных (аналоговые, цифровые, числовые массивы, аудио- и видеопотоки). В этой связи робастность бортовых ИИУС во многом определяется оптимальным выбором аппаратной платформы и корректностью разработанного программного обеспечения.

В данном исследовании осуществлено проектирование системы мониторинга стиля управления дизель-поездом ДР1Б. РВЗ класса 507, позволяющей своевременно обнаруживать возникновение и развитие неисправностей с отображением информации на дисплее в кабине машиниста.

Бортовая система мониторинга предназначена для записи силы сцепления, расхода энергии и вводов сигналов управления машинистом, для чего получает полную информацию о состоянии подшипниковых узлов, пневматической тормозной системы и электрических цепей электропоезда в процессе движения, следит за уровнем и развитием дефектов. Измеряется вибрация, температура, давление, тяговый ток и ток вспомогательных цепей, скорость движения по маршруту, текущие географические координаты поезда, а также положения органов управления. Информация с датчиков в реальном времени поступает в бортовую диагностическую станцию. Система формирует, архивирует акты технического состояния для каждого вагона и электропоезда в целом, отображает их на дисплее диагностического контроллера, расположенного в кабине машиниста, а также передает их в диагностическую сеть Компакс-Экспресс-3 [3] персоналу, ответственному за диагностику, руководству депо и заинтересованным службам.

Выбор диагностической сети обусловлен ее преимуществами: оценка технического состояния объекта управления на основе анализа эффективного множества диагностических параметров в условиях переменного скоростного и нагрузочного режима движения электропоезда; робастность аппаратно-программных средств в сложных условиях эксплуатации (диапазон температур [-40°C; +60°C], относительной влажности до 100%); использование беспроводных технологий, позволяющих без вмешательства в конструкцию

электропоезда оперативно передавать информацию о местоположении поезда и техническом состоянии его узлов и агрегатов на сервер депо ответственному за диагностику электропоездов персоналу.

В соответствии с заданным списком функциональных и нефункциональных требований произведен расчет количества памяти для хранения лога и сравнительный анализ трех аппаратных реализаций системы мониторинга. Функциональные требования определяют измеряемые параметры: электрическая мощность; характеристики стиля вождения, определяемые положением ручки управление тягой, тормозами; импульсный сигнал изменение положения, получаемый с помощью видеокамеры; сигналы выравнивания и синхронизации, получаемые с помощью оптического энкодера, установленного на оси колеса. Кроме того функциональные ограничения задаются на основе требуемых временных характеристик и объема памяти. Нефункциональные требования предъявляются к энергопотреблению, робастности, достоверности, безопасности, стоимости, времени выхода на рынок, масштабируемости, модифицируемости, конфигурируемости, контролепригодности, площади монтажа, обслуживаемости и др.[2].

Первая реализация строится на основе микроконтроллера низкой стоимости PIC18FXX8 (28/40-Pin High-Performance, Enhanced Flash Microcontrollers with CAN). Основным недостатком является большее время выхода на рынок, обусловленное трудоемкостью разработки полного комплекта конструкторской документации. Также следует отметить необходимость выбора контрактного производства для изготовления, сборки и тестирования печатных плат.

Вторая реализация строится на основе семейства OEM-модулей Cgumb128 фирмы Chip45. Достоинством является малое время разработки и изготовления (снижается сложность конструкторской документации, уменьшается стоимость разработки аппаратной части), существует собственное производство для изготовления и сборки печатных плат.

Третья реализация строится на основе программируемого кристалла (SoPC) Fusion фирмы Actel [4]. Достоинством является малое время разработки и изготовления, большая надежность, отсутствие необходимости счетчиков электроэнергии (MCP3909). Основной недостаток - высокая стоимость электронных компонентов.

Выбор платформы произведен на основе сравнения функциональных и нефункциональных характеристик разработанных альтернативных систем, сведенных в таблицу 1. Используемые обозначения: «+» - соответствуют, « - » - не удовлетворяют заданным требованиям.

Таблица 1 - Характеристики альтернативных аппаратных реализаций

Требования	1	2	3
Производительность	+	+	+
Уровень функциональности	++	++	++
Робастость	+	++	+++
Достоверность	+/-	++	++
Модифицируемость	-	+	++
Масштабируемость	-	+/-	+
Контролепригодность	+/-	+	+
Время выхода на рынок	-	++	++
Стоимость	+	+	+/-
Площадь монтажа	-	+	+++

Анализ данных показал, что, если у критерия робастности приоритет выше, чем у критерия стоимости, оптимальным вариантом решения многокритериальной задачи является третья аппаратная реализация проекта.

Следует отметить, что для эффективного функционирования однокристалльной системы мониторинга недостаточно проведения оптимизации архитектуры системы, проектируемой на ее основе. Высокая коррелируемость программного и аппаратного обеспечения встроенных систем требует интегральной разработки обоих компонентов, включающей такие этапы как управление конфигурацией, верификация, обеспечение качества,

сертификационное взаимодействие. В этой связи необходимо параллельное проектирование программного обеспечения, в частности для получения оптимального размещения блоков и межблочных связей [5].

Структурные схемы блоков разработанной бортовой САУ, построенной на программируемом кристалле (SoPC) Fusion, приведены на рис. 1-2.

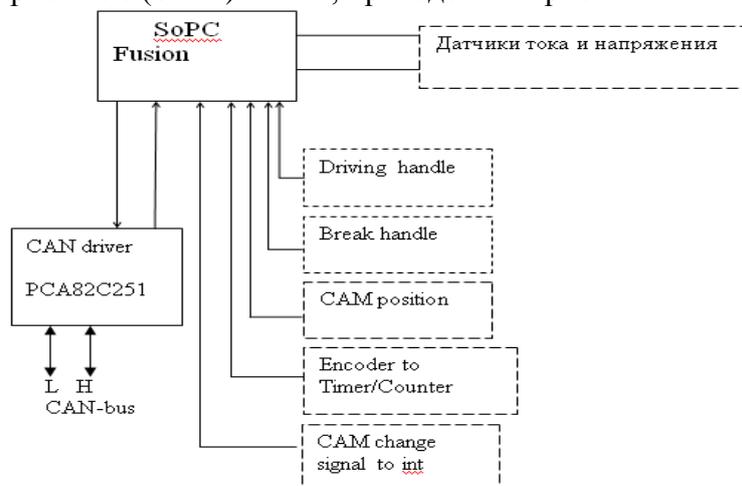


Рис. 1 - Структурная схема блока 1 для третьей реализации (на SoPC)

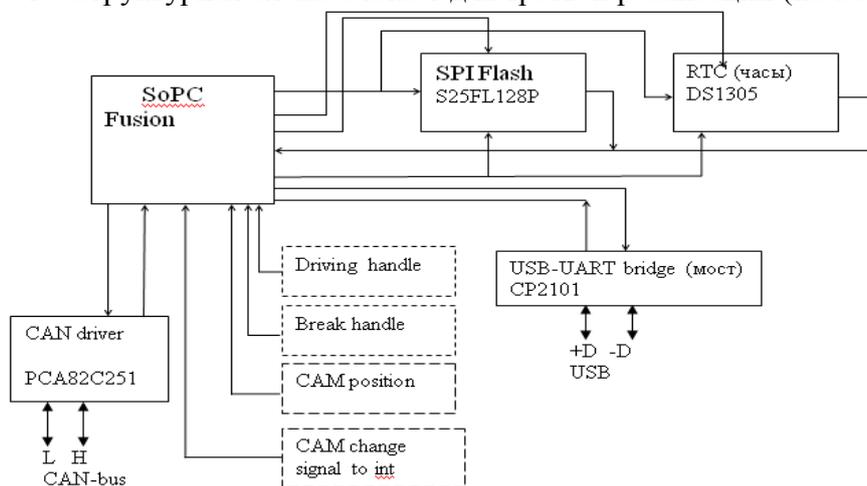


Рис. 2 - Структурная схема блока 1 для третьей реализации (на SoPC)

Таким образом, при проектировании ИИУС реального времени рассмотрение функциональных требований, определяющих уровень функциональности (число выполняемых функций, структура и объем данных) и уровень производительности (быстродействие), совместно с нефункциональными требованиями позволяет получить оптимальный вариант аппаратной и программной реализации с позиций робастности системы и безопасности транспортной сети.

Список литературы

1. Аунг Со Лвин. Бортовая информационно-вычислительная система управления подвижным объектом// Естественные и технические науки, 2013г. - № 1(63). - С. 303-305.
2. Salewski F., Kowalewski S. Hardware Platform Design Decisions in Embedded Systems – A Systematic Teaching Approach// ACM SIGBED Review - Special issues on the second workshop on embedded system education (WESE), 2007, Vol. 4 Issue 1, pp. 27-35.
3. НПЦ «Динамика»: Бортовая система мониторинга технического состояния оборудования электропоезда КОМПАКС-ЭКСПРЕСС-3. URL: <http://www.dynamics.ru/products/compacs-express-3/#ixzz48T7eIcpw>
4. Петрусевиц К., Урбаньски Л. ПЛУ, ПАК и ППК//Электронные компоненты, 2011 - № 5. – С. 45-47.
5. Meng L., i Wang Z. Implementation of multispectral image fusion system based on SoPC// Proceedings of SPIE, 2013, Vol. 8917, 8 p.

05.13.00

Д.Г. Лазаренко

Обнинский институт атомной энергетики – филиал ФГАОУ ВО
Национальный исследовательский ядерный университет "МИФИ"
г. Обнинск, dglazarenko@mephi.ru

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ОТРАБОТКЕ КОНСТРУКЦИИ ТЕРМОЭМИССИОННОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Представлены результаты математического моделирования теплоэлектрофизических процессов в лабораторном термоэмиссионном преобразователе. Актуальность проводимого исследования обусловлена тем, что термоэмиссионный преобразователь представляет собой вакуумный высокотемпературный прибор, в котором измерение таких параметров как температура конструктивных элементов затруднительно. Задачей исследования является определение оптимальных параметров проведения эксперимента, а также предельно допустимых параметров, при которых работоспособность прибора будет сохранена.

Ключевые слова: *термоэмиссия, математическое моделирование, коллектор, эмиттер.*

Условия работы лабораторного термоэмиссионного преобразователя (ТЭП) определяются, в основном, температурой эмиттера, коллектора и давлением паров цезия в межэлектродном зазоре. Для эффективной генерации электрического тока с учетом эмиссионно-адсорбционных характеристик используемых электродных материалов необходимо поддержание температуры коллектора в диапазоне 700-1000 К, температуры эмиттера – 1600-2000 К. Большой перепад температуры между эмиттером и коллектором приводит к значительным тепловым потокам через узлы электрической коммутации эмиттера и коллектора. Кроме того, имеет место перетечка тепла по другим элементам таким как дистанционаторы, изоляторы, токовыводы, газовые зазоры. Эти особенности конструкции приводят к продольной пространственной неравномерности распределений температуры эмиттера и коллектора, которая приводит к неравномерности распределения генерируемого электрического тока и, как следствие, к снижению эффективности ТЭП. Продольные неравномерности температуры и генерируемого тока не являются настолько малыми, чтобы ими можно было пренебречь без значительного снижения точности расчета характеристик ТЭП. Отмеченные выше особенности приводят к необходимости использования двух-, трехмерных пространственных математических моделей для адекватного моделирования тепловых и электрических процессов в их взаимосвязи и с учетом структуры ТЭП.

В настоящее время существует большое количество программных комплексов [1, 2, 3], предназначенных для проведения теплофизических и термомеханических расчетов, однако, ни один из них не может быть напрямую использован для расчета теплоэлектрофизических характеристик ТЭП из-за отсутствия блока, моделирующего процессы в межэлектродном зазоре и на электродах. В связи с необходимостью проведения расчетов ТЭП на современном уровне была осуществлена разработка кода DINCOR-ЭГК [4], предназначенного для совместного численного расчета пространственных распределений температуры, электрического потенциала и плотности генерируемого тока. Используемые в коде математические модели протекания физических процессов были разработаны с учетом указанных выше особенностей работы термоэмиссионных преобразователей. Другим направлением развития расчетных инструментов стала модификация существующего программного кода COMSOL [5]. Однако для проведения численного моделирования теплоэлектрофизических процессов в этом случае используются встроенные в исходный программный комплекс математические модели, что существенно сужает область применения. Вспомогательные программные модули кода DINCOR-ЭГК, разработанные в настоящей работе для обработки основных результатов расчетов, позволяют рассчитать

распределение тепловых потоков по полученному распределению температуры, в том числе тепловой поток через межэлектродный зазор. По найденным распределениям рассчитываются электрическая мощность и КПД лабораторного ТЭП.

Принципиальная схема лабораторного ТЭП [6] и соответствующая ему расчетная схема представлены на рисунке 1.

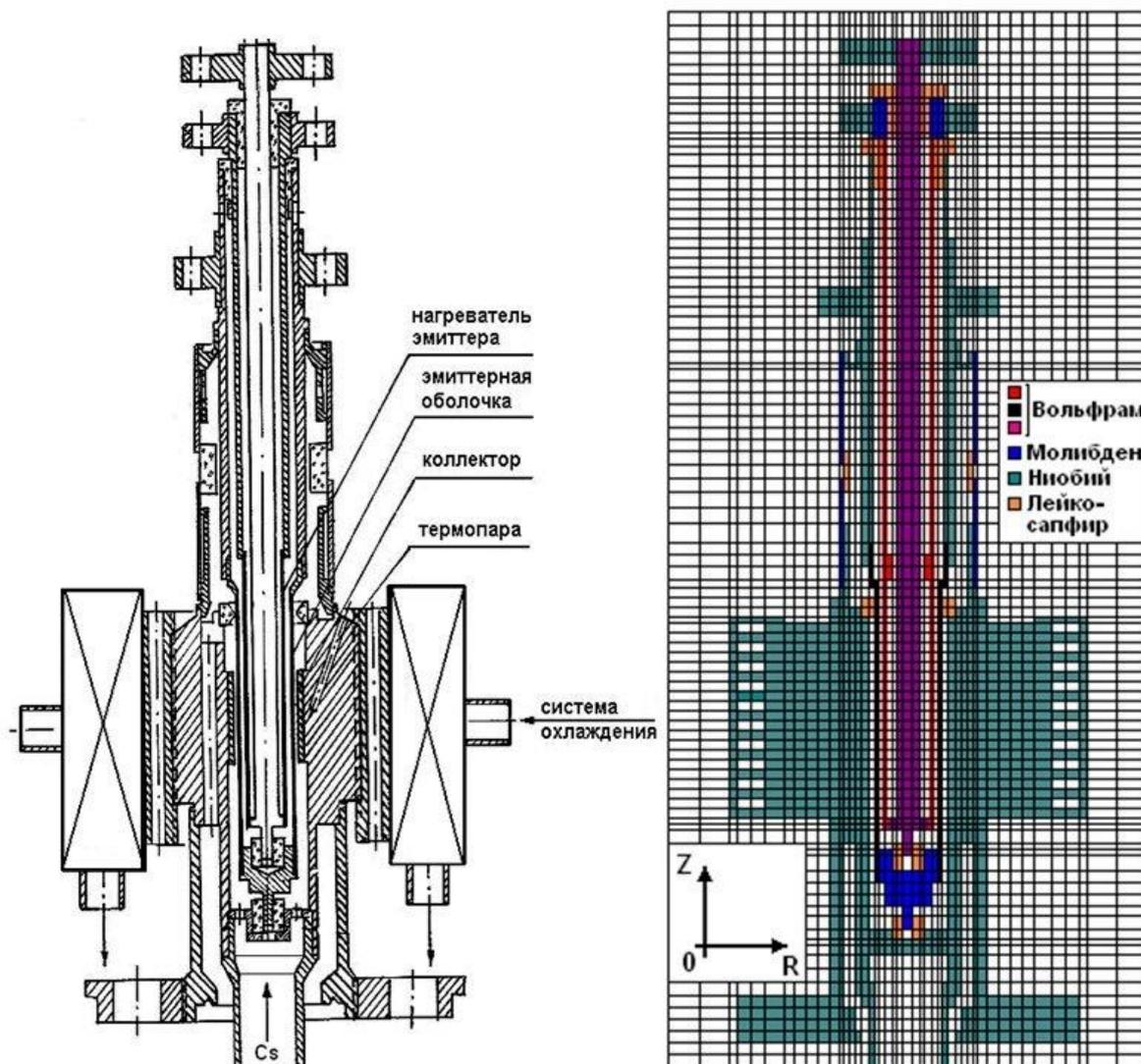


Рис. 1 – Распределение температуры по конструкционным элементам лабораторного ТЭП:

1-нагреватель; 2-эмиттер; 3- коллектор; 4-теплообменник системы охлаждения

Были выполнены серии расчетов теплоэлектрофизических характеристик стационарного режима работы ТЭП с генерацией тока при мощности нагревателя в диапазоне 100 – 900 Вт. Длина эмиттера составляла 32 мм, площадь эмиссионной поверхности – 15 см², давление паров цезия принималось равным 2 мм рт. ст.

На рисунке 2 представлено расчетное распределение температур по конструкционным элементам лабораторного ТЭП.

Результаты расчетов подтвердили существенное влияние на выходные характеристики лабораторного ТЭП пространственных эффектов, которые не могут быть учтены с достаточной точностью в рамках одномерных моделей. По рассчитанным тепловым потокам получено, что только ~30% тепловой мощности нагревателя подводится к рабочей поверхности эмиттера и далее через МЭЗ – на коллектор, а остальные ~70% поступают в холодильник и рассеиваются в окружающем пространстве за счет теплопередачи по материалам и средам (конструкционные элементы лабораторного ТЭП и электрофизического стенда, коммутация и т.п.).

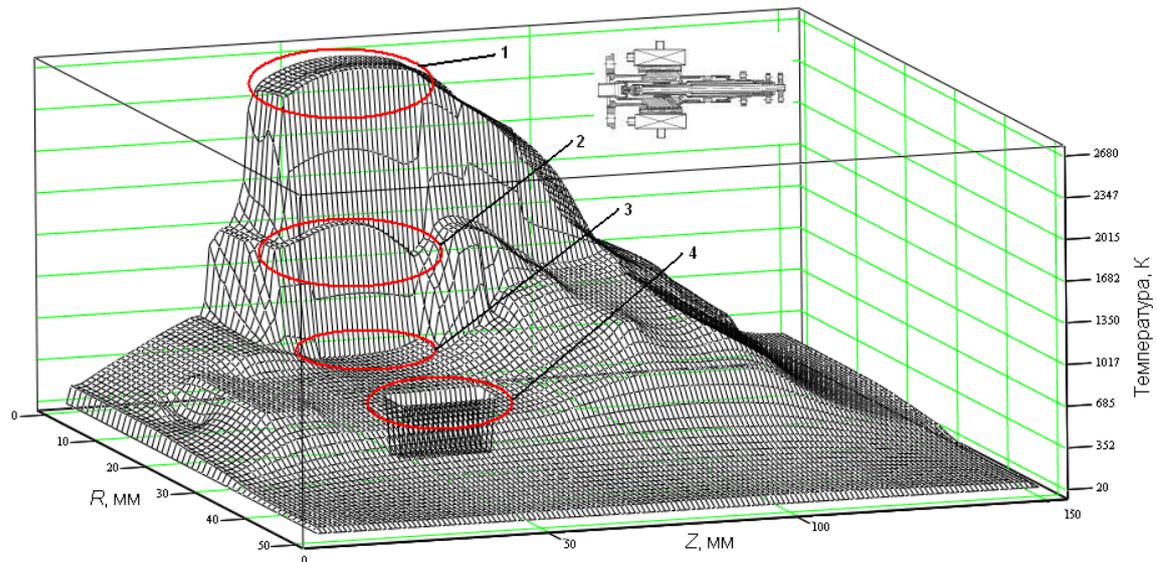


Рис. 2 – Распределение температуры по конструкционным элементам лабораторного ТЭП: 1- нагреватель; 2-эмиттер; 3- коллектор; 4-теплообменник системы охлаждения

На основании полученных расчетных данных сформированы исходные данные для проведения эксперимента на лабораторном ТЭП: определена допустимая мощность нагревателя, при которой может быть обеспечена его продолжительная работа, определены места расположения термодпар для возможности оперативного контроля температуры в приборе. Кроме того сформулированы предложения по внесению изменений в конструкцию прибора.

После проведения верификации по экспериментальным данным и разработки современного пользовательского интерфейса, программный код может быть рекомендован к широкому использованию для моделирования процессов в термоэмиссионных преобразователях.

Список литературы

1. Басов К.А. ANSYS: справочник пользователя. – М.: ДМК Пресс, 2005.–640 с.
2. Югов В.П. Решение задач теплообмена ANSYS 5.7 Thermal Analysis Guide. – М.: CADFEM, 2001. – 108 с.
3. STAR-CCM+, version 7.02. UserGuide (руководство пользователя), CD-adapco Group, 2012.
4. Кумаев В.Я., Лазаренко Д.Г. Численное моделирование тепловых и электрических процессов в термоэмиссионных электрогенерирующих устройствах // Препринт ФЭИ – 3170. – 2009. – 20 с.
5. Полоус М.А., Ярыгин В.И., Виноградов Е.Г. Программный комплекс для трехмерного численного расчета тепловых и электрических характеристик многоэлементного электрогенерирующего канала термоэмиссионной ЯЭУ // Известия высших учебных заведений. Ядерная энергетика. –2012. –№2. –С. 151-160.
6. Ярыгин В.И. Физические основы термоэмиссионного преобразования энергии. Часть 2 // Учебное пособие. – Обнинск: ИАТЭ. – 2006. – 64 с.

05.13.19

А.А. Медведев, Е.Н. Созинова к.т.н.

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, факультет информационной безопасности и компьютерных технологий, кафедра мониторинга и прогнозирования информационных угроз,
Санкт-Петербург, a.medvedev.spb@mail.ru, s.ekaterina-nik@mail.ru

ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЙ ЭТАП ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ВНУТРЕННЕГО АУДИТА ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОРГАНИЗАЦИЙ НА ОСНОВЕ РИСК-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПОДХОДА

В статье описываются подэтапы подготовительного этапа при проведении внутреннего аудита информационной безопасности организаций на основе риск-ориентированного подхода.

Ключевые слова: *информационная безопасность, аудит ИБ, планирование аудита, риск-ориентированный подход.*

Проведение внутреннего аудита информационной безопасности организаций на основе риск-ориентированного подхода, как правило, состоит из четырех этапов: подготовительный этап, исследовательский этап, заключительный этап, оценочный этап.

Подготовительный этап – это самый первый этап проведения аудита информационной безопасности. Как правило, на данном этапе должна производиться тесная работа руководства и службы информационной безопасности. В свою очередь, этот этап подразделяется на подэтапы:

1. Инициирование проведения аудита информационной безопасности;
2. Разработка регламента аудита информационной безопасности;
3. Формирование группы для проведения аудита;
4. Планирование аудита информационной безопасности;
5. Определение цели и задач аудита ИБ;
6. Определение и согласование методов проведения аудита ИБ;
7. Общее исследование организации.

Инициирование проведения аудита информационной безопасности. Аудит должен быть инициирован руководством организации с достаточно четко сформулированной целью и задачами, на определенном этапе обеспечения информационной безопасности организации. На этапе инициирования процедуры аудита должны быть решены следующие организационные вопросы: права и обязанности аудитора должны быть четко определены и документально закреплены в его должностных инструкциях, а также, в положении о внутреннем аудите; в положении о внутреннем аудите должно быть закреплено, в частности, что сотрудники компании обязаны оказывать содействие аудитору и предоставлять всю необходимую для проведения аудита информацию.

Разработка регламента аудита информационной безопасности. На данном этапе, совместно с заказчиком разрабатывается регламент аудита, устанавливающий состав и порядок проведения работ. Основная задача регламента заключается в определении границ, в рамках которых будет проведено обследование. Регламент является тем документом, который позволяет избежать взаимных претензий по завершению аудита, поскольку, четко определяет обязанности сторон. В случае, если аудит не является комплексным, на начальном этапе необходимо определить его непосредственные границы: перечень обследуемых информационных ресурсов и информационных систем (подсистем); перечень зданий, помещений и территорий, в пределах которых будет проводиться аудит; основные угрозы, средства защиты от которых необходимо подвергнуть аудиту; элементы системы обеспечения информационной безопасности, которые необходимо включить в процесс проверки (организационное, правовое, программно-техническое, аппаратное обеспечение).

Как правило, регламент содержит следующую основную информацию: состав рабочих групп, участвующих в процессе проведения аудита; перечень информации, которая будет предоставлена для проведения аудита; список и местоположение объектов, подлежащих аудиту; перечень ресурсов, которые рассматриваются в качестве объектов защиты; категории пользователей, которые рассматриваются в качестве потенциальных нарушителей; порядок и время проведения инструментального обследования автоматизированной системы организации.

Формирование группы для проведения аудита. На данном подэтапе назначается лицо, ответственное за проведение аудита и формируется группа, которая будет проводить аудит. Распределяются обязанности членов аудиторской группы. Пишутся должностные инструкции.

Планирование аудита информационной безопасности. В фазе планирования разрабатывается план (программа) аудита ИБ. План аудита ИБ должен включать следующее: цель аудита; критерии аудита; область аудита, включая идентификацию организационных и функциональных единиц и процессов, подлежащих проверке; объем аудита; дату и место, где должны осуществляться действия по аудиту на месте; ожидаемое время и продолжительность действий по аудиту на месте, включая совещания с руководством проверяемой организации и совещания аудиторской группы.

Цель и задачи аудита информационной безопасности. Необходимо четко определить цель проведения аудита ИБ. Только после определения цели аудита, можно будет определять тип, вид и метод проведения аудита, а так же сроки его проведения.

После определения цели аудита, типа, вида и метода – можно легко сформулировать задачи аудита, с помощью решения которых можно достичь поставленной цели.

Определение и согласование методов проведения аудита ИБ. На данном подэтапе необходимо использовать комплекс методов. Точное перечисление методов определяется в каждом случае – индивидуально. Основным методом будет расчетно-аналитический метод, ориентированный на риски организации – так называемый риск-ориентированный подход.

Планирование аудита информационной безопасности. Далее определяются сроки проведения аудита и составляется план-календарь аудита ИБ, в котором каждому пункту из плана аудита присваивается срок выполнения, ответственное лицо и группа лиц, которые будут выполнять каждое конкретное задание.

Общее исследование организации. Рабочая документация, которая предоставляется аудиторской группе, включает следующие основные документы: информацию, касающуюся организационно-правовой формы и организационной структуры проверяемой организации; выдержки или копии необходимых юридических документов, соглашений и протоколов; план проведения аудита ИБ; объяснения, пояснения и заявления проверяемой организации; копии переписки с другими аудиторскими организациями, экспертами и прочими лицами в связи с проводимым аудитом ИБ; описания системы внутреннего контроля и(или) мониторинга ИБ; аналитические документы организации.

Несмотря на то, что аудит является внутренним и специалисты, которые будут проводить его, являются сотрудниками исследуемой организации, данные пункты необходимо рассмотреть, проработать, записать и согласовать с руководителем организации и всей группой, которая проводит аудит.

Общее исследование обеспечения информационной безопасности в организации включает в себя:

- проведение предварительного обследования обеспечения информационной безопасности в организации;
- проведение предварительного обследования состояния и организации защиты информации, средств обработки информации, связи, сигнализации, имеющихся средств защиты информации;
- сбор информации по каждому из направлений обеспечения информационной безопасности в организации.

Планирование аудита информационной безопасности. Далее определяются сроки проведения аудита и составляется план-календарь аудита ИБ, в котором каждому пункту из плана аудита присваивается срок выполнения, ответственное лицо и группа лиц, которые будут выполнять каждое конкретное задание.

Основной задачей подготовительного этапа является сбор, систематизация и обработка информации, создание протоколов, баз данных, таблиц, матриц и диаграмм.

Итогом данного этапа является разработанная программа аудита ИБ, в которой четко и подробно обозначены все вышеперечисленные подэтапы, включая такие приложения, как: регламент, план-календарь, должностные инструкции. Таким образом, на подготовительном этапе аудита ИБ организации подготавливают «основу» для дальнейших этапов аудита ИБ.

Список литературы

1. *Жигулин Г.П., Созинова Е.Н.* Метод прогнозирования в области информационной безопасности / Г.П. Жигулин, Е.Н. Созинова // В мире научных открытий. – 2012. - №8.1. – С. 60-71.
2. Аудит информационной безопасности предприятий и систем. Учебное пособие. Московская академия комплексной безопасности, Тульский филиал. Тула, 2008.
3. Международный стандарт аудита (МСА) 200 / Сборник Международных стандартов аудита, выражения уверенности и этики. Алматы, 2007. 1260 с.
4. *Руденко И.В.* Уровень существенности в аудите // Аудиторские ведомости. - 2009. - №12.
5. *Конопляник Т.М., Мухарева Н.А.* Основы аудита: учеб. пособие. – М.: КноРус, 2012.

05.13.05

А.Р. Насыбуллин

Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н.Туполева – КАИ, кафедра радиофотоники и микроволновых технологий,
Казань, aydar.nasybullin@mail.ru

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ НА ОСНОВЕ ПОЛОСКОВЫХ БРЭГГОВСКИХ СТРУКТУР ДЛЯ СВЧ ДАТЧИКОВ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

В статье рассмотрены принципы действия новых типов чувствительных элементов в виде сверхвысокочастотных (СВЧ) планарных структур с периодическими неоднородностями. Показан метод улучшения чувствительности, основанный на введении в конфигурацию периодической структуры фазового сдвига.

Ключевые слова: СВЧ брэгговская структура, датчики параметров технологических процессов, микрополосковая линия передачи, копланарный волновод.

Организация автоматизированного управления технологическим процессом предполагает наличие измерительных устройств для контроля технологических параметров в реальном времени. Широкое применение в задачах измерения нашли микроволновые методы и средства, в основе которых лежат принципы взаимодействия материальных сред с электромагнитными колебаниями СВЧ диапазона [1]. Существующие ограничения и недостаточная эффективность определенных методов радиоволновых измерений объясняет актуальность исследований в области расширения функциональных возможностей и улучшения метрологических характеристик СВЧ датчиков.

Типичная конструкция СВЧ датчика состоит из преобразовательного элемента (ПЭ) и измерительной схемы. По механизмам взаимодействия с контролируемым объектом ПЭ условно можно разделить на излучающие, квази-излучающие и неизлучающие. Наибольшее влияние особенностей реализации ПЭ на характеристики датчика наблюдается при использовании квази-излучающих и неизлучающих элементов. В этой связи разработка новых типов ПЭ является первоочередной задачей в процессе создания СВЧ датчиков для контроля параметров технологических процессов. Квази-излучающие ПЭ выполняются на базе волноводных трактов и резонаторов СВЧ, характеризующихся неполной связью с контролируемым объектом. Информативными параметрами в этом случае выступают характеристики передачи или отражения СВЧ структуры. Особое значение среди электродинамических систем для квази-излучающих ПЭ занимают планарные полосковые линии передачи, отличающиеся частичным расположением электромагнитного поля в пространстве, непосредственно прилегающем к проводникам полосковой линии. Нахождение в этой области контролируемого материала приводит к определенному изменению характеристик СВЧ структуры. Полосковые линии представляют собой нанесенные на листы диэлектрика тонкие металлические слои [2].

Для задач измерительной техники, с точки зрения относительной простоты получения измерительной информации, широкими перспективами обладают резонансные электродинамические системы с периодическими неоднородностями. Их отличительным свойством является возникновение эффекта брэгговского отражения, приводящего к образованию резонансных особенностей существования электромагнитных волн в электродинамической системе. Воздействие на систему внешних факторов отражается на изменении параметров резонансных характеристик. Последнее может быть использовано как свойство преобразователя измеряемой величины.

Периодические структуры в микрополосковом, волноводном и коаксиальном исполнении успешно применялись для измерения электрофизических параметров материалов и веществ [3-4]. Обладая свойствами материалов в СВЧ диапазоне, возможно определение таких

величин как влажность, плотность, концентрация и др., часто контролируемых в технологических процессах.

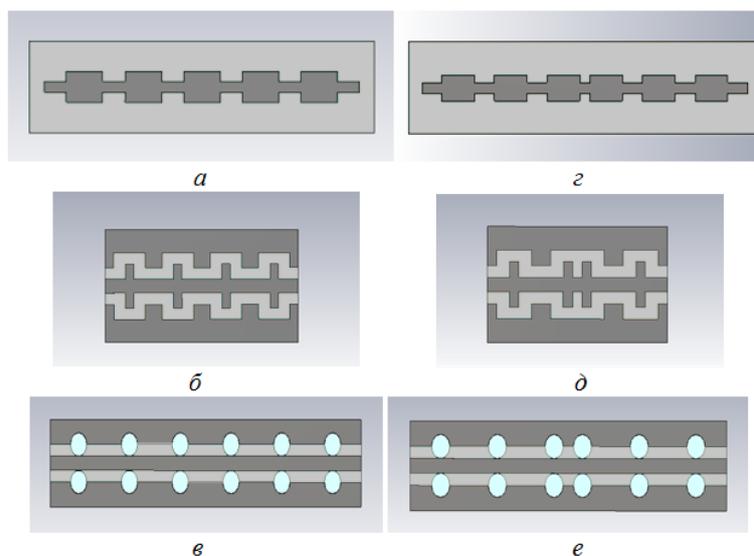


Рис. 1 – СВЧ полосковые периодические структуры

Рассматривая возможные конфигурации периодических полосковых структур (ППС) для ПЭ СВЧ датчиков особое внимание следует уделить несимметричным микрополосковым линиям (НМПЛ) и копланарным волноводам (КВ), как разновидностям открытых линий передач [2]. ППС можно классифицировать по типу применяемой неоднородности. На рис. 1-а показана ППС в НМПЛ с неоднородностями в виде изменения ширины токоведущего проводника или, другими словами, волнового сопротивления линии. Аналогичный тип неоднородности в КВ выглядит как на рис. 1-б, характеризующийся одновременным периодическим изменением центрального и земляного проводника. Рис. 1-в показывает пример неоднородности в виде круглого отверстия, сделанного в диэлектрике КВ и расположенного между центральным и земляным проводником.

Структуры с периодическим изменением толщины проводника хорошо описываются матричным методом. Для численного расчета частотных характеристик отражения и передачи ППС, представим ее как каскадное соединение отрезков линий передач с периодически чередующимися волновыми сопротивлениями. Описание элементарных участков наиболее целесообразно с помощью волновых матриц передачи, при этом общая матрица будет рассчитана как произведение матриц отдельных элементов [2]. Участок подводящей линии передачи характеризуется волновым сопротивлением Z_1 и длиной участка l_1 , участок «возмущенной» линии передачи – волновым сопротивлением Z_2 и длиной участка l_2 . Участки «скачка» волнового сопротивления между разными участками соответствуют переходу от Z_1 к Z_2 и от Z_2 к Z_1 . Вывод матрицы передачи отдельного участка возможен из матрицы рассеяния, в силу их непосредственной связи.

Общая Т-матрица ППС будет определяться произведением матриц передачи отдельных участков:

$$[T] = \begin{bmatrix} T_{11} & T_{12} \\ T_{21} & T_{22} \end{bmatrix} = [T_1 T_2]^N, \quad (1)$$

где N – количество неоднородных участков.

$$[T_1] = \begin{bmatrix} \left(\frac{Z_1+Z_2}{2\sqrt{Z_2Z_1}}\right) e^{(\alpha+j\beta)l_1} & \left(\frac{Z_2-Z_1}{2\sqrt{Z_2Z_1}}\right) e^{(\alpha+j\beta)l_1} \\ \left(\frac{Z_2-Z_1}{2\sqrt{Z_2Z_1}}\right) e^{-(\alpha+j\beta)l_1} & \left(\frac{Z_1+Z_2}{2\sqrt{Z_2Z_1}}\right) e^{-(\alpha+j\beta)l_1} \end{bmatrix}, \quad (2)$$

$$[T_2] = \begin{bmatrix} \left(\frac{Z_2+Z_1}{2\sqrt{Z_2Z_1}}\right) e^{(\alpha+j\beta)l_2} & \left(\frac{Z_1-Z_2}{2\sqrt{Z_2Z_1}}\right) e^{(\alpha+j\beta)l_2} \\ \left(\frac{Z_1-Z_2}{2\sqrt{Z_2Z_1}}\right) e^{-(\alpha+j\beta)l_2} & \left(\frac{Z_2+Z_1}{2\sqrt{Z_2Z_1}}\right) e^{-(\alpha+j\beta)l_2} \end{bmatrix} \quad (3)$$

После получения конечной Т-матрицы коэффициенты отражения и передачи ППС будут определяться как

$$S_{11} = \frac{T_{21}}{T_{11}}, S_{21} = \frac{1}{T_{11}}. \quad (4)$$

Оценка влияния параметров контролируемого материала, при его контакте с поверхностью структуры со стороны печатных проводников, проводится учетом значений диэлектрической проницаемости ϵ и тангенса угла диэлектрических потерь $\operatorname{tg}\delta$ материала в коэффициенте затухания α и фазовой постоянной β из формул (3)-(4). Анализ резонансных частотных характеристик показывает зависимость резонансной частоты, добротности и амплитуды резонанса от ϵ и $\operatorname{tg}\delta$. Частотная характеристика коэффициента отражения структур, показанных на рис. 1а-в обладает плоской вершиной резонансной кривой (рис. 2а), что способствует низкой чувствительности к внешним воздействиям. Улучшение чувствительности достигается использованием структур с фазовым сдвигом (рис. 1г-е), отличающиеся наличием участка с уменьшенным расстоянием между неоднородностями в середине структуры. Подобная модификация приводит к образованию узкого резонанса в характеристике коэффициента отражения (рис. 2б), позволяющего отслеживать изменения с более высокой чувствительностью.

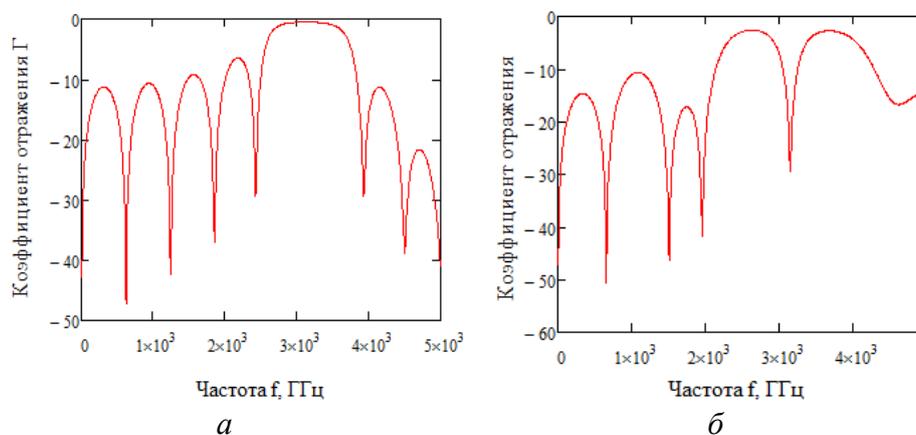


Рис. 3 - Коэффициенты отражения ППС обычной конфигурации (а) и с фазовым сдвигом (б)

Отличительной особенностью указанных датчиков можно указать отсутствие необходимости в определении фазы отраженного или проходящего через ППС волны, то есть устройство использует только скалярное измерение.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант №15-19-10053) и министерства образования и науки РФ в рамках проектной части государственного задания на выполнение НИР в КНИТУ-КАИ на 2014-2016 годы (задание №11.34.2014/К).

Список литературы

1. Викторов В.А. Радиоволновые измерения параметров технологических процессов / В.А. Викторов, Б.В. Лункин, А.С. Совлуков. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 208 с.
2. Неганов В.А. Устройства СВЧ и антенны. Ч.I: Проектирование, конструктивная реализация, примеры применения устройств СВЧ / В.А. Неганов, Д.С. Ключев, Д.П. Табаков. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2013. – 608 с.
3. Усанов Д.А. СВЧ фотонные кристаллы. Новые сферы применения / Д.А. Усанов, М.К. Мерданов, А.В. Скрипаль, Д.В. Пономарев // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Физика. – 2015. – Т.15, №1. – С. 57-73.
4. Морозов О.Г. Свойства сложно-периодических неоднородных систем в радиочастотных и оптических направляющих структурах. / О.Г. Морозов, А.Р. Насыбуллин // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. - 2015. - Т. 18, № 3. - С. 16-22.

05.13.19

**А.Д. Наумов, А.Н. Югансон, И.Б. Бондаренко к.т.н.,
Д.А. Заколдаев к.т.н., Ю.А. Гатчин д.т.н.**

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики»,
Санкт-Петербург, adnaumov@corp.ifmo.ru, a_yougunson@corp.ifmo.ru

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ КОМПОНЕНТОВ ВИРТУАЛЬНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СРЕДЫ ВИРТУАЛИЗАЦИИ

В рамках данной работы изучена проблема надежности виртуальной инфраструктуры. Даны рекомендации по улучшению отдельных параметров компонентов виртуальной инфраструктуры для повышения общей надежности среды виртуализации.

Ключевые слова: *виртуальная инфраструктура, виртуализация, надежность, безотказность, ремонтпригодность, живучесть, долговечность, сохраняемость.*

Текущий этап развития инфокоммуникационных технологий подразумевает обработку большого количества информации с повышенными требованиями к безопасности и надежности. Эффективная организация производства так же подразумевает большое количество сервисов и служб, зачастую физически и территориально обособленных. Такой вид организации труда приводит к увеличению количества телекоммуникационного и серверного оборудования, и как следствие, к росту затрат на поддержание работоспособности таких систем. Сложности, возникающие при управлении и масштабировании такой сетевой инфраструктуры, могут стать причиной колоссальных убытков для предприятия [1].

Создание виртуальной инфраструктуры может стать решением обозначенных проблем. Виртуализация позволит снять физические и территориальные ограничения, увеличить энергосбережение и сократить расходы благодаря более эффективному использованию аппаратных ресурсов [2].

Под виртуальной инфраструктурой (ВИ) следует понимать сформированную совокупность физических серверов, виртуальных ресурсов и компонентов виртуальной платформы (ВП), развернутых на физических серверах, а также каналы связи [3].

Однако технология виртуализации также имеет ряд недостатков, главный из которых – зависимость виртуальных систем от надежности физического оборудования. Под надежностью следует понимать совокупность следующих параметров: безотказность, ремонтпригодность, долговечность, сохраняемость, живучесть.

Исследования Cisco Systems, Inc [4] показали, что вопрос надежности виртуальной инфраструктуры (~25%) является одним из основных препятствий для использования технологий виртуализации в информационных системах (ИС). Отсюда можно сделать вывод: вопросы виртуализации и обеспечения ее надежности на сегодняшний день довольно актуальны.

Под безотказностью ВИ следует понимать свойство ВИ непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или наработки [5].

Безотказность в той или иной степени характерна оборудованию, входящему в ВИ, в любом из возможных режимов его существования. В основном безотказность рассматривается относительно его применения по назначению, хотя во многих вариантах нужна оценка безотказности при хранении и транспортировании оборудования.

Таким образом, для увеличения безотказности ВИ и сведения вероятности безотказной работы оборудования, входящего в ВИ, при заданных условиях эксплуатации, к минимуму необходимо использовать сертифицированное оборудование строго в соответствии с инструкциями по эксплуатации.

Под ремонтпригодностью ВИ следует понимать свойство ВИ, заключающееся в приспособленности к поддержанию и восстановлению работоспособного состояния путем технического обслуживания и ремонта.

Ремонтпригодное оборудование, входящее в ВИ, обязано иметь соответствующую конструкцию, быть адаптировано к контролированию работоспособности по всем основным характеристикам, демонтированию отказавших и монтажу работоспособных составляющих.

Следовательно, для увеличения ремонтпригодности ВИ нужно использовать оборудование, адаптированное к предотвращению, обнаружению и устранению отказов, сделать условия для подготовки квалифицированного обслуживающего персонала, проводить организационно-технические мероприятия по обслуживанию и снабжению оборудования необходимыми запасными частями.

Под долговечностью ВИ следует понимать свойство ВИ сохранять работоспособное состояние до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта.

Оборудование, входящее в ВИ, имеет возможность перейти в предельное состояние, при котором его дальнейшее использование недопустимо, либо нецелесообразно, или восстановление его работоспособного состояния невозможно, либо нецелесообразно по требованиям безопасности, экономичности или производительности. Предельное состояние возникает вследствие старения, износа или существенного снижения производительности применения оборудования.

Итак, для увеличения долговечности ВИ необходимо создать единую техническую политику эксплуатации оборудования путём синтеза системы технического обслуживания и ремонта с основными положениями нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации.

Под сохраняемостью ВИ следует понимать свойство ВИ сохранять в заданных пределах значения параметров, характеризующих способности объекта выполнять требуемые функции, в течение и после хранения и (или) транспортирования [6].

Говоря о ВИ, особое внимание следует уделить условиям, в которых происходит транспортировка и хранение оборудования инфраструктуры. Различные неблагоприятные условия, такие как высокая влажность, температура, различные электромагнитные импульсы могут привести к ситуации, в которой будет нарушено нормальное функционирование компонентов системы, например, магнитных накопителей. Это приведет к потере информации, и, как следствие, нарушению конфигурации ВИ.

Следственно, для увеличения значения срока сохраняемости необходимо соблюдать все требования транспортировки и хранения, прописанные в технических паспортах оборудования, входящего в ВИ.

Под живучестью ВИ следует понимать свойство ВИ, характеризующее способность выполнять установленный объем функций в условиях воздействий внешней среды и отказов компонентов системы в заданных пределах [7].

Использование среды виртуализации подразумевает трудоемкость и сложность восстановительных операций. Чем масштабнее система, тем серьезнее ущербы даже при отключении части этой системы, так как компоненты технологически связаны друг с другом. Особое внимание при проектировании ВИ следует обратить на функциональное и структурное резервирование компонентов системы.

Соответственно, для увеличения живучести ВИ необходимо быстро задействовать ресурсы и резервы, созданные на этапе проектирования. Для этих целей можно проводить обучение персонала, направленное на сокращение времени обработки экстренных ситуаций. Например, располагать запасные части, инструменты и принадлежности в месте, к которому будет обеспечен беспрепятственный доступ при наступлении нештатных ситуаций.

В результате проделанной работы были сформулированы следующие требования к повышению надежности ВИ при использовании среды виртуализации:

В качестве компонентов ВИ использовать сертифицированное оборудование строго в соответствии с инструкциями по эксплуатации.

Создать условия для подготовки квалифицированного обслуживающего персонала.

Оборудование ВИ обеспечить необходимыми запасными частями.

Разработать единую политику технической эксплуатации в соответствии с основными положениями документации, разработанной для выбранной среды виртуализации.

Соблюдать требования транспортировки и хранения, предъявляемые к оборудованию ВИ.

Свести время реагирования на внештатные ситуации, возникающие при эксплуатации среды виртуализации, к минимуму.

Список литературы

1. Виртуализация VMware для настольных компьютеров, серверов, приложений, общедоступных и гибридных облаков // VMware Russia, Making Our Products More Secure [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.vmware.com/ru/security/>, свободный (дата обращения: 20.04.2016).
2. *Кашев Д.Е.* Повышение надежности ИТ-инфраструктуры при использовании виртуализации / Д.Е. Кашев, М.М. Чугунов // Новый взгляд. Международный научный вестник. – 2013. – № 2. – С. 247-257.
3. ГОСТ Р «Защита информации. Требования по защите информации, обрабатываемой с использованием технологии виртуализации. Общие положения».
4. Securing Virtual Applications and Servers // Cisco Systems, Inc. 2012. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/data-center-virtualization/unified-network-services-uns/white_paper_c11-652663.html, свободный (дата обращения: 20.04.2016).
5. *Черкесов, Г.Н.* Надежность аппаратно-программных комплексов. – СПб: Питер, 2005. – 480 с.
6. ГОСТ 27.002-89 «Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения».
7. ГОСТ 34.003-90 «Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Термины и определения».

05.13.19

¹И.Ю. Попов, ²А.О. Алексеенко, ³Б.А. Крылов, ⁴Ю.А. Гатчин

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра проектирования и безопасности компьютерных систем, ¹ilyaropov27@gmail.com, ²alekseenko@niuitmo.ru, ³krylovb@mail.ru, ⁴gatchin@mail.ifmo.ru

МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ МИНИМАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПЕРСОНАЛЬНЫХ ДАННЫХ ПО ТРЕБОВАНИЯМ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

В статье предлагается метод построения минимальной защиты информационной системы персональных данных. Метод позволяет получить список необходимых мер по обеспечению безопасности персональных данных и средств защиты информации. На основе данного метода разработана автоматизированная система.

Ключевые слова: *информационная система персональных данных, персональные данные, автоматизированная система, информационная безопасность.*

Введение

27 июля 2006 года вышел Федеральный закон № 152-ФЗ "О персональных данных", регулирующий отношения, связанные с обработкой персональных данных с использованием средств автоматизации [1]. Данный закон обязывает операторов персональных данных (ПДн) привести свои информационные системы персональных данных (ИСПДн) в соответствие требованиям законодательства в области защиты ПДн. Стоит отметить, что данная процедура не является тривиальной. Зачастую операторы ПДн предпочитают заниматься этим самостоятельно. Главной проблемой при таком подходе является малая осведомленность оператора ПДн в области определения уровня защищенности ПДн, составления модели угроз, выбора мер обеспечения безопасности ПДн и средств защиты информации (СЗИ). Оператор ПДн может совершать ошибки, которые в дальнейшем приведут к неправильному построению защиты ИСПДн в целом, и, как следствие, к административным наказаниям и дополнительным расходам на перепроектирование защиты ИСПДн. Ещё одной немаловажной проблемой является неправильный выбор СЗИ при верном выборе мер защиты. Это также ведет к нерациональному использованию финансовых средств.

В связи с недавним обновлением законодательства разработанные на сегодняшний день автоматизированные системы проектирования защиты ИСПДн [2] базируются на устаревших методах. Следовательно, для выполнения данной процедуры требуется разработать новые алгоритмы и методы, применение которых даст возможность спроектировать актуальную защиту ИСПДн для любого предприятия.

В рамках данной статьи предлагается решение задачи выбора мер обеспечения безопасности персональных данных, а также выбора СЗИ согласно нормативно-правовым актам по защите персональных данных РФ.

Цель. Целью данной статьи является разработка метода построения минимальной защиты информационной системы персональных данных по требованиям, заданным конечным пользователем, для последующего применения при разработке автоматизированных систем.

Описание метода

Под построением минимальной защиты понимается формирование набора мер защиты и СЗИ необходимого и достаточного для функционирования ИСПДн, соответствующего законодательству.

Разработанный метод включает в себя три этапа. Для наглядности на рисунке 1 представим схему разработанного метода.

Рассмотрим каждый этап подробнее.

Первый этап: определение уровня защищенности персональных данных. Для выполнения данного этапа требуется указать следующие параметры:

– Категория обрабатываемых данных;

- Обработка персональных данных сотрудников;
- Число обрабатываемых субъектов;
- Тип актуальных угрозы.

Расчет уровня защищенности происходит согласно Постановлению Правительства РФ №1119 [3].

Второй этап: определение мер обеспечения безопасности персональных данных в соответствии с приказом ФСТЭК России №21.

В первую очередь необходимо установить тип предприятия, на котором функционирует ИСПДн. Исходя из этого строится типовая модель угроз безопасности персональных данных.

Для уточнения модели угроз необходимо указать следующее:

- является ли ИСПДн распределенной;
- используются ли в ИСПДн виртуальные и локальные сервера;
- режим обработки персональных данных в ИСПДн;
- разграничение прав доступа пользователей в ИСПДн;
- наличие подключений ИСПДн к Интернет;
- наличие в ИСПДн беспроводных сетей.

На основании уточненной модели угроз и уровня защищенности, полученного на первом этапе, из состава мер по обеспечению безопасности персональных данных, необходимых для обеспечения каждого из уровней защищенности персональных данных, представленного в приказе ФСТЭК №21, выбирается список мер, применимых к исследуемой ИСПДн.

Третий этап. Согласно списку мер защиты и уровню защищенности необходимо определить перечень СЗИ соответствующих классов, реализующих данные меры защиты [4]. Требуется выбрать:

- Систему обнаружения вторжений;
- Средство антивирусной защиты;
- Межсетевой экран.

Выходными данными после построения защиты являются список защитных мер и перечень СЗИ с указанием их общей рыночной стоимости.

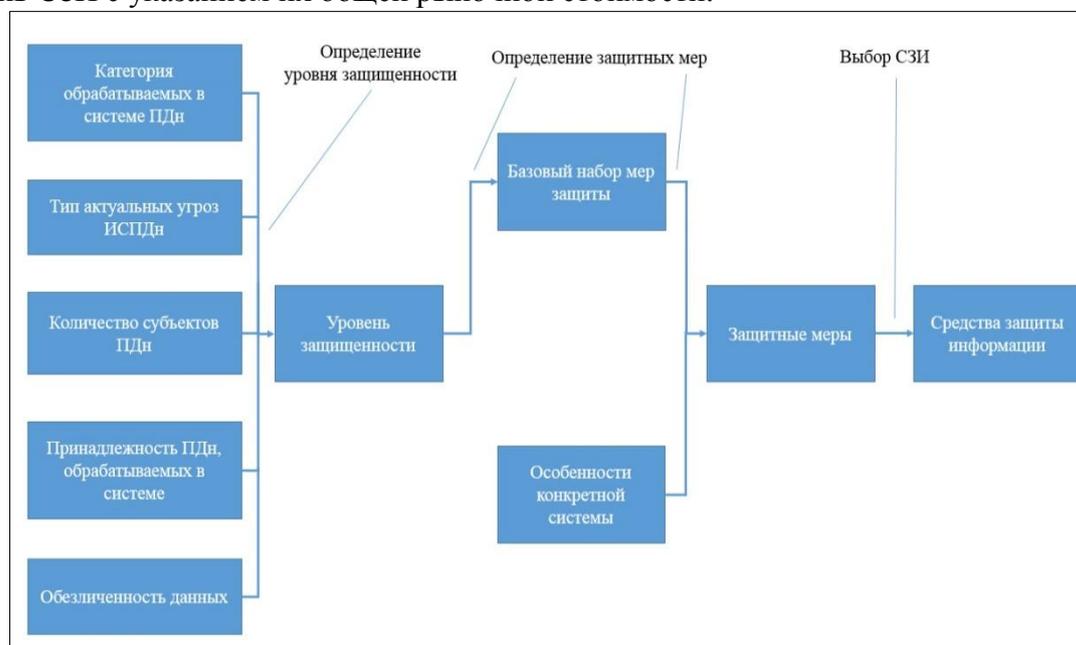


Рис. 1 – Метод построения минимальной защиты ИСПДн

Реализация автоматизированной системы на основе разработанного метода

Для разработки автоматизированной системы (АС) был использован язык программирования C++ с графической библиотекой Qt [5,6]. Базы данных, необходимые для работы приложения, решено хранить в формате JSON [7]. В рамках разработки системы автоматического проектирования созданы базы данных содержащие:

- Все меры защиты из приказа ФСТЭК №21;

- Перечень моделей угроз для различных типов предприятий;
- Перечень СЗИ.

Также разработаны и запрограммированы алгоритмы, реализующие этапы проектирования защиты ИСПДн. В результате создана система, позволяющая получить информацию об ИСПДн от конечного пользователя и проектировать минимальную защиту данной ИСПДн. В лаборатории защиты информации было проведено тестирование разработанной системы. Результаты отображены на рисунке 2.

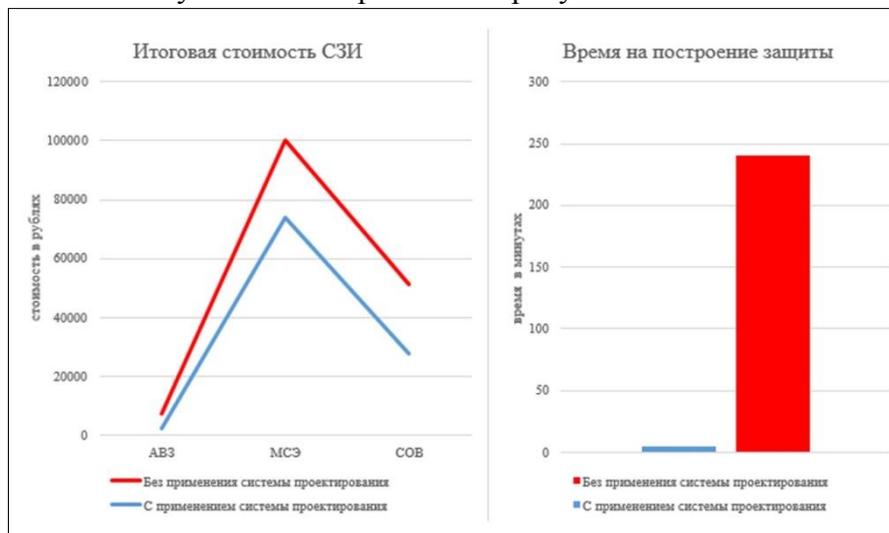


Рис. 2 – Тестирование разработанной автоматизированной системы

Тестирование показало, что АС, созданная на базе предложенного метода, существенно снижает время, необходимое для проектирования защиты ИСПДн, а также позволяет снизить стоимость выбранных средств защиты информации (по сравнению с ручным проектированием).

Заключение

Построение адекватной системы защиты ИСПДн является актуальной проблемой в области информационной безопасности. Предложенный метод проектирует минимальную защиту ИСПДн. Данный метод будет полезен для сотрудников службы безопасности, стремящихся привести ИСПДн в соответствие требованиям российского законодательства.

Метод разработан для применения в автоматизированных системах. В качестве примера разработана автоматизированная система на языке программирования C++. В результате проведенной оценки эффективности полученной системы получен положительный результат.

Список литературы

1. Петров А.Я. О персональных данных работника: современное состояние правового регулирования //Трудовое право. – 2008. – №. 4. – С. 31-33.
2. Аверченков В.И., Рытов М.Ю., Голембиовская О.М. Разработка автоматизированной системы мониторинга защиты персональных данных в организации //Вестн. БГТУ. – 2011. – №. 4. – С. 92-99.
3. Малкиев М. Как определить уровень защищенности информационных систем [Электронный ресурс]. – Режим доступа <https://kontur.ru/articles/1940>, свободный, Яз. рус (дата обращения 25.05.2016).
4. Кратко о выборе сертифицированных СЗИ от НСД [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.altx-soft.ru/articles/show-1.htm> - Загл. с экрана, свободный, Яз. рус (дата обращения 27.05.2016)
5. Страуструп Б. Программирование. Принципы и практика использования C++. – Litres, 2015. – С. 591-759
6. Шлее М.Е. Qt4. 8. Профессиональное программирование на C++ (+ DVD). – БХВ-Петербург, 2012. - С. 624-637
7. Crockford D. The application/json media type for javascript object notation (json). – 2006.

05.13.18

С.В. Рыков, И.В. Кудрявцева, В.А. Рыков, М.И. Полторацкий

Университет ИТМО

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АСИМПТОТИЧЕСКОЙ ОКРЕСТНОСТИ КРИТИЧЕСКОЙ ТОЧКИ

Рассмотрена математическая модель термической и калорической поверхности в области сильно развитой флуктуации плотности, разработанная на основе феноменологической теории критической точки Мигдала А.А. На примере описания равновесных свойств аргона показано, что масштабное уравнение в физических переменных, разработанное в рамках предложенного подхода, не только качественно, но и количественно верно передает асимптотическую окрестность критической точки системы жидкость-газ.

Ключевые слова: *критическая точка, критические индексы, аргон, изохорная теплоемкость, гипотеза Бенедика, линия псевдокритических точек.*

Проблема математического моделирования термодинамической поверхности в области сильно развитых флуктуаций в настоящее время привлекает внимание многих исследователей [1–3]. При этом наибольший интерес вызывает построение масштабного уравнения в переменных плотность-температура ($\rho-T$). В данной работе рассмотрен один из вариантов ее решения на основе феноменологической теории критической точки Мигдала А.А. [4] и масштабной функции [2]:

$$h(x) = A \left[(x + x_q)^\gamma - (x_q - x_0)^\gamma \right], \quad (1)$$

где $h(x)$ – масштабная функция химического потенциала μ ; $x = \tau / |\Delta\rho|^{1/\beta}$; β и γ – критические индексы; A , x_0 и x_q – постоянные; $\tau = (T - T_c) / T_c$; $\Delta\rho = \rho / \rho_c - 1$; ρ_c и T_c – критические температура и плотность.

В работе [5] сформулирована теорема 1, согласно которой термодинамическая функция X в асимптотической окрестности критической точки удовлетворяет гипотезе (гипотеза Бенедика [6]) об одинаковом характере поведения на критической и околокритической изохорах и имеет особенность в критической области:

$$X = A |\Delta\rho|^{-\phi/\beta} (x + x_x)^{-\phi}, \quad (2)$$

то уравнение состояния в физических переменных $\rho-T$, рассчитанное на основе феноменологической теории критических явлений, представленной в виде

$$\Delta\mu \cdot X^{(\gamma+\beta)/\phi} = \phi_1 m + \phi_3 \cdot m^3 + \phi_5 \cdot m^5 \dots, \quad (3)$$

где $m = \Delta\rho \cdot X^{\beta/\phi}$, удовлетворяет, во-первых, всем степенным законам масштабной теории критических явлений и, во-вторых, на линии $x = -x_x$ равенствам [7]:

$$(\partial T / \partial s)_\rho = 0 \Leftrightarrow (\partial \rho / \partial p)_T = 0 \quad \text{при } \rho \neq \rho_c, \quad (4)$$

$$(\partial T / \partial s)_\rho = 0 \Leftrightarrow (\partial \rho / \partial p)_T = \infty \quad \text{при } \rho = \rho_c. \quad (5)$$

Ограничимся в правой части выражении (2) двумя первыми членами и покажем, что из этой теоремы существует исключение при определенных значениях критических индексов δ и γ . Причем это исключение и приводит к масштабной функции (1).

Согласно феноменологической теории [4] масштабная гипотеза может быть сформулирована в виде уравнения:

$$\Delta\mu \cdot K_T^{(\gamma+\beta)/\phi} = \phi_1 m + \phi_3 \cdot m^3, \quad (6)$$

где

$$m = \Delta\rho \cdot K_T^{\gamma/\beta}. \tag{7}$$

Зависимость (4) в случае $X = K_T$ примет вид ($x_1 = x_x$):

$$K_T = A|\Delta\rho|^{-\gamma/\beta} (x+x_1)^{-\gamma}. \tag{8}$$

Подставим в (6) и (7) функцию (8) и в результате получим:

$$\Delta\mu = \Delta\rho \cdot |\Delta\rho|^{\delta-1} \left[A_1 (x+x_1)^\gamma + A_2 (x+x_1)^{\gamma-2\beta} \right]. \tag{9}$$

Если критические индексы γ и β удовлетворяют неравенству $\gamma \neq 2\beta$, то на термодинамической поверхности образуется геометрическое место точек, удовлетворяющих условию (4), и теорема 1 выполняется. Однако в случае $\gamma = 2\beta$ выражение (9) преобразуется к виду

$$\Delta\mu = \Delta\rho \cdot |\Delta\rho|^{\delta-1} h(x), \tag{10}$$

где масштабная функция химического потенциала имеет следующую структуру:

$$\Delta\mu = h(x) = A_1 (x+x_1)^\gamma + A_2. \tag{11}$$

Так как на линии насыщения $x = -x_0$ должно выполняться требование $\Delta\mu = 0 \Rightarrow h(x = -x_0) = 0$, то выражение (11) необходимо привести к следующему виду:

$$h_1(x) = A_1 \left[(x+x_1)^\gamma - (x_1-x_0)^\gamma \right]. \tag{12}$$

Анализ выражения (12) при условии $\gamma = 2\beta$, показал, что если $\alpha > 0$, как это следует из масштабной теории (МТ), то $\gamma < 1$, что противоречит не только выводам МТ, но и экспериментальным данным о поведении K_T и C_p в окрестности критической точки.

Однако, если уравнение (4) переписать в виде

$$\Delta\mu \cdot K_T^{(\gamma+\beta)/\beta} = \varphi_1 m + \varphi_3 \cdot m^4, \tag{13}$$

то в этом случае из (13) следует (11), (12) при выполнении условия $\gamma = 3\beta$.

Остальные критические индексы удовлетворяют равенствам Гриффитса:

$$2 - \alpha = \beta\delta + \beta; \quad \gamma = \beta\delta - \beta. \tag{14}$$

Таким образом, учитывая (14), получим:

$$\delta = 4, \quad \alpha = 2 - 5\beta. \tag{15}$$

Термическое уравнение состояния, рассчитанное на основе уравнений (10) с масштабной функцией (12) имеет вид:

$$\pi = 1 + c_0 \cdot \tau - c_1 \cdot \tau^2 + \Delta\rho \cdot |\Delta\rho|^{\delta-1} h(x) - |\Delta\rho|^{\delta+1} a(x). \tag{16}$$

Здесь $h(x) = h_1(x)$ при значении $A_1 = u_0/k$; $k = (b^2 - 1)^\beta / x_0^\beta$; $b^2 = (\delta - 1) / (\delta - 1) / (1 - 2\beta)$; $u_0 =$ индивидуальный параметр; $a(x)$ – масштабная функция свободной энергии Гельмгольца:

$$a(x) = -\frac{u_0\beta}{k \cdot x_1^{2\beta}} |\Delta\rho|^{\delta+1} (x+x_1)^{2-\alpha} \left(\frac{1}{2-\alpha} + \sum_{n=1}^N (-1)^n \frac{(2\beta-1) \dots (2\beta-n)}{n!(2-\alpha-n)} \left(\frac{x}{x+x_1} \right)^n \right). \tag{17}$$

Заметим, что точному решению дифференциального уравнения

$$(\delta+1)a(x) - \frac{x}{\beta} a'(x) = h_1(x) \tag{18}$$

соответствует в зависимости (10) значение $N = \infty$.

Апробация уравнения (16) проводилась при значениях критических индексов (15) и значение $N = 10$ на примере описания экспериментальной информации о равновесных свойствах аргона [8, 9]. Параметрам уравнения (16) присвоены следующие значения: $c_0 = 6,0848383475$; $c_1 = 14,1230606505$; $u_0 = 20,9793368822$; $x_0 = 0,12$; $T_c = 150,66K$; $p_c = 4,8634$ МПа;

$$\rho_c = 535,1 \text{ кг/м}^3; \alpha = 0,10; \beta = 0,38; \gamma = 0,14.$$

Давление p и изохорная теплоемкость C_V , рассчитанные на основе уравнения состояния (16), в области сильно развитых флуктуаций плотности описывается в основном в пределах экспериментальной погрешности (рис. 1 и рис. 2).

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что математическая модель критической области в переменных $\rho-T$, разработанная на основе феноменологической теории Мигдала А.А. [4], является не только физически обоснованной, но и количественно верно передает термическую и калорическую поверхности в асимптотической окрестности критической точки.

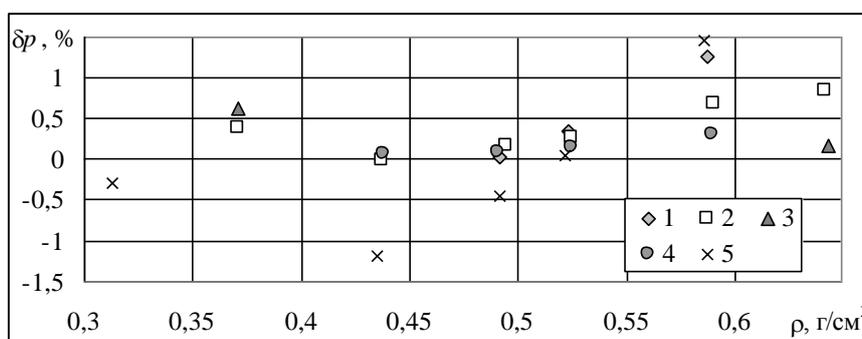


Рис. 1. Отклонения значений давления, рассчитанных по масштабному уравнению состояния аргона, от данных [9] на изотермах: 1 – 158,15 К; 2 – 153,15 К; 3 – 150,65 К; 4 – 151,65 К; 5 – 163,15 К

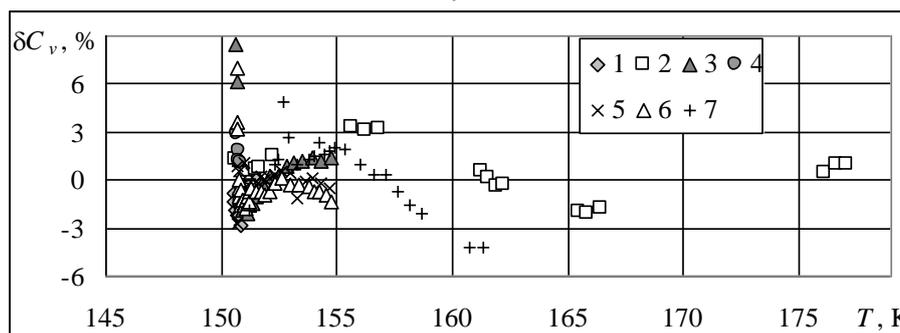


Рис. 2. Отклонения значений изохорной теплоемкости, рассчитанных по масштабному уравнению состояния аргона, от данных [8] на изохорах: 1 – 0,4576 г/см³; 2 – 0,4736 г/см³; 3 – 0,4973 г/см³; 4 – 0,5344 г/см³; 5 – 0,5419 г/см³; 6 – 0,5655 г/см³; 7 – 0,531 г/см³

Список литературы

1. Kudryavtseva I.V., Rykov S.V. A // Russian Journal of Physical Chemistry A, 2016, Vol. 90, No. 7, pp. 1493–1495.
2. Bezverkhy P.P., Martynets V.G., Bondarev V.N. // Russian Journal of Physical Chemistry A. 2014. Т. 88. № 4. С. 566–572.
3. Rizi A., Abbaci A. // J. of Molecular Liquids. 2012. V. 171. P. 64–70.
4. Мигдал А.А. Уравнение состояния вблизи критической точки // ЖЭТФ. 1972. Т. 62. № 4. С. 1559–1573.
5. Рыков С.В., Кудрявцева И.В., Рыков В.А. // Современные проблемы математики и естественнонаучного знания: материалы международной научной конференции (Коряжма). 2014. С. 36–41.
6. Бенедек Дж. Спектроскопия оптического смещения и ее применения к задачам физики, химии, биологии и техники // УФН. 1972. Т. 106. С. 481.
7. Рыков В.А. // ЖФХ. – 1985. – Т. 59, № 11. – С. 2905–2906.
8. Анисимов М.А., Ковальчук Б.А., Рабинович В.А., Смирнов В.А. // Теплофизические свойства веществ и материалов. – М.: Изд-во стандартов. – 1978. – Вып. 12. – С. 86–106.
9. Michels A., Levelt J.M., Wolkers G.I. // Physica – 1958. V. 24, № 8. P. 679–687.

05.13.19

¹Я.И. Савченко, ²О.Ю. Гаценко д.т.н., ³Г.П. Жигулин к.т.н.¹Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий механики и оптики, Санкт-Петербург, *iaroslavsavchenko@gmail.com*²Государственная корпорация "Ростехнологии", Открытое акционерное общество «Научно-исследовательский институт программных средств», Генеральный директор, Санкт-Петербург, *gazenko@nii-ps.ru*³Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий механики и оптики, Заведующий кафедрой МиПИУ, Санкт-Петербург, *ikvo@grv.ifmo.ru*

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ ПРИ ИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ПО ОТКРЫТЫМ КАНАЛАМ СВЯЗИ

В настоящее время активно развиваются различные анонимные сети, мессенджеры и сервисы, предоставляющие услуги анонимной и защищенной связи. В этой статье поставлена цель проанализировать методы идентификации пользователей при их взаимодействии по открытым каналам связи.

Ключевые слова: *Анонимность, защита данных, OTR, TOR, безопасность, криптография.*

Введение

Конфиденциальная информация, передаваемая поставщикам услуг во время совершения пользователем звонков, отправки сообщений, электронных писем или общения в социальных сетях и мессенджерах, может содержать в себе персональные данные, в том числе географическое местоположение, как пользователя, так и адресата. Данная информация может быть доступна также телекоммуникационным компаниям – операторам, предоставляющим услуги доступа в Интернет, различным структурам, таким как, например, Агентство национальной безопасности США, а также любым другим службам, организациям и пользователям, способным отследить действия в сетях различными методами.

При взаимодействии пользователей в сети передаются не только сообщения, но и метаданные, представляющие собой различные характеристики, применяющиеся в том числе и для идентификации клиентов в сети. Следовательно, в большинстве случаев, когда возникает необходимость сокрытия факта связи пользователя и адресата, одного шифрования передаваемого содержимого недостаточно. Для этого необходимо обеспечить анонимность каждого из них, и, в таком случае, скрывать сам факт взаимодействия анонимных пользователей необязательно.

Цель исследования – проанализировать методы идентификации пользователей при их взаимодействии по открытым каналам связи.

Установка анонимного сетевого соединения

Перед началом работы, необходимо установить анонимное сетевое соединение, защищенное от прослушивания. Для этого можно воспользоваться системой прокси-серверов TOR, которая представляет собой децентрализованную анонимную сеть виртуальных туннелей. На данный момент TOR, являющийся свободным и открытым программным обеспечением – наиболее простое и безопасное решение для анонимизации трафика. TOR оперирует сетевыми уровнями маршрутизаторов, позволяя обеспечивать анонимные исходящие соединения. Каждый пользователь сети TOR на своем устройстве запускает прокси сервер, который подключается к серверам TOR, периодически образуя цепочку сквозь сеть TOR с многоуровневым шифрованием. Каждый пакет данных, попадающий в систему, проходит через три различных узла, которые выбираются случайным образом. Перед отправлением пакет последовательно шифруется тремя ключами: сначала для третьего узла, потом для второго, и потом для первого. Когда первый узел получает пакет, он расшифровывает последний слой шифра и узнает, куда отправить пакет дальше. Второй и третий сервер поступают аналогичным образом. TOR предназначен для

скрытия факта связи между клиентом и сервером, однако он не способен обеспечить полное скрытие передаваемых данных и является лишь средством достижения анонимности в интернете. Поэтому для сохранения более высокого уровня конфиденциальности необходима дополнительная защита самих коммуникаций, шифрование передаваемых через TOR файлов, например, с помощью упаковки их в криптографические контейнеры.

После установки анонимного сетевого соединения необходимо создать новые учетные записи для взаимодействия пользователей в сети. Новые аккаунты необходимо использовать только через анонимное соединение, чтобы не скомпрометировать их – не использовать тот же IP-адрес, через который осуществлялась работа со старыми учетными записями. В таком случае, сопоставить IP-адреса и установить связь между старыми и новыми аккаунтами невозможно, даже если активность пользователей отслеживается.

Протокол OTR. End-to-end шифрование

При использовании некоторых мессенджеров пользователи могут обмениваться друг с другом сообщениями с шифрованием по протоколу Off-the-Record (OTR) Messaging, который добавляет в чаты end-to-end шифрование. Данный метод шифрования позволяет передавать зашифрованные сообщения по открытым каналам связи, через обычные телекоммуникационные системы связи или интернет без возможности мгновенного прочтения в случае перехвата. Сообщения зашифровываются перед отправкой и расшифровываются только после получения адресатом, поэтому, если их удастся перехватить, то дешифрация или невозможна, или требует колоссальных материальных затрат, ресурсов и времени.

Одной из отличительных особенностей протокола OTR является невозможность привязать пользователя к конкретному чату, так как у чата отсутствует цифровая подпись. В таком случае невозможно доказать, что определенные пользователи взаимодействовали в определенном чате. Однако, во время передачи сообщений, пользователь может быть уверен, что общается с нужным адресатом: протокол OTR обеспечивает как шифрование сообщений, так и идентификацию – подтверждение того факта, что пользователи взаимодействуют с нужным адресатом, а не с третьим лицом, которое может выдавать себя за адресата. При использовании протокола OTR, каждый пользователь генерирует собственный ключ, представляющий собой файл, хранящийся на устройстве, которое используется для обмена сообщениями. Каждый ключ содержит уникальную последовательность символов, которая называется отпечатком этого ключа, при этом не может существовать два одинаковых отпечатка [1]. Потеря ключей шифрования не приводит к компрометации предыдущих сообщений. Взаимная передача OTR-отпечатков между пользователем и адресатом целесообразна только по внешним каналам связи, так как первоначальная надежность чата неизвестна. Перед взаимной авторизацией в мессенджерах необходимо убедиться в том, что отпечатки в программе совпадают с отпечатками, переданными по другому каналу связи. Если отпечатки ключей не совпадают, это значит, что на пользователей осуществляется направленная атака посредника.

TOR Messenger

Поддержка OTR реализована в TOR Messenger – кроссплатформенной программе для обмена сообщениями, весь трафик которой проходит через сети TOR. Мессенджер поддерживает большое количество транспортных сетей, в том числе Jabber (XMPP), IRC, Google Talk, Facebook Chat, Twitter, Yahoo [2]. В программе шифрование сообщений включено по умолчанию, действия пользователя не логируются, история сообщений не сохраняется. TOR Messenger имеет традиционную модель клиент-сервер, следовательно, пользовательские метаданные, в том числе взаимоотношения между контактами, могут быть прочитаны и записаны сервером. Однако трафик от клиента до сервера будет анонимизирован, благодаря взаимодействию пользователей через сеть TOR.

Безопасность пользователя: социальные аспекты

При анализе трафика со стороны пользователя третьим лицом, им может быть выявлено, что трафик пользователя частично проходит через TOR, но при этом невозможно понять, для

чего используется TOR. Однако, использование сети TOR может вызвать подозрения. Поэтому, для сохранения анонимности безопаснее осуществлять со своего устройства сетевое подключение, которое не связано с поставщиком услуг, т.е., например, использовать открытые публичные сети Wi-Fi. При анализе трафика со стороны сервера, может быть отслежено, что два анонимных пользователя обмениваются зашифрованными сообщениями. Определить кем на самом деле являются пользователи, а также узнать содержание сообщения невозможно благодаря скрытию IP-адресов системой TOR и шифрованию с помощью протокола OTR.

TOR предоставляет высокую степень сетевой анонимности, но обеспечение абсолютной анонимности невозможно. TOR не всегда способен скрыть личность пользователя, особенно если он уже находится под наблюдением. При наличии у определенных структур подозрений в том, что пользователь может общаться в чате под определенным логином, ими может быть установлено наблюдение за трафиком пользователя, а также за тем, к каким серверам подключается пользователь. Для доказательства принадлежности определенной учетной записи конкретному пользователю может быть использован тот факт, что, когда пользователь покидает рабочее место – он выходит из своей учетной записи в сети TOR, а когда возвращается, трафик по сети TOR возобновляется и пользователь вновь появляется в сети. Таким образом можно сделать вывод, что пользователю, который использует сеть TOR, и хочет достичь максимального уровня анонимности, следует учитывать деятельность третьих лиц, которые могут вести за ним наблюдение.

Безопасность рабочей станции

Также необходимо учитывать безопасность устройства, с которого отправляются сообщения. Анонимизация пользователя и шифрование трафика станет бесполезным, если рабочая станция будет взломана. Риск взлома можно снизить, если для создания защищенного соединения использовать отдельное устройство, например, портативную систему The Amnesic Incognito Live System (Tails), представляющую собой дистрибутив Linux на основе Debian, созданную для обеспечения приватности и анонимности. Система предназначена для загрузки с LiveCD или LiveUSB и не оставляет следов на устройстве, на котором использовалась. Все исходящие соединения проходят через сеть TOR, а все неанонимные блокируются [3]. Таким образом, даже в случае взлома основной операционной системы, можно продолжать анонимно работать, используя операционную систему Tails.

Заключение

В настоящее время не выявлено практических эффективных атак, компрометирующих механизмы сети TOR и протокола OTR. Из проведенного анализа методов идентификации пользователей, можно сделать вывод, что использование мессенджеров, позволяющих применять шифрование по протоколу OTR и работающих через анонимные сети TOR, а также создание защищенного соединения и работа с использованием защищенной системы Tails может обеспечить достаточно высокий уровень анонимности. Однако, шифрование трафика и анонимизация пользователя не может быть достаточным условием для достижения максимального уровня анонимности. Для этого необходимо учитывать различные социальные факторы и аспекты, в том числе, когда пользователь сам, осознанно или нет, раскрывает свою анонимность под воздействием методов социальной инженерии.

Список литературы

1. *Goldberg I.* Off-the-Record Messaging. URL: <https://otr.cypherpunks.ca>, дата последнего обращения 06.05.2016.
2. TOR Messenger Beta: Chat over TOR, Easily, URL: <https://blog.TORproject.org>, дата последнего обращения 06.05.2016.
3. TAILS 0.10.1 - The Amnesic Incognito Live System. — 2012. URL: <http://www.tecchannel.de>, дата последнего обращения 06.05.2016.

05.13.18

Е.В. Субботин, А.А. Рыков

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
 электротехнический факультет, кафедра «Конструирование и технологии в электротехнике»,
 Пермь, ktei@pstu.ru

РАСЧЕТ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ НЕИЗОТРОПНЫХ МАТЕРИАЛОВ В УСЛОВИЯХ ТЕМПЕРАТУРНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

В работе построена математическая модель для исследования напряженно-деформированного состояния композиционных материалов в условиях температурного воздействия. Проведен расчет и анализ механических напряжений на границах соприкосновения двух разнородных твердых изотропных материалов, возникающих при тепловом расширении.

Ключевые слова: композиционные материалы, тепловое расширение, механическое напряжение, математическая модель, численное исследование.

В настоящее время композиты, благодаря своим уникальным характеристикам, получили очень широкое распространение. Одним из примеров полимерных композиционных материалов [1], активно применяющихся в различных отраслях современной промышленности, являются углепластики, которые отличаются от традиционных конструкционных материалов сочетанием таких свойств, как высокие удельные прочность и жесткость, низкие коэффициенты линейного термического расширения и трения, высокая износостойкость и устойчивость к воздействию агрессивных сред. Для авиационной промышленности углепластики являются важнейшим материалом, из которого изготавливается широкий спектр изделий самого разного назначения. Например, сердечник, на который намотан оптоволоконный контур (см. рис. 1). Такие узлы широко используются при производстве гироскопов [2], которые во время эксплуатации могут подвергаться температурным воздействиям. В связи с вышесказанным, большой практический интерес представляет расчет механических напряжений [3] на границе двух разнородных материалов, возникающих при нагреве, так как это позволит спрогнозировать поведение изделия в условиях теплового расширения.

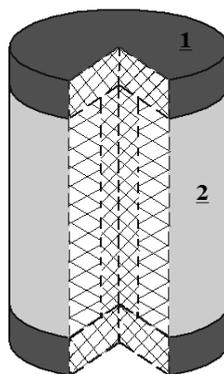


Рис. 1 – Схема катушки с оптоволоконном: 1–сердечник из углепластика, 2–оптоволоконный контур

При математическом описании задачи был использован ряд допущений: модель осесимметричная, волоконный контур является монолитом, нет зазора между сердечником и обмоткой из оптоволоконка.

С учетом перечисленных допущений система дифференциальных уравнений будет выглядеть следующим образом:

$$\frac{\partial \delta_r}{\partial r} + \frac{\partial \tau_{rz}}{\partial z} + \frac{\sigma_r - \sigma_\varphi}{r} = 0; \quad \frac{\partial \tau_{rz}}{\partial z} + \frac{\tau_{rz}}{r} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} = 0; \quad (1)$$

$$\varepsilon_r = \frac{\partial u_r}{\partial r}; \varepsilon_\varphi = \frac{u_r}{r}; \varepsilon_z = \frac{\partial u_z}{\partial z}; \gamma_{rz} = \frac{\partial u_r}{\partial z} + \frac{\partial u_z}{\partial r}; \quad (2)$$

$$\bar{\varepsilon}_r = \varepsilon_r - \alpha_r(T - T_0); \bar{\varepsilon}_\varphi = \varepsilon_\varphi - \alpha_\varphi(T - T_0); \bar{\varepsilon}_z = \varepsilon_z - \alpha_z(T - T_0); \quad (3)$$

$$\delta_{ij} = \lambda \theta \sigma_{ij} + 2\mu \varepsilon_{ij}; \theta = \varepsilon_{kk}; \quad (4)$$

$$\lambda = \frac{\nu E}{(1+\nu)(1-2\nu)}; \mu \equiv G = \frac{E}{2(1+\nu)}; \quad (5)$$

$$\sigma_{rr} = (\lambda + 2\mu)\bar{\varepsilon}_r + \lambda\bar{\varepsilon}_\varphi + \lambda\bar{\varepsilon}_z; \sigma_{\varphi\varphi} = \bar{\varepsilon}_r + (\lambda + 2\mu)\bar{\varepsilon}_\varphi + \lambda\bar{\varepsilon}_z; \quad (6)$$

$$\sigma_{zz} = \bar{\varepsilon}_r + \lambda\bar{\varepsilon}_\varphi + (\lambda + 2\mu)\bar{\varepsilon}_z; \sigma_{rz} = 2\mu\bar{\varepsilon}_{rz};$$

$$\bar{\varepsilon}_r = \frac{\delta_r}{E_r} - \frac{\nu_{r\varphi}}{E_r} \sigma_\varphi - \frac{\nu_{rz}}{E_r} \sigma_z; \bar{\varepsilon}_\varphi = -\frac{\nu_{r\varphi}}{E_r} \sigma_r + \frac{\sigma_\varphi}{E_\varphi} - \frac{\nu_{\varphi z}}{E_r} \sigma_z; \quad (7)$$

$$\bar{\varepsilon}_z = -\frac{\nu_{rz}}{E_r} \sigma_r - \frac{\nu_{\varphi r}}{E_r} \sigma_\varphi + \frac{\sigma_z}{E_r};$$

$$c_{r_z r_z} = G_{r_z} = \frac{E_r}{2(1+\nu_{r_z})}; \quad (8)$$

$$\frac{\nu_{r\varphi}}{E_\varphi} = \frac{\nu_{\varphi r}}{E_r}; \frac{\nu_{rz}}{E_r} = \frac{\nu_{zr}}{E_z}; \quad (9)$$

Систему уравнений необходимо дополнить граничными условиями:

$$\sigma_{\Gamma_1} = \tau_{rz} = 0; \sigma_{\Gamma_2} = \tau_{rz} = 0; \sigma_{z_1} = \tau_{rz} = 0; \sigma_{z_2} = \tau_{rz} = 0; \quad (10)$$

Значения удельной теплоемкости, коэффициента теплопроводности и КЛТР [4] в разных направлениях были получены экспериментально с использованием дифференциального сканирующего калориметра DSC Q2000, анализатора теплопроводности FOX50 и дилатометра DIL802 соответственно. Плотность определялась методом взвешивания. Значения модуля Юнга и коэффициента Пуассона были взяты из справочной литературы. Направление расположения волокон указано на рис. 2. Значения свойств материалов приведены в таблице 1.

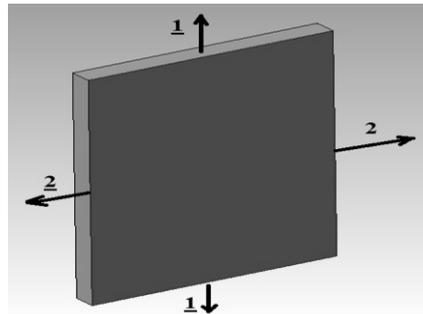


Рис. 2 – Схема расположения волокон: 1–1-продольное направление (Y); 2–2-поперечное направление (X)

Таблица 1 – Свойства углепластика и оптоволоконного контура

Материал	Углепластик		Оптоволоконный контур		Ед. изм.
	X	Y	X	Y	
Теплоемкость	850	850	969	969	$\frac{Дж}{кг \times K}$
Теплопроводность	0,9	1,5	0,7	1,3	$\frac{Вт}{м \times K}$
Плотность	1404	1404	1269	1269	кг/м ³
Модуль Юнга	103,4	68,9	34,5	27,6	ГПа
Коэффициент Пуассона	0,4	0,13	0,4	0,13	-
КЛТР	$2,3410^{-6}$	$2,3410^{-5}$	$7,210^{-5}$	$5,410^{-5}$	$1/K$

В процессе численного эксперимента, который проводился с помощью программного комплекса ANSYS, исследуемый узел нагревался до температуры 100°C.

Результатирующие поля механических напряжений представлены на рисунках 3 и 4.

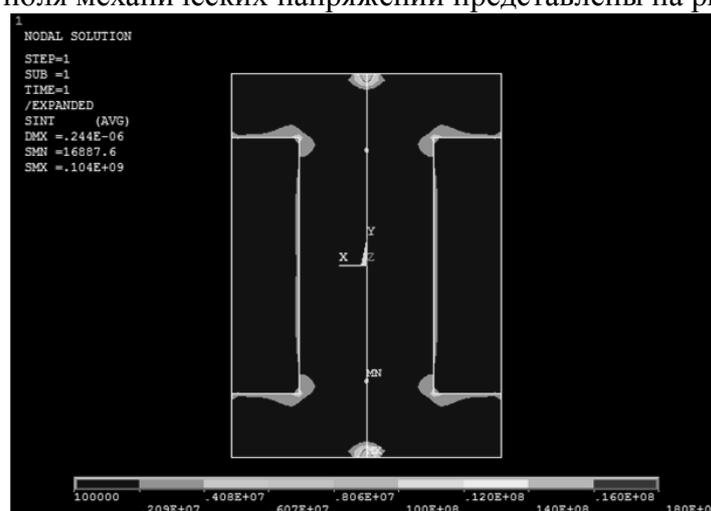


Рис. 3 – Поле механических напряжений в узле при расположении волокон катушки и оптоволоконного контура в поперечном направлении

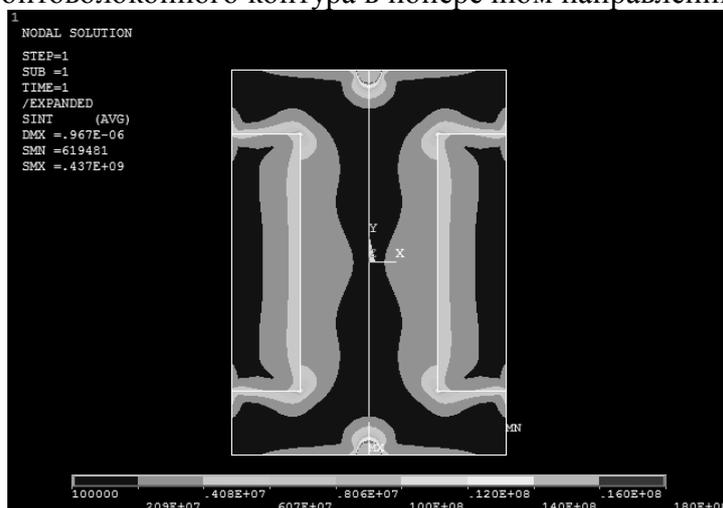


Рис. 4 – Поле механических напряжений в узле при расположении волокон катушки в продольном, а оптоволоконного контура в поперечном направлении

Анализируя результаты математического моделирования, можно сделать следующие выводы:

1) При расположении волокон углепластика и оптоволоконного контура в поперечном направлении (см. рис. 3), значения механических напряжений на границе соприкосновения двух разнородных материалов незначительны;

2) При расположении волокон катушки из углепластика в продольном направлении (см. рис. 4) значения механических напряжений на границе соприкосновения двух разнородных материалов гораздо выше, что объясняется большим значением КЛТР в данном направлении;

Таким образом, при изготовлении исследуемого узла катушку-сердечник следует вырезать из заготовки так, чтобы волокна располагались в поперечном направлении.

Список литературы

1. Кербер М.Л. Полимерные композиционные материалы. Структура. Свойства. Технологии. СПб.: Профессия, 2011. 560 с.
2. Шереметьев А.Г. Волоконный оптический гироскоп. М.: Радио и связь, 1987. 152 с.
3. Елисеев В.В. Механика деформируемого твердого тела. СПб.: Санкт-Петербург, 2006, 231с.
4. Шах В. Справочное руководство по испытаниям пластмасс и анализу причин их разрушения. СПб.: Научные основы и технологии, 2009. 746 с.

05.13.18

¹Н.М. Труфанова д.т.н., ²И.Я. Дятлов

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Электротехнический факультет, Кафедра Конструирование и технологии в электротехнике,
Пермь, Россия

АНАЛИЗ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ПОДЗЕМНОГО КАБЕЛЬНОГО КАНАЛА В РЕЖИМЕ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

В данной работе рассмотрена математическая модель процессов теплопереноса внутри подземного кабельного канала. Были учтены процессы естественной конвекции и радиационного теплообмена между поверхностью кабеля и трубы. В нестационарном режиме рассмотрен процесс трехфазного короткого замыкания в разных кабельных линиях с учетом потерь в экранах.

Ключевые слова: кабельная линия, кабельный канал, короткое замыкание (КЗ), температурное поле кабельной линии.

В качестве объекта численного моделирования выступает подземный кабельный канал (рисунок 1), внутри которого в полиэтиленовых трубах проложены трехфазные кабельные линии среднего напряжения (6 и 35 кВ).

В данном направлении ведутся множество исследований проводимых как отечественными, так и зарубежными учеными.

В работах [1-7] рассмотрены численные решения задач теплопереноса для кабельных линий подземных каналов с учетом различных допущений, форм и геометрий каналов. Однако анализ режима короткого замыкания авторами не рассматривался.

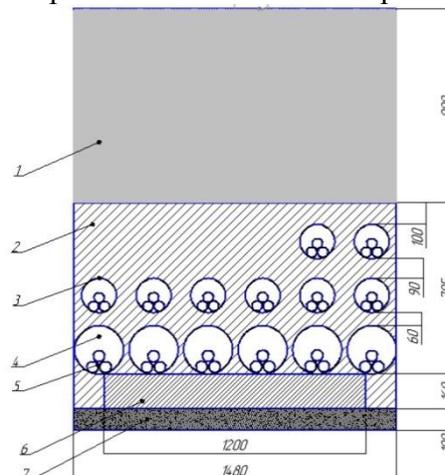


Рисунок 1. Схематическое изображение кабельного канала: 1 – массив земли; 2 – бетонный монолит кабельного канала; 3 – полиэтиленовая труба (для маленькой трубы внешний диаметр равен $d=160$ мм; для большой трубы – $D=225$ мм); 4 – воздушное пространство; 5 – кабельные линии; 6 – железобетонная плита; 7 – песчано-гравийная подсыпка (ПГС).

Для описания процессов теплопереноса внутри кабельного канала необходимо решить нестационарную задачу, которая учитывала бы конструктивные и теплофизические особенности данного сооружения. Общая система дифференциальных уравнений, описывающих совместные процессы электродинамики и теплопереноса аналогична работе [2].

Расчеты проводились методом конечных элементов в программном комплексе инженерных расчетов ANSYS.

На рисунке 2 представлено поле температур кабельного канала при номинальном режиме работы. При протекании тока 110 А наибольшая температура на жилах центральных кабелей составляла 90 °С.



Рисунок 2. Тепловое поле при работе всей кабельной линии, рабочий ток 110 А. (6x35кВ+8x6кВ)

Это обуславливается близким расположением множества источников тепла (работающие кабельные линии) и условиями теплоотвода. На периферии условия отвода тепла благоприятнее, поэтому температура там несколько ниже.

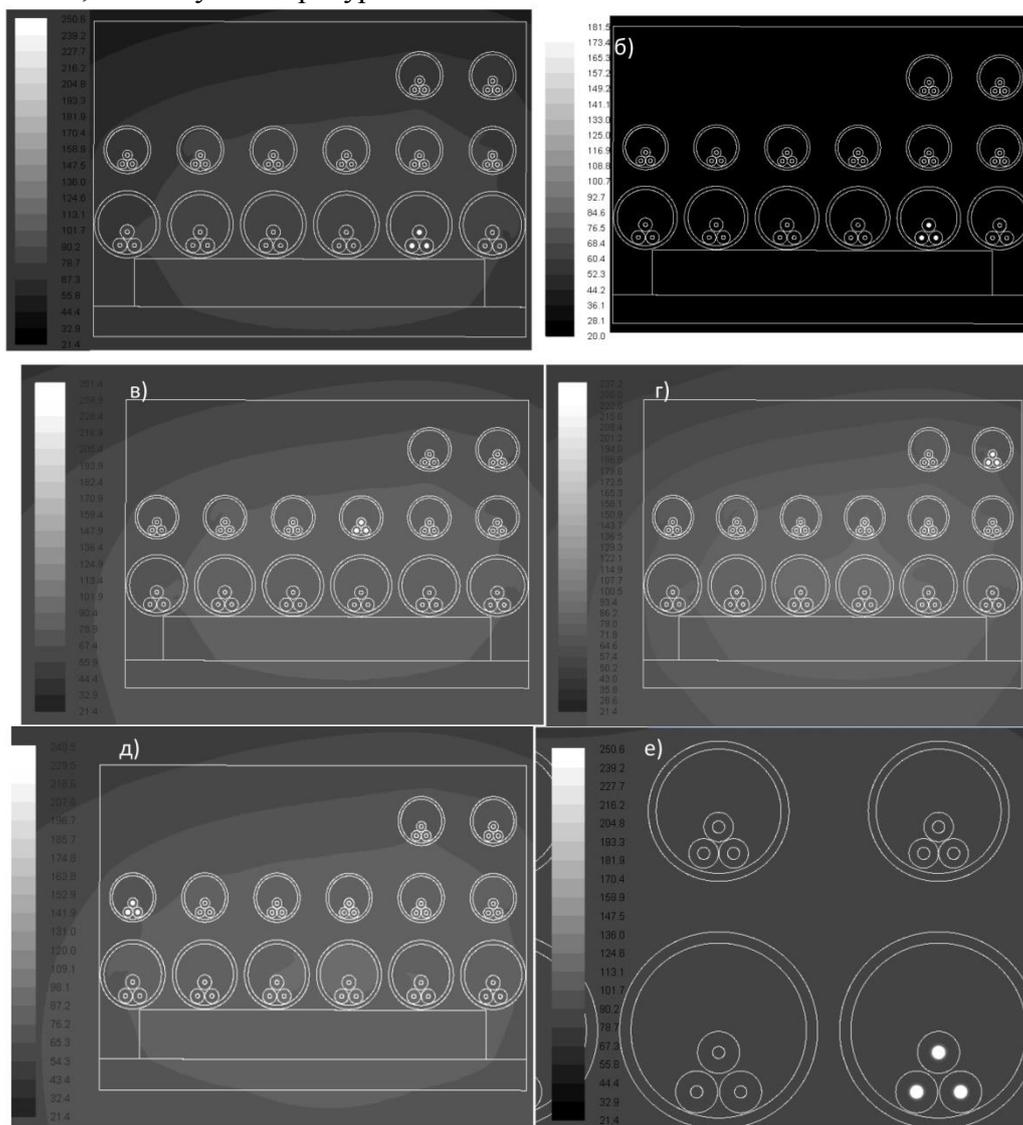


Рисунок 3. Тепловое поле кабельного канала при токе короткого замыкания а,в,г,д,е) с предварительной нагрузкой; б) без предварительной нагрузки.

На рисунке 3а,б рассмотрен случай, когда короткое замыкание произошло на пятой слева 35кВ линии с преднагрузкой и без нее соответственно, при этом ток короткого замыкания составил порядка 6,3кА.

Из рисунка 3е видно, что изоляция не успевает полностью прогреться при кратковременном протекании тока короткого замыкания по жиле. Это связано с малым значением величины теплопроводности изоляции.

В случае короткого замыкания в 6кВ линиях (рисунок 3в,г,д) закономерность распределения температурных полей аналогична предыдущему случаю.

Зависимость температуры на жиле от времени протекания тока короткого замыкания в режиме с предварительной нагрузкой и без нее представлена на рисунке 4.

Из рисунка видно, что в случае вариантов расчета с преднагрузкой и без нее темп роста температуры за пять секунд одинаков, значение температуры вырастает на 160°C, кривые имеют одинаковый наклон, в то время как конечные значения температур отличаются на 69°C.

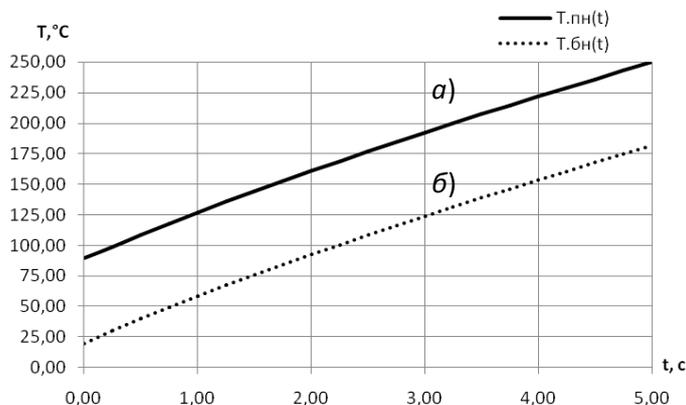


Рисунок 4. Зависимость температуры на жиле от времени короткого замыкания а) с предварительной нагрузкой и б) без предварительной нагрузки.

Одной из важных характеристик работы кабельных линий является зависимость допустимого тока короткого замыкания от времени его протекания. Кривая данной зависимости приведена на рисунке 5.

Как видим, при малом времени воздействия величина допустимого тока КЗ может достигать значительных величин. Допустимым током короткого замыкания принимается такой ток, при котором максимальная температура при заданном времени будет равна кратковременно допустимой. Для данного кабеля она составляет 250°C.

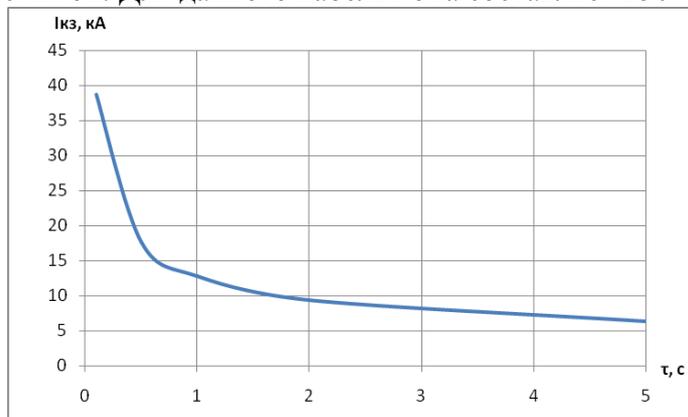


Рисунок 5. Зависимость допустимого тока короткого замыкания от времени его протекания.

На основе полученных данных можно сделать следующие выводы: температура на ТПЖ будет тем выше, чем ближе она расположена к центру системы источников тепла, поэтому защитное оборудование подключенное к центральным кабельным линиям, должно иметь меньшее время отключения, по сравнению с тем оборудованием, что расположено на периферии.

Данным методом можно определять значения тока короткого замыкания, оценивать его термическое воздействие в зависимости от времени протекания, что позволит осуществлять выбор устройств автоматического выключения.

Данные проведенного исследования можно использовать при эксплуатации подобных кабельных линий, производить предварительные тепловые расчеты при их проектировании и выборе защитных устройств. Это крайне важно для повышения эффективности использования кабельных линий и экономии средств при их эксплуатации.

Список литературы

1. *Titkov V.V., Tukeyev P.D.* The Heating Mode Of Cable Transformer With Cooling System.// Journal of Multidisciplinary Engineering Science Studies. Vol.1 Issue 1, November -2015 , page 90-94.
2. *Труфанова Н.М., Навалихина Е.Ю.* Математическое моделирование и управление пропускной способностью кабельных линий в подземном канале// *Электротехника* 2012 №11 с. 11-14.
3. *Розов В.Ю., Квицинский А.А., Добродеев П.Н.* Исследование магнитного поля трехфазных кабельных линий из одножильных кабелей при двустороннем заземлении их экранов.// *Электротехника и электромеханика* Выпуск № 4 / 2015
4. *Труфанова Н.М., Навалихина Е.Ю.* Управление токовой нагрузкой линий в кабельном канале с учетом сложного теплообмена // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук.* – 2012. Т. 14. №4(5). С. 1318–1321.
5. *Егорова Л.А., Рыбакова М.В., Ибрагимов А.М., Акулова М.В.* Физико-математическая постановка задачи о нестационарном переносе тепла в бетонных и железобетонных конструкциях при различном уровне теплового воздействия // *Международный научно-исследовательский журнал* Выпуск № 12-1 (31) / 2014.
6. *I.A. Metwally, A.H. Al-Badi, A.S. Al Farsi* Factors influencing ampacity and temperature of underground power cables// *Electrical Engineering.* December 2013, Volume 95, Issue 4, pp 383-392.
7. *E.Leonardi and J. S. Reizes.* Natural convection heat transfer for variable property fluids using the Boussinesq approximation // *Numerical Methods in Thermal Problems.* 1981. V. 2. P. 978–989.

05.13.18

Е.В. Шаврина

Пермский национальный исследовательский политехнический университет
Пермь, shavrinaevgenya@mail.ru

РАСЧЕТ НЕИЗОБАРИЧЕСКИХ СВЕРХЗВУКОВЫХ СТРУЙ С ПОПРАВКАМИ НА СЖИМАЕМОСТЬ В МОДЕЛИ ТУРБУЛЕНТНОСТИ

В работе представлена модификация стандартной модели k-ε для сверхзвуковой неизобарической струи. Верификация модификации проведена путем моделирования в Ansys CFX с последующим сравнением с экспериментальными данными из открытого источника.

Ключевые слова: *Сверхзвуковое течение, модель турбулентности k-ε, модель турбулентности Саркара, линейная модель турбулентности.*

При проектировании ракетного двигателя, одним из важнейших вопросов является прогнозирование параметров струи, истекающей из соплового аппарата, что чаще всего в инженерной практике осуществляется посредством использования программного пакета ANSYS [1-3]. Благодаря низким затратам вычислительных ресурсов, большую популярность в данном программном пакете получило использование модели турбулентности k-ε. Однако, данная модель не подходит для расчета сжимаемых течений, занижая габариты сверхзвуковых струй и количество бочек Маха (как описано в [4]). Такое искажение приводит к неверной оценке воздействия летательного аппарата на атмосферу, неправильному определению значения сигнала, принимаемого следящими за полетом станциями, и усложнению организации безопасного старта. Следовательно, необходимо ввести изменения в уравнения, описывающие поток для данной модели турбулентности, для учета изменения плотности струи.

Для решения этой задачи, в литературе имеется несколько различных подходов к модификации уравнений путем изменения метода вычисления турбулентной вязкости. В [5] турбулентная вязкость определяется по следующей формуле:

$$\mu_t = \frac{C_\mu \rho k^2}{(1 + M_t^2) \varepsilon} \quad (1)$$

В уравнении переноса турбулентной кинетической энергии необходимо учесть дополнительный отрицательный источник:

$$S_t = -\rho M_t^2 \varepsilon \quad (2)$$

$$M_t = \frac{\sqrt{2 \cdot k}}{a} \quad (3)$$

где M_t – турбулентное число Маха,

a – местная скорость звука,

k – турбулентная кинетическая энергия,

ε – турбулентная диссипация,

ρ – плотность,

C_μ – стандартный коэффициент модели турбулентности k-ε.

В [6] приведена поправка на сжимаемость имеющая линейную зависимость от турбулентного числа Маха, данное изменение модели турбулентности k-ε получило название линейная модель.

В уравнениях, используемых в линейной модели, турбулентная вязкость определяется по формуле:

$$\mu_t = \frac{C_\mu \cdot \rho \cdot k^2}{(1 + 0.29M_t) \cdot \varepsilon} \quad (4)$$

Отрицательный источник в уравнении переноса турбулентной кинетической энергии принимает следующий вид:

$$S_t = -0.29\rho M_t \varepsilon \quad (5)$$

Однако ни линейная модель, ни модель Саркара не предоставляет абсолютно точных значений ключевых параметров струи, таких как: длина струи и количество образующихся дисков Маха, как описано в [7]. Для достижения наилучшего результата в данной статье было принято решение объединить представленные модели, путем учета зависимости значения вводимых поправок от расстояния от источника струи.

Для вывода зависимости величины вводимых поправок от расстояния от источника струи, было принято решение рассмотреть подробнее поправки, вводимые Саркарсом и линейной моделью. Для анализа исследуемых поправок, было проведено моделирование эксперимента, представленного в [8], в программном пакете ANSYS CFX 15. Исследуемый эксперимент представляет собой изучение сверхзвуковой струи. Следует отметить, что степень нерасчетности струи была выбрана равной 0.6.

Как видно из рисунка 1 стандартная модель турбулентности *k-ε* существенно искажает величину длины струи.

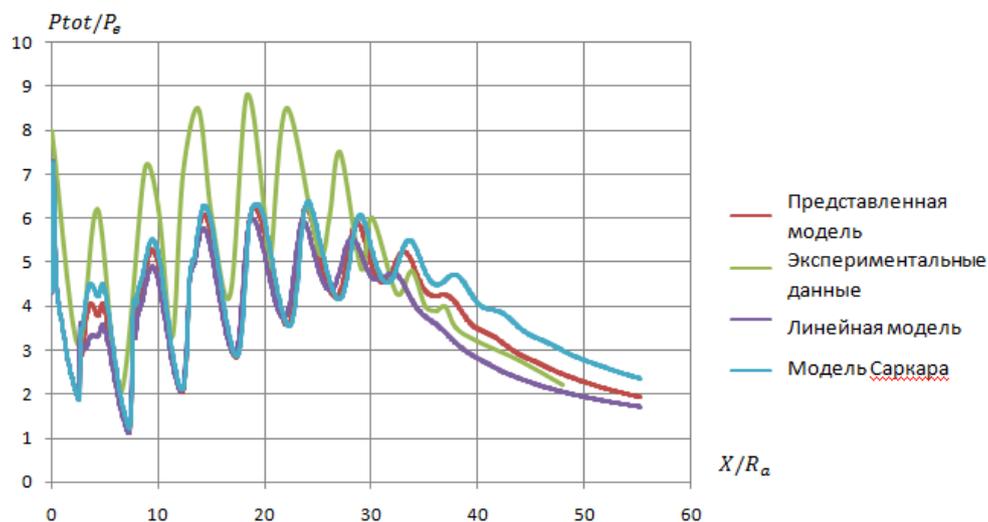


Рис. 1- Изменение относительного полного давления вдоль оси струи

Моделирование с использованием линейной поправки и поправки Саркара позволило выявить, что до $X/R_a=30$ модель Саркара в большей степени соответствует экспериментальным данным, однако именно она завышает длину струи. Таким образом, было выдвинуто предположение, что возможным эффективным способом корректировки модели является моделирование эксперимента до $X/R_a < 30$ с использованием поправок Саркара, а затем с использованием линейной модели. Анализ изменения отрицательного источника в уравнении переноса турбулентной кинетической энергии, показал, что до $X/R_a < 30$ наблюдаются максимальные изменения данной величины, достигающие 25 000.

Таким образом, для более плавного перехода от модели Саркара к линейной модели представляется возможным использовать изменение отрицательного источника, введенного в уравнение переноса турбулентной кинетической энергии, относительно координаты X . То есть, при изменении отрицательного источника по координате X более 25 000 используется поправка Саркара, при изменении по X менее 25 000 используется линейная поправка.

Расчет, проведенный в ANSYS с использованием предложенного объединения моделей, показал, что изменение давления вдоль оси струи стало ближе к экспериментальным значениям, что отображено на рисунке 2. Кроме этого, количество дисков Маха соответствует экспериментальному.

Таким образом, предложенная модификация модели турбулентности действительно позволяет получить результаты, с высокой точностью соответствующие реальной физике сверхзвуковых неизобарических струй. Данное обстоятельство показывает, что предложенное решение найдет применение во многих инженерных задачах, требующих достаточно точных решений при ограничениях в вычислительных и временных ресурсах.

Список литературы

1. Платонов И.М. Решение задачи горения водорода в сверхзвуковом потоке с помощью модуля Ansys CFX. "Труды МАИ" 2015, выпуск №82, с.1-13.
2. Запрыгаев В.И., Кавун И.Н., Кундасев С.Г. Расчетно-экспериментальное исследование газодинамической структуры сверхзвуковой перерасширенной струи. Вестник НГУ. Серия: Физика 2013, том 8, выпуск 4, с.84-91.
3. Москвичев А.В. Применимость моделей турбулентности, реализованных в ANSYS CFX, для исследования газодинамики в щелевом канале ТНА ЖРД, Вестник Воронежского государственного технического университета 2013, том 9, выпуск № 5-1, с.82-85.
4. Сафронов А.В. О применимости моделей турбулентной вязкости для расчета сверхзвуковых струйных течений. Физико-химическая кинетика в газовой динамике 2012, том 13, выпуск 1, с.1-17.
5. Sarkar S., Erlebacher G., Hussaini M.Y., Kreiss H.O. The analysis and modelling of dilatation terms in compressible turbulence. J. Fluid Mech. 1991, Vol.227, pp.473-493.
6. Глебов Г.А., Молчанов А.М. Модель турбулентности для расчета высокоскоростных реагирующих струй. - В кн. Исследование теплообмена в летательных аппаратах – М.: МАИ, 1982, стр.6-11.
7. Молчанов А.М. Расчет сверхзвуковых неизобарических струй с поправками на сжимаемость в модели турбулентности, "Вестник Московского авиационного института" 2009, том 16, выпуск №1.
8. Zapryagaev V.I., Kudryavtsev A.N., Lokotko A.V. and others. An experimental and numerical study of a supersonic jet shock-wave structure. 11-th International Conference on the Methods of Aerophysical Research (ICMAR-2002) (Novosibirsk, Russia, July 1-7, 2002).: Proc.. Novosibirsk: Nonparel, 2002. P. 185-191

05.13.01

Е.С. Якуба¹, В.С. Тынченко¹, В.В. Бухтояров², В.В. Тынченко³

Сибирский государственный аэрокосмический университет
имени академика М.Ф. Решетнева, институт информатики и телекоммуникаций,
¹кафедра информационно-управляющих систем, Красноярск, vadimond@mail.ru
²кафедра безопасности информационных технологий, Красноярск, vladber@list.ru
³кафедра информатики и вычислительно техники, Красноярск, 051301@mail.ru

СИСТЕМА АНАЛИЗА ДОКУМЕНТАЦИИ ПО ГОСУДАРСТВЕННЫМ ЗАКУПКАМ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ OLAP

В работе рассматривается проблема проведения анализа информации по государственным закупкам, полученной посредством официального сайта единой информационной системы в сфере закупок. В качестве средства анализа предлагается использование OLAP-технологии, а в качестве инструмента – программные средства компании Microsoft. Представляются алгоритмы работы предлагаемой автоматизированной системы и ее внешний вид.

Ключевые слова: госзакупки, тендеры, OLAP, анализ данных.

Введение

Нарастающая популярность тендеров и тендерных конкурсов, на данный момент вызывает много разговоров в российских компаниях. Данная заинтересованность вызвана тем, что тендеры стали проводить не только государственные учреждения, но и обычные компании, в целях получить оптимальных подрядчиков по критериям «цена/качество». Только за 2015 год информации об извещениях было подано на сумму 23 076 332 рубля, а количество зарегистрированных заказчиков измеряется в 74 130 штук.[1]

Однако сбор информации и нахождение нужных конкурентных документов не оптимизированы и производятся вручную.

Таким образом, можно утверждать, что вопросы, касающиеся удобства сбора, хранения и представления информации из конкурентных документов, а также вопросы прогнозирования, анализа и отчетности по ним на сегодняшний день являются актуальными.

Предлагаемый подход

Для решения поставленных задач предлагается разработать систему, которая могла бы не только собирать данные по конкурентным документам, но и проводить анализ и выдавать расширенные отчеты, а так же обеспечивать пользователей удобным представлением данных. Все это возможно реализовать посредством технологии OLAP.

Подход к построению баз данных OLAP нацелен на выборку и обработку данных наиболее эффективным способом и заключается в подготовке агрегированной информации на основе больших массивов данных, структурированных по многомерному принципу. [2]

Для реализации системы была выбрана реляционная OLAP, которая позволяет работать с реляционными базами данных. Обращение к данным осуществляется напрямую в реляционную базу данных. Данные хранятся в виде реляционных таблиц. [3]

Хранилище данных будет наполняться информацией, полученной из открытого ftp-сервера портала государственных закупок zakupki.gov.ru. На основе этого хранилища будет строиться куб данных, с которым в дальнейшем может работать клиент посредством пользовательского интерфейса: получать графики и отчеты.

В работе будет использоваться набор технологий от Microsoft: MS SQL Server 2012 R2, надстройка Analysis Services и MS Visual Studio 2015.

Автоматизированная система анализа документации

Архитектура сервиса представлена на рисунке 1.

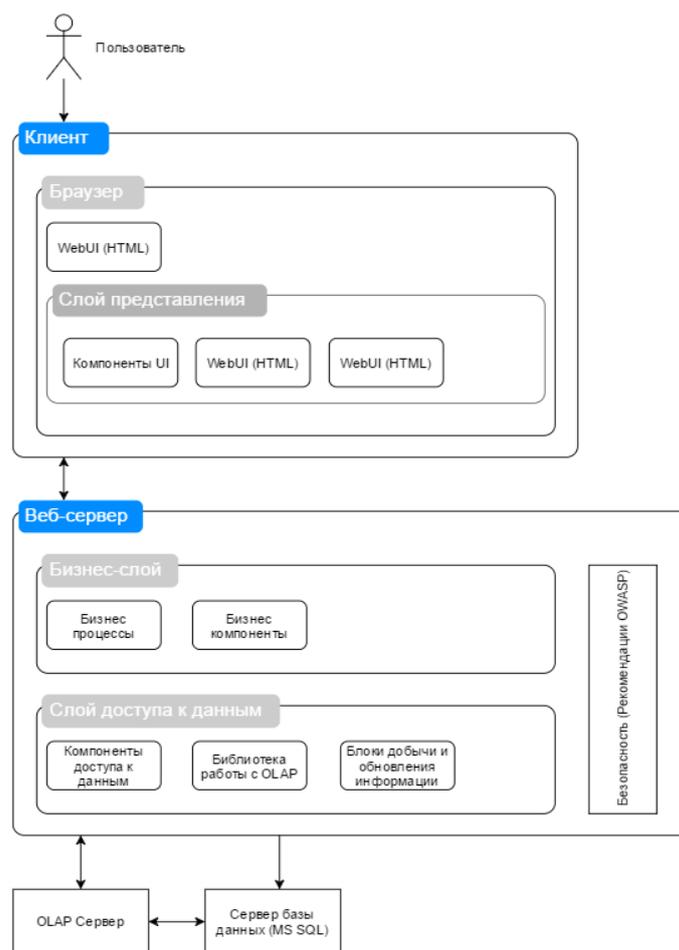


Рисунок 1 - Архитектура сервиса

На первоначальном этапе требуется решить вопросы получения информации о тендерах. У всероссийского официального сайта есть два ftp сервера с открытым доступом. Один сервер предназначен для ФЗ №223 - ftp.zakupki.gov.ru/out/, а другой для ФЗ №94 и ФЗ №43 - ftp.zakupki.gov.ru.

На серверах довольно сложная файловая структура, однако в системе будут использованы только данные по извещениям (папки notifications). В каждой папке с извещениями есть папка, под названием daily. В этой папке хранятся xml документы для заявок, которые были поданы за день. Поэтому чтобы обеспечить систему информацией требуется ежедневное скачивание xml файлов по каждому региону, их дальнейший разбор и обновление таблиц данных.

Для формирования OLAP куба создается хранилище данных, реализованное по схеме «звезда» (рисунок 2).

Для построения куба применяются инструменты MS VisualStudio и AnalysisServices по следующему алгоритму:

1. Создание Analysis Services Project;
2. Задание источника данных;
3. Перенос структуры данных в проект или создание DataSourceView;
4. Задание всех необходимых измерений;
5. Создание куба с указанием всех мер;
6. Выгрузка куба на сервер.

Для того чтобы работать с кубом программно нужно воспользоваться библиотекой ADOMD.NET [4]. Изначально необходимо определить куб и найти его измерения. В дальнейшем требуется задавать MDX запросы для обращения к кубу и выдачи данных для отчетов. MDX запросы генерируются на клиенте пользователем и отправляются на сервер, после чего обрабатываются и возвращаются в виде данных для отчетов. Алгоритм обработки MDX запросов представлен на рисунке 3.

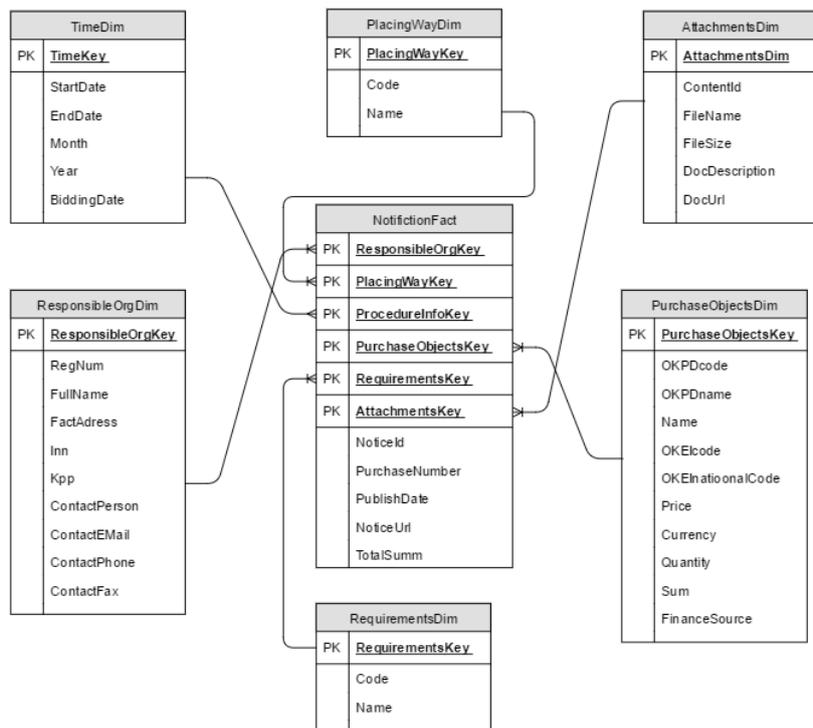


Рисунок 2 - Схема базы данных

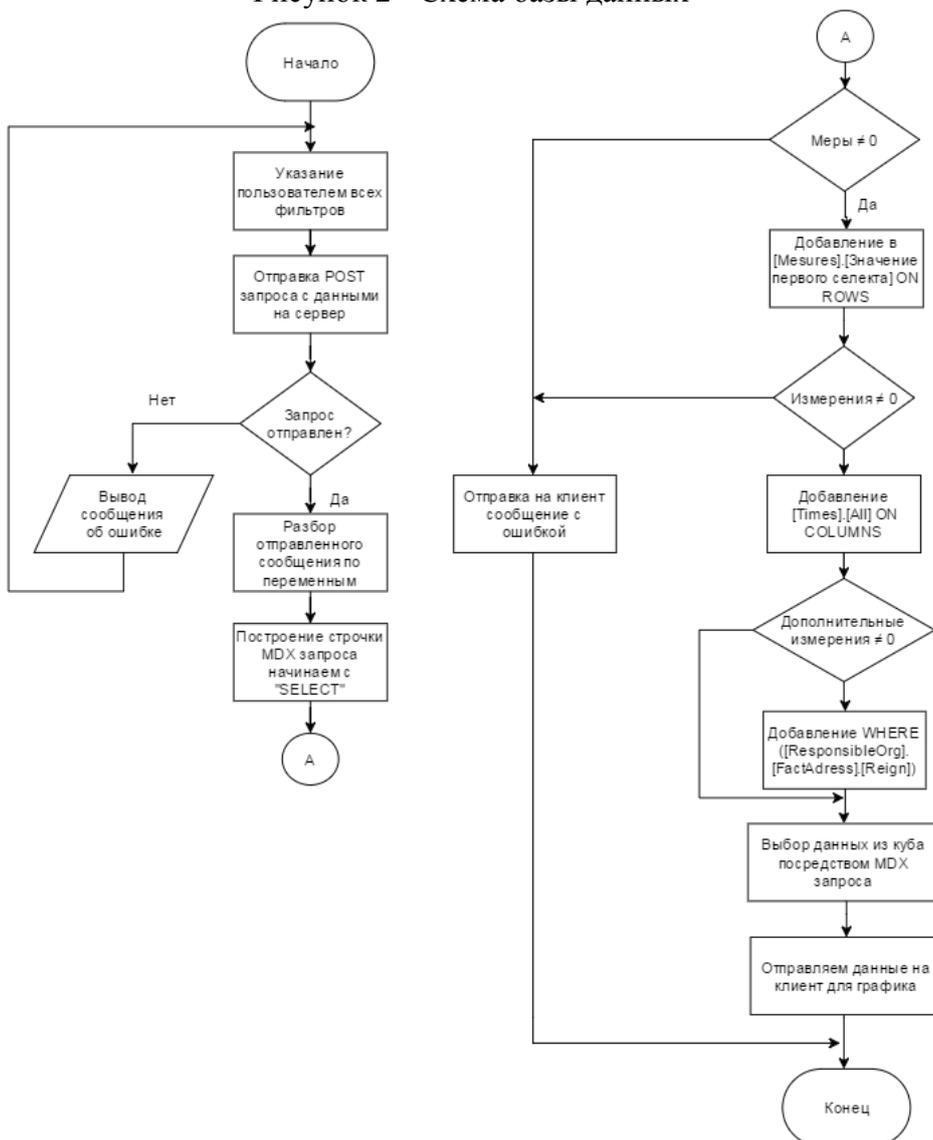


Рисунок 3 – Алгоритм обработки MDX запросов

На рисунке использованы следующие обозначения:

- [Measures] – элемент MDX запроса объявляющий меры;
- [Time] – элемент MDX запроса объявляющий измерение времени;
- [ResponsibleOrg] – элемент MDX запроса добавляющий дополнительное измерение организаций;
- [FactAdress] – адрес организации ;
- [Reign] – регион организации.

Для отчетов и наглядного представления данных в виде графика в системе используется библиотекаD3.js.

Внешний вид разработанной автоматизированной системы представлен на рисунке 4.

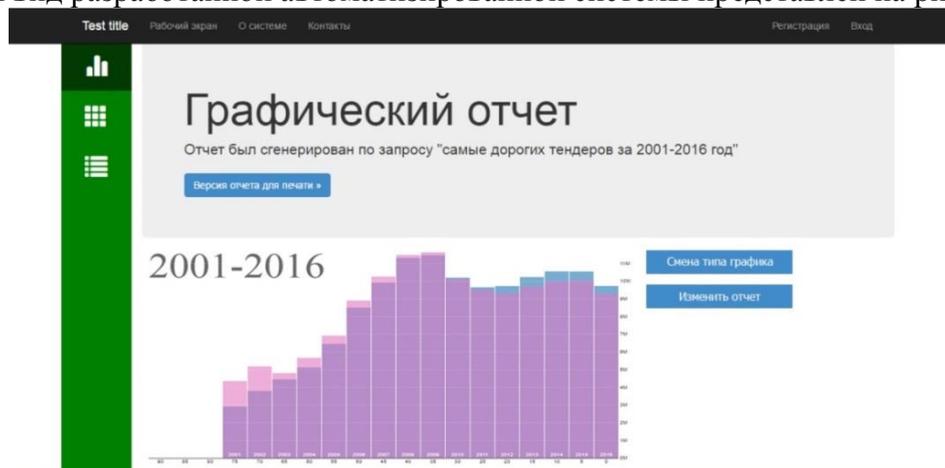


Рисунок 4 - Скриншот системы

Выводы

В работе было проведено исследование проблемы анализа информации по государственным закупкам. Предложенный подход основывается на использовании информации, полученной с сайта единой информационной системы в сфере закупок, и ее последующей обработке на основе OLAP-технологии средствами MS SQL Server 2012 R2 и MS Visual Studio 2015.

Разработанное программное обеспечение позволяет в автоматизированном режиме обновлять информацию по текущим тендерам, генерировать графические отчеты по запросу пользователей для дальнейшего анализа.

Список литературы

1. Официальный сайт единой информационной системы в сфере закупок (<http://zakupki.gov.ru/epz/main/public/home.html>)
2. Intuit. Лекция введение в OLAP (<http://www.intuit.ru/studies/courses/568/424/lecture/9641?page=2>)
3. Bach Pedersen, Torben; S. Jensen, Christian (December 2001). "Multidimensional Database Technology". Distributed Systems Online (IEEE): 40–46.
4. Разработка с использованием ADOMD.NET ([https://msdn.microsoft.com/ru-ru/library/ms123483\(v=sql.120\).aspx](https://msdn.microsoft.com/ru-ru/library/ms123483(v=sql.120).aspx))

**АННОТАЦИИ
ABSTRACTS****С.И. Абакумова, М.С. Апостолиди
РАССМОТРЕНИЕ НЕКОТОРЫХ МЕТОДОВ ОТЫСКАНИЯ
ОСНОВНОЙ ЕДИНИЦЫ**

Ключевые слова: основная единица, кубические поля, дзета-функция, идеалы.

Одной из главных задач теории алгебраических полей является построение системы основных единиц. В настоящей статье проведен анализ метода Вельмина и конструкции Поклингтона нахождения единиц чисто кубических полей. Дан обзор методик этих методов. Использована $J_k(\zeta)$ -дзета-функция Дедекинда поля, составлено уравнение, содержащее бесконечное произведение по возрастающим рациональным простым числам p . В результате решения уравнения найдено K , при котором $\sqrt[k]{\eta}$ будет числом кубического поля. Задан алгоритм преобразований и обнаружен множитель пропорциональности. Решены примеры вычисления конкретных единиц чисто кубических полей.

**Е.А. Вячкина, Р.В. Петров, В.О. Каледин, Е.С. Вячкин
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСЧЕТА ПЛАТЫ ЗА
ВЫБРОСЫ ПРИ ПОЖАРЕ В СТРОИТЕЛЬНЫХ
ОБЪЕКТАХ**

Ключевые слова: химический состав, математическая модель, зональный метод, интегральный метод, полевой метод, выбросы, скорость, температура.

Рассматривается получение математической модели оценки выбросов при горении строительных объектов. Модель содержит физическую и химическую составляющие. Физическая часть модели основана на ГОСТ 12.1.004-91СБТ "Пожарная безопасность. Общие требования", принятом в 1991 году, и позволяет рассчитать скорость распространения и температуру пожара, химическая же часть позволяет учесть при горении химический состав конструкционных и отделочных материалов. Полученная математическая модель может быть использована для прогноза выбросов при пожаре и оценки максимально возможного времени, которое можно находиться в помещении без серьезной угрозы для здоровья, а также может быть модернизирована для расчета выплат за загрязнения окружающей среды после пожара на предприятии.

**Н.Н. Дондукова, Б.В. Зятуев
КОНТАКТНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ
МНОГООБРАЗИЙ КЕНМОЦУ**

Ключевые слова: почти контактные структуры, геодезические преобразования, многообразие Кенмоцу.

В статье представлено доказательство контактного аналога результата Уэстлейка и Яно для многообразия Кенмоцу. А именно, доказано, что многообразие Кенмоцу не допускает контактно-геодезических преобразований, отличных от тривиальных.

**В.В. Дружинин, А.А. Лазарев
СУММЫ ОБОБЩЕННЫХ АРИФМЕТИЧЕСКИХ
ПРОГРЕССИЙ С ДРОБНЫМИ СТЕПЕНЯМИ**

Ключевые слова: сумма членов арифметической прогрессии, суммы одинаковых дробных степеней натуральных чисел. Получены формулы для расчета сумм натуральных чисел в одинаковых дробных степенях с интервалом и начальным числом «1». Приведены расчетные формулы для сумм произвольных степеней с указанием погрешности. Рассмотрены приложения полученных результатов.

**В.Г. Шармин, Т.Н. Шармина
ОБ ОДНОМ СВОЙСТВЕ L - ПОЛЯРНЫХ
ГИПЕРПОВЕРХНОСТЕЙ****S.I. Abakumova, M.S. Apostolidi
CONSIDERATION OF SOME METHODS OF FINDING
THE BASIC UNIT**

Keywords: basic unit, cubic fields, Zeta function, ideals.

One of the main problems of the theory of algebraic fields is to build a system of core units. In this article the analysis and design of the Poklingtona and Vel'mina method of finding pieces of purely cubic field. Review the methods these methods. Used-Dedekind zeta function fields, created an equation that contains an infinite work growing rational prime numbers r . As a result, the solutions of the equation found to where is the number of cubic fields. Set the algorithm change and found a multiplier of proportionality. Solved examples of calculations of specific units of pure cubic field.

**E.A. Vyachkina, R.V. Petrov, V.O. Kaledin, E.S. Vyachkin
MATHEMATICAL MODEL FOR CALCULATING BOARD
FIRE FOR EMISSIONS OF BUILDING OBJECTS**

Keywords: chemistry, mathematical model, the zone method, integral method, field method, emissions, speed, temperature.

Consider getting a mathematical model to estimate emissions during combustion of construction projects. The model contains physical and chemical components. The physical part of the model is based on GOST 12.1.004-91SSBT "Fire Safety. General requirements", adopted in 1991, and allows you to calculate the velocity of propagation of fire and the temperature, the chemical part of the same allows to take into account during the combustion chemistry of construction and finishing materials. The resulting mathematical model can be used in case of fire emissions forecasting and evaluating the maximum possible time, which can be in a room without a serious threat to health and can be upgraded for the calculation of payments for environmental pollution after a fire at the plant.

**N.N. Dondukova, B.V. Zayatyuev
CONTACT-GEODESIC TRANSFORMATIONS OF
KENMOTSU MANIFOLD**

Keywords: almost contact structures, geodesic transformations, Kenmotsu manifolds.

This article presents the proof of the contact analog of the result of Westlake and Yano for Kenmotsu manifolds. Namely, it is proved that the Kenmotsu manifolds does not permit contact-geodesic transformations, different from trivial.

**V.V. Druzhinin, A.A. Lazarev
SUM OF GENERALIZED ARITHMETIC PROGRESSIONS
WITH FRACTIONAL DEGREES**

Keywords: the sum of the terms of an arithmetic progression, the sum of the same fractional exponents natural numbers. The formulas to calculate sums of natural numbers from an interval and the initial number "1" in the same arbitrary fractional degrees. Calculation of formulas for sums of arbitrary degrees indicating the error. We consider the applications of the obtained results.

**V.G. Sharmin, T.N. Sharmina
ABOUT SINGLE PROPERTY OF L - POLAR
HYPERSURFACES**

Ключевые слова: гиперповерхность, поляритет, квадрика, кривизна Гаусса-Кронекера.

В работе рассматриваются свойства гиперповерхностей в евклидовом пространстве E^{n+1} . Получена формула, связывающая кривизны Гаусса-Кронекера гиперповерхностей, полярных относительно некоторых квадрик.

Keywords: hypersurface, polarity, quadric, curvature Gauss-Kronecker.

The article deals with the properties of hypersurfaces in Euclidean space E^{n+1} . Obtained the formula relating the curvature Gauss-Kronecker of hypersurfaces, which are polar relative to some quadrics.

О.Ю. Богомолова, М.П. Данилаев
ПАРАМЕТРЫ ТЕЧЕНИЯ МНОГОФАЗНЫХ ГАЗОВЫХ ПОТОКОВ В ЗАДАЧЕ КАПСУЛИРОВАНИЯ СУБМИКРОННЫХ ЧАСТИЦ ПОЛИМЕРОМ

Ключевые слова: многофазные газовые потоки, число Рейнольдса, капсулирование, субмикронные частицы.

В работе формализованы требования к параметрам течения многофазных газовых потоков, при которых осуществляется капсулирование субмикронных частиц полимером. Экспериментальные исследования подтвердили формирование сплошной полимерной оболочки при параметрах течения потоков, удовлетворяющих требованиям.

O.Yu. Bogomolova, M.P. Danilaev
PARAMETERS OF MULTIPHASE GAS FLOWS FOR ENCAPSULATION OF SUBMICRON PARTICLES WITH POLYMER

Keywords: multiphase gas flows, Reynolds number, encapsulation, submicron particles.

The requirements for parameters of multiphase gas flows for encapsulation of submicron particles with polymer are formalized in this paper. Experimental studies confirmed formation of a continuous polymer shell under flows parameters that satisfy the requirements.

А.П. Буйносов, И.В. Умылин

О РАЗРАБОТКЕ ОГРАНИЧИТЕЛЯ ТОКА ЗАРЯДКИ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ НА ЭЛЕКТРОПОЕЗДАХ

Ключевые слова: электропоезд, аккумуляторная батарея, схема, зарядка, ток, ограничитель, разработка.

В статье рассматриваются наиболее значимые условия работы аккумуляторных батарей, новая перспективная разработка, найден путь решения проблемы по ограничению тока зарядки аккумуляторных батарей на электропоездах постоянного тока.

A.P. Buinosov, I.V. Umylin

ABOUT DEVELOPMENT OF THE LIMITER OF CURRENT OF CHARGING OF RECHARGEABLE BATTERIES ON ELECTRIC TRAINS

Keywords: electric train, rechargeable battery, scheme, charging, current, limiter, development.

In article the most significant operating conditions of rechargeable batteries, new perspective development are considered, the problem solution on restriction of current of charging of rechargeable batteries on electric trains of a direct current is found.

Г.Е. Кокиева

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ РОСТА МИКРОБНЫХ КЛЕТОК ОТ КОНЦЕНТРАЦИИ БИОМАССЫ В ПРОЦЕССЕ ПОЛУЧЕНИЯ КОРМОВЫХ ДРОЖЖЕЙ

Ключевые слова: рост микроорганизмов, микробная клетка, кормовые дрожжи, технология производства.

Проведены исследования в области переработки отходов сельского хозяйства. Исследована зависимость роста микробных клеток от концентрации биомассы в процессе получения кормовых дрожжей. Установлено, что если продукт связан с ростом культуры, то его количество прямо пропорционально образованной биомассе. Она будет являться производительностью ферментатора, которая определяется как произведение удельной скорости роста и концентрации клеток.

G.E. Kokieva

DEPENDENCE OF GROWTH MICROBIAL BIOMASS CONCENTRATION DURING THE PRODUCTION OF FODDER YEAST

Keywords: height of microorganisms, microbial cage, forage yeasts, technology of production.

Conducted research in area of processing of wastes of agriculture. Dependence of height of microbial cages is investigational on the concentration of биомассы in the process of receipt of forage yeasts. It is set that if a product is related to the height of culture, then his amount in direct ratio well-educated биомассе. Appearing биомасса for the determined amount of time will be the productivity of fermentator, that is determined as work of specific speed of height and concentration of cages.

Е.А. Новикова, А.В. Жданов, А.Б. Иванченко, И.В. Шинаков
ПРОБЛЕМЫ СОЗДАНИЯ ПРЕЦИЗИОННЫХ МЕХАНИЗМОВ ПОСТУПАТЕЛЬНОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ ОПТОМЕХАНИКИ

Ключевые слова: механизм поступательного перемещения, роликвинтовой механизм (РВМ), оптомеханика, мехатронный привод.

В статье проводится анализ проблем создания механизмов поступательного перемещения, используемых в оптических и оптомеханических столиках. Приводятся перспективные устройства и схемы построения приводов таких устройств, предлагаются мероприятия по повышению точности и стабильности перемещений.

E.A. Novikova, A.V. Jdanov, A.B. Ivanchenko, I.V. Shinakov
PROBLEMS OF THE PRECISION MECHANISMS FOR TRANSLATION OF THE OPTOMECHANICS PROMISING DIRECTIONS

Keywords: mechanism of translation, roller screw mechanism, optomechanics, mechatronic drive.

The article analyzes the problems of establishing mechanisms of translation used in the optical and optomechanical tables. Are promising devices and circuits of the drives of such devices include measures to improve the accuracy and stability of movement.

Э.А. Петровский, М.Н. Медведев

ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ТРУБОПРОВОДНОГО ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ НЕФТИ ПРИМЕНЕНИЕМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО АКТИВАТОРА ЖИДКИХ СРЕД

Ключевые слова: активатор, тиксотропия, парафин, надежность.

В работе предложен метод обеспечения надежности

E.A. Petrovsky M.N. Medvedev

ENSURING THE RELIABILITY OF PIPELINE TRANSPORTATION OF CRUDE OIL BY USING AN ELECTROMAGNETIC FLUID ACTIVATOR

Keywords: activator, thixotropy, paraffin, and reliability.

In this paper, there is a proposal of the method to ensure the reliability of pipeline transportation, due to the development of

трубопроводного транспортирования, за счет разработки гидродинамического активатора с электромагнитным приводом. Приведен принцип работы разработанного устройства.

the hydrodynamic activator with an electromagnetic drive. The principle of already developed device is provided.

А.А. Плющик, Е.А. Сопов, В.В. Бухтояров
ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ПРОЦЕССА БУРЕНИЯ
ПУТЕМ ОПТИМИЗАЦИИ УПРАВЛЯЕМЫХ
ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА БУРЕНИЯ

Ключевые слова: надежность, оптимизация, процесс бурения, математическая модель процесса бурения.

В работе предложен метод повышения надежности процесса бурения. Установлена зависимость управляемых параметров процесса бурения, их влияние на надежность. Проведен анализ зависимости времени работы долота от частоты вращения и осевой нагрузки на долото.

A.A. Plyuschik, E.A. Sopov, V.V. Buhtoyarov
IMPROVING RELIABILITY OF THE DRILLING PROCESS
BY OPTIMIZING CONTROLLED PARAMETERS OF THE
DRILLING MODE

Keywords: reliability, optimization, drilling process, mathematical model of the drilling process.

The paper proposes a method of improving reliability of the drilling process. The dependence of controlled parameters of the drilling process and parameters influence on the reliability are described. Analysis of the time-dependence of the rotational speed, axial load of the bit operations is presented.

П.М. Салов, В.Н. Цай, С.С. Сайкин, Д.А. Юрпалов,
Т.Г. Виноградова, Н.В. Мулюхин, Е.А. Андреева,
Е.В. Антонова, Д.П. Салова

ДЕФОРМАЦИИ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ ПРИ
ШЛИФОВАНИИ

Ключевые слова: деформации, ограниченная жесткость, точность обработки, прогиб, угол поворота, шпиндельный узел, перебеж, консольная оправка.

В работе сделан анализ работ по определению деформаций в приводах главного движения. Приведена расчетная схема по определению деформаций в технологических системах с ограниченной жесткостью. Анализировалась зависимость между углом поворота торца консольной оправки и линейной деформацией. Найдены зависимости для расчета перебега круга за края отверстия

П.М. Salov, V.N. Tsay, S.S. Saykin, D.A. Yurpalov,
T.G. Vinogradova, N.V. Muliukhin, E.A. Andreeva,
E.V. Antonova, D.P. Salova

STRAIN IN GRINDING PROCESS IN THE SYSTEM

Keywords: hardness, machining accuracy, compliance, deformation, bending, cross-sectional angle of rotation, spindle, overrun.

The paper made an analysis work to determine deformations in the main drive. The calculated scheme to identify strains in technological systems with reduced stiffness. Analyzed the relationship between the angles of rotation of the cantilevered end of the mandrel. The dependences for calculating the range of the overrun of the edge of the hole.

А.В. Степенькин, Д.О. Кочетов, И.В. Шинаков, А.В. Жданов
СМЕЩЕНИЕ РЕЗЬБЫ ЭЛАСТИЧНОГО ЭЛЕМЕНТА
РОЛИКОВИНТОВОГО МЕХАНИЗМА

Ключевые слова: роликвинтовой механизм (РВМ), эластичный элемент, смещение винтовой линии.

В статье приводятся результаты математического анализа смещения винтовой линии эластичного элемента роликвинтового механизма. Эластичные элементы, которые предназначены для выборки зазоров, перераспределения нагрузки по виткам резьбы, уменьшения проскальзывания между резьбовыми элементами, повышения жесткости и кинематической точности.

A.V. Stepenkin, D.O. Kochetov, I.V. Shinakov, A.V. Jdanov
OFFSET OF THE THREAD ELASTIC MEMBER OF
ROLLER SCREW MECHANISM

Keywords: roller screw mechanism, elastic element, the offset helix.

The article presents the results of mathematical analysis of the displacement of helix elastic element, a roller screw mechanism. Resilient elements that are intended for sampling gaps load redistribution of the threads decrease slippage between the thread elements stiffening and kinematic precision.

Ю.Н. Сургутанова, Н.А. Сургутанов, Н.Н. Микушев,
П.Е. Киселев, П.А. Шляпников, А.А. Мещерякова
ЗАВИСИМОСТЬ ПРЕДЕЛА ВЫНОСЛИВОСТИ
ОБРАЗЦОВ С НАДРЕЗАМИ ОТ ТОЛЩИНЫ
УПРОЧНЁННОГО ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ

Ключевые слова: образцы различного диаметра, поверхностное упрочнение, предел выносливости, критерий среднеинтегральных остаточных напряжений.

Проведённое исследование показало, что при опережающем поверхностном пластическом деформировании увеличение толщины слоя со сжимающими остаточными напряжениями гладких образцов приводит к повышению предела выносливости образцов с надрезами за счёт увеличения сжимающих остаточных напряжений в их опасном сечении. С увеличением диаметра образцов при одной и той же упрочняющей поверхностной обработке толщина слоя со сжимающими остаточными напряжениями возрастает за счёт повышения жёсткости образцов. Оценка приращения предела выносливости поверхностно упрочнённых цилиндрических образцов с круговыми надрезами полукруглого профиля даёт приемлемые для практики результаты, что позволит значительно сократить длительные и дорогостоящие испытания на усталость.

Yu.N. Surgutanova, N.A. Surgutanov, N.N. Mikushev,
P.E. Kiselev, P.A. Shlyapnikov, A.A. Meshcheryakova
FATIGUE POINT DEPENDENCE OF NOTCHED
SPECIMENS UPON THE THICKNESS OF HARDENED
SURFACE LAYER

Keywords: different diameters specimens, surface hardening, fatigue point, average integral residual stresses criterion.

The undertaken research has shown that the advance of surface plastic deformation increase in layer thickness with compressive residual stress smooth specimens leads to increased fatigue strength in notched specimens at the expense of increasing the compressive residual stresses in their dangerous section. With the increase in the diameter of the samples at the same hardening surface treatment of layer thickness with compressive residual stress is increased by increasing the hardness of the samples. Evaluation increment of fatigue point of surface hardened cylindrical samples with circular incisions semicircular profile gives acceptable results in practice that will significantly reduce the lengthy and costly fatigue tests.

А.В. Алексеев

ОПЫТ СОЗДАНИЯ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ЛАБОРАТОРИИ В
ТЕХНИЧЕСКОМ ВУЗЕ

Ключевые слова: лаборатория, НИИ, живые системы,
биофотоника.

В работе описаны результаты сотрудничества различных научно-исследовательских образовательных учреждений и создание междисциплинарной межведомственной лаборатории в техническом университете.

А.П. Буйносов, Д.С. Денисов

ПРИБОР ДЛЯ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО МЕТОДА
КОНТРОЛЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ РЕЛЬСОВ

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, рельс,
метод, контроль, неразрушающий, прибор.

В статье приведены принцип работы разработанного прибора для неразрушающего метода контроля качества металла рельсов, использование которого позволит повысить безопасность движения поездов, корректировать процессы нагрева и охлаждения для обеспечения необходимого качества термоупрочнения рельсов.

М.П. Данилаев, Н.В. Дорогов, Е.А. Богослов, В.И. Гурьев
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ СТЕНД ПО ОТРАБОТКЕ
УПРАВЛЕНИЯ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОТЕПЛОЙ
ПРОТИВООБЛЕДЕНИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМОЙ
ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Ключевые слова: интегральная противообледенительная
система.

В работе приведены результаты исследования интегральной противообледенительной системы (ИПОС). Показано, что применение ИПОС позволяет снизить энергозатраты на борьбу с обледенением по сравнению с существующими электротепловыми ПОС ~30%.

В.А. Казаров, О.Г. Морозов, Л.М. Сарварова, И.И. Нуреев
КОМПЛЕКСИРОВАННЫЙ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЙ
ДАТЧИК КОНТРОЛЯ РАБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК
АККУМУЛЯТОРА

Ключевые слова: аккумулятор, комплексированный
волоконно-оптический датчик, температура, показатель
преломления электролита, изменение размеров электрода.
В статье рассмотрены принципы построения волоконно-
оптических датчиков контроля рабочих характеристик
аккумулятора (ВОД КРХА) на основе параллельных
брэгговских структур (БС) различного типа. В отличие от
существующих разработанные ВОД КРХА являются
комплексированными и способны одновременно измерять
температуру, показатель преломления электролита и
изменение размеров электродов по сдвигу центральной
длины волны отраженного излучения соответственно от
первой классической БС, БС с вытравленной оболочкой и
второй классической БС, закрепленной на электроде.
Разрешающая способность ВОД КРХА по температуре
составит 0,1-0,5 °С, по показателю преломления – 10^{-6} RIU,
по натяжению – 1 мкм/м.

А.С. Кириллов, В.Р. Агафонов
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ МОДУЛИ ВВОДА СИГНАЛОВ
ТЕРМОПАР С ОБЪЕКТОВ ТЕРМОЭМИССИОННОЙ
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Ключевые слова: термоэмиссионная ЯЭУ,
интеллектуальный модуль, сторожевой таймер, вольфрам-
рениевая термопара, погрешность измерений.

В работе представлены результаты сравнительного анализа интеллектуальных модулей ввода сигналов термопар для применения в составе автоматического информационно-измерительного комплекса экспериментальной установки, предназначенной для испытаний электрогенерирующих элементов и электрогенерирующих каналов термоэмиссионных ядерных энергетических

A.V. Alekseev

EXPERIENCE OF THE BIOLOGICAL LABORATORIES IN
THE TECHNICAL UNIVERSITY

Keywords: laboratory, research institutes, living systems,
biophotonics.

This paper presents the results of the cooperation of various research educational institutions and the establishment of an interdepartmental interdisciplinary laboratory at the Technical University.

A.P. Buinosov, D.S. Denisov

THE DEVICE FOR THE NONDESTRUCTIVE CONTROL
METHOD OF RAILWAY RAILS

Keywords: railway transport, rail, method, control,
nondestructive, device.

Are given the principle of operation of the developed device for a nondestructive method of quality control of metal of rails which use will allow to increase traffic safety of trains in article, to adjust processes of heating and cooling for ensuring necessary quality of thermohardening of rails.

M.P. Danilaev, E.A. Bogoslov, N.V. Dorogov, V.I. Gurev
EXPERIMENTAL STAND FOR INTEGRATED
ELECTROTHERMAL ANTI-ICING SYSTEM TESTING

Keywords: integrated anti-icing system.

The results of integrated anti-icing system (IAS) study are considered in that paper. It is shown that the energy consumption for de-icing is less about 30% in compare with usually electrothermal anti-icing systems.

V.A. Kazarov, O.G. Morozov, L.M. Sarvarova, I.I. Nureev
COMPLEXED FIBER OPTIC SENSORS FOR BATTERY
PERFORMANCE MONITORING

Keywords: battery, complexed fiber optic sensor, temperature,
electrolyte refractive index, changes in the electrode size.
The article describes the principles of construction of fiber-
optic battery performance monitoring sensor based on parallel
Bragg structures of different types. Unlike existing developed
sensors are complexed and can simultaneously measure the
temperature and refractive index of electrolyte, change of
electrodes sizes by the shift of the central wave length of the
radiation reflected respectively from classical and etched
Bragg gratings, attached to the electrode. The resolution by the
temperature is 0.1-0.5 °C, refractive index - 10^{-6} RIU, tension -
1 μm/m.

A.S. Kirillov, V.R. Agafonov
INTELLIGENT THERMOCOUPLE INPUT MODULES FOR
THERMIONIC EXPERIMENTAL FACILITY

Keywords: thermionic nuclear power system, intelligent
module, watchdog timer, tungsten-rhenium thermocouple,
measurement error.

This paper presents the results of the comparative analysis of intelligent thermocouple input modules to use in the automatic information-measuring system of the experimental facility designed for examination of fuel elements and fuel channels of thermionic nuclear power systems.

установок (ЯЭУ).

И.И. Нуреев

СТАТИЧЕСКАЯ И ДИНАМИЧЕСКАЯ РАДИОФОТОННАЯ
ИНТЕРРОГАЦИЯ ОДНОТИПНЫХ ВОЛОКОННЫХ
БРЭГГОВСКИХ РЕШЕТОК ПРИ
ПОЛИГАРМОНИЧЕСКОМ ЗОНДИРОВАНИИ

Ключевые слова: волоконная брэгговская решетка, последовательность однопортных решеток, статическая и динамическая интеррогация, радиофотонный интеррогатор, комб-генератор, ЛЧМ-сканирование.

В статье рассмотрены принципы построения статических и динамических радиофотонных интеррогаторов однопортных волоконных брэгговских решеток (ВБР) на основе полигармонического зондирования последних. В отличие от существующих оптических интеррогаторов на основе анализаторов спектра и фильтров для статической интеррогации используется комбгенератор на базе двухпортового модулятора Маха-Цендера, для динамической – ЛЧМ-сканер, как минимум, двухчастотного излучения. В обоих случаях составляющие комб- и ЛЧМ-излучения разнесены на частоту, лежащую в области радиочастот – единицы и десятки ГГц. Разработанные радиофотонные интеррогаторы (РИ) позволяют улучшить такие характеристики измерительного преобразования, как отношение сигнал/шум, чувствительность, точность.

А.Ю. Стрюков, А.В. Федотов, П.С. Иванов
ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА
ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ ПО
РАЗРЕШАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ

Ключевые слова: качество изображения, коллиматор, остаточный ресурс, оптико-электронный прибор, предел разрешения.

Остаточный ресурс работы прибора определяется по пределу разрешения, который задается в технических условиях. Разрешающая способность прибора измеряется с использованием коллиматора. Прогнозирование остаточного ресурса производится по результатам измерений с использованием адаптивных полиномиальных моделей.

Н.Н. Беспалов, Ю.В. Горячкин, Д.В. Тундыков
ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ УПРАВЛЯЮЩЕГО
УСТРОЙСТВА НА ПЛИС ДЛЯ ОБМЕНА ДАННЫМИ ПО
ИНТЕРФЕЙСУ SPI

Ключевые слова: ПЛИС, цифро-аналоговый преобразователь, интерфейс SPI, отладочная плата, язык VHDL.

Статья посвящена разработке управляющей программы для реализации обмена данными по интерфейсу SPI (Serial Peripheral Interface) между программируемой логической интегральной схемой (ПЛИС) XC3S500E Xilinx Spartan-3E и ИМС цифро-аналогового преобразователя (ЦАП) LTC2624 в составе отладочной платы NI Digital Electronics FPGA Board. Рассматривается создание программного модуля на языке VHDL при помощи специализированного программного обеспечения WebPACK ISE фирмы Xilinx.

В.Т. Бобронников, Т.С. Терещенко
ОБ АНАЛИЗЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ АВТОНОМНЫХ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ
ЭНЕРГИЮ СОЛНЦА, С УЧЕТОМ ОБЛАЧНОСТИ

Ключевые слова: автономная энергетическая система, солнечная батарея, облачность, случайный процесс, имитационная модель.

Разработана статистическая модель облачности для использования при оценке эффективности автономных энергетических систем, в состав которых входят солнечные батареи. В основу положено представление измененных состояний облачности над местом эксплуатации

I.I. Nureev

STATIC AND DYNAMIC MICROWAVE PHOTONICS
INTERROGATION OF SIMILAR FIBER BRAGG
GRATINGS AT POLYHARMONIC PROBING

Keywords: fiber Bragg grating, a sequence of similar gratings, static and dynamic interrogation, microwave photonics interrogator, comb generator chirp LFM-scan.

The article describes the principles of static and dynamic microwave photonics interrogation of similar fiber Bragg gratings based on their polyharmonic probing. Unlike existing optical interrogators, which based on spectrum analyzers and filters, we used comb-generator on dual-port Mach-Zehnder modulator for static interrogation, and LFM-scanner of two-frequency radiation, as a minimum, for dynamic ones. In both cases, the components of comb- and chirped radiation are separated by frequency, lying in the field of microwave ranges ones to tens GHz. Designed microwave photonic interrogators can improve such characteristics of measuring conversion as signal-to-noise ratio, sensitivity, accuracy.

A.J. Strjkov, A.V. Fedotov, P.S. Ivanov
FORECASTING RESIDUAL LIFE OF OPTOELECTRONIC
DEVICES ACCORDING TO THE CRITERION LIMIT OF
RESOLUTION

Keywords: image quality, collimator, residual life, optoelectronic devices, limit of resolution.

The remaining service life of the device operation is determined by the resolution limit, which is specified in the technical specifications. The resolution of the device is measured using a collimator. Forecasting residual resource produced from measurements using adaptive polynomial models.

N.N. Bespalov, Y.V. Goryachkin, D.V. Tundukov
SOFTWARE IMPLEMENTATION CONTROL DEVICES
ON FPGA FOR DATA INTERCHANGE ON SPI
INTERFACE

Keywords: FPGA, digital-to-analog converter, interface SPI, debug board, VHDL language.

The article is devoted to the implementation of the program for SPI communication interface (Serial Peripheral Interface) between IC digital-to-analog converter (DAC) LTC2624 and field programmable gate array (FPGA) XC3S500E Xilinx Spartan-3E development board as part of NI Digital Electronics FPGA Board. We consider the creation of a software module in VHDL language with the help of specialized software company WebPACK ISE Xilinx.

V.T. Bobronnikov, T.S. Tereshchenko
EFFICIENCY ANALYSIS OF THE STAND-ALONE
ENERGY SYSTEMS USING SOLAR ENERGY, TAKING
INTO ACCOUNT CLOUDINESS

Keywords: stand-alone energy system, solar panel, cloudiness, random process, simulation model.

The statistical model of cloudiness intended for use in assessing the efficiency of stand-alone power generating systems which include solar panels. The model is based on the idea of change of conditions of cloudiness over the place of operation of the system as a time-correlated discrete Markov random process. The method of calculation the parameters of

системы в виде дискретного марковского процесса. Предложена методика расчета параметров модели с использованием результатов наблюдений облачности на наземных метеостанциях. Представлены результаты численных расчетов.

А.П. Буйносов

АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ УРАВНЕНИЙ ТРАНСЛЯЦИОННОЙ ДИНАМИКИ ДВИЖЕНИЯ КОЛЕСНОЙ ПАРЫ В РЕЛЬСОВОЙ КОЛЕЕ

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, колесная пара, рельс, колея, динамика, движение, уравнение, построение, алгоритм.

В статье приводятся теоретическое обоснование и алгоритм построения уравнений трансляционной динамики математической модели движения колесной пары железнодорожного подвижного состава в рельсовой колее.

А.В. Вицентий, А.Г. Олейник, Д.В. Рябов ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ ВЫЧИСЛЕНИЙ НА ГРАФИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОРАХ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ

Ключевые слова: Tesla C2050, GPGPU, вычисления общего назначения, CUDA, сравнение производительности, гео визуализация.

В работе исследуется эффективность вычислений на GPU Nvidia Tesla C2050 на примере алгоритма умножения матриц. Вычислительные эксперименты проводились на матрицах разной размерности с числами как одинарной, так и двойной точности. Показано, что механизмы работы с памятью, реализованные в Tesla C2050, накладывают существенные ограничения на производительность вычислений.

Л.Р. Галимуллина, О.Г. Морозов, М.А. Салихова,
Л.М. Сарварова, И.Т. Ибрагимов

ДАТЧИКИ МОНИТОРИНГА МЕЖЧЕЛЮСТНОГО ДАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ БРЭГГОВСКИХ РЕШЕТОК

Ключевые слова: межчелюстное давление, мониторинг, длинная волоконная решетка Брэгга, датчик поперечной деформации.

В статье рассмотрены принципы построения волоконно-оптических датчиков мониторинга межчелюстного давления человека на основе волоконных брэгговских решеток. Проведен расчет параметров решетки Брэгга как длинной решетки и датчика поперечной деформации, смоделирована структурная схема системы мониторинга в среде Optiwave System, получены основные характеристики ее блоков. В результате экспериментальных исследований получены характеристики изменения межчелюстного давления как функции длины волны решетки Брэгга.

Л.В. Галина, А.М. Черноусова, С.Ю. Шамаев АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ВЫСОКОАВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ

Ключевые слова: высокоавтоматизированные производственные системы, оценка эффективности, моделирование.

В работе описана предлагаемая методика оценки эффективности функционирования высокоавтоматизированных производственных систем, осуществляемая по двум критериям – коэффициенту загрузки и сроку окупаемости. Методика основана на применении методов математического моделирования и реализована в виде программного обеспечения подсистемы АСТПП. Для документирования полученных в исследовании решений использовались диаграммы универсального языка моделирования UML.

the model using results from long-term observations of cloudiness on land meteorological stations is proposed. Results of numerical calculations are presented.

A.P. Buiunosov

ALGORITHM OF CREATION OF THE EQUATIONS OF TRANSMITTING DYNAMICS OF THE MOVEMENT OF WHEEL PAIR IN THE RAIL GAUGE

Keywords: railway transport, wheel pair, rail, track, dynamics, movement, equation, creation, algorithm.

In article theoretical justification and algorithm of creation of the equations of transmitting dynamics of mathematical model of the movement of wheel pair of the rolling stock are given in a rail gage.

A.V. Vicentiy, A.G. Oleynik, D.V. Ryabov THE STUDY OF FEATURES OF COMPUTING ON GENERAL PURPOSE GRAPHICS PROCESSORS

Keywords: Tesla C2050, GPGPU, general-purpose computing, CUDA, performance comparison, geovisualization.

In this paper, we investigate the efficiency of computing on GPU Nvidia Tesla C2050 as an example of matrix multiplication algorithm. Computational experiments were conducted on the matrices of the different dimension both single and double precision. It is shown that the mechanisms of memory implemented in the Tesla C2050 impose significant restrictions on computing performance.

L.R. Gallimulina, O.G. Morozov, M.A. Salikhova,
L.M. Sarvarova, I.T. Ibragimov

SENSORS FOR ROSTRAL PRESSURE MONITORING BASED ON BRAGG GRATINGS

Keywords: orthodontics, kappa, long optical fiber Bragg grating, transverse compression, rostral pressure check.

The article describes the principles of fiber optic sensors construction for monitoring rostral pressure of a person based on fiber Bragg gratings. The calculation of the long Bragg grating parameters as a transverse strain gauge, structural monitoring scheme in Optiwave System software and the main characteristics of system units are received. As a result of experimental studies the characteristics of rostral pressure changes were received as a function of the wavelength of the Bragg grating.

L.V. Galina, A.M. Chernousova, C.Y. Shamaev AUTOMATED ESTIMATION OF EFFICIENCY OF FUNCTIONING OF HIGHLY AUTOMATED MANUFACTURING SYSTEMS

Keywords: highly automated manufacturing systems, performance evaluation, modeling.

The paper describes the proposed methodology for evaluating the performance of highly automated production systems, carried out according to two criteria – the load factor and the payback period. The technique is based on application of methods of mathematical modeling and implemented as a software subsystem of Cam. To document these study solutions were used charts, universal modelling language UML.

Л.Ю. Грудцына, И.Ю. Мышкина
ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УСПЕШНОСТИ ОБУЧЕНИЯ НА
ОСНОВЕ РЕТРОСПЕКТИВНОЙ ИНФОРМАЦИИ

Ключевые слова: прогноз успеваемости, data mining, деревья решений.

В работе рассмотрена возможность применения метода деревьев решений для анализа и прогнозирования успеваемости обучения студентов вуза. Определен ряд параметров, оказывающих существенное влияние на успешность обучения. Получены диапазоны изменения параметров, соответствующие характеристикам как наиболее успешных в обучении студентов, так и студентов, имеющих проблемы с успеваемостью.

Н.Ю. Дегтярев, Г.П. Жигулин, Р.А. Шакирова, С.А. Бондарев
АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЛАЧНЫХ
СЕРВИСОВ

Ключевые слова: информационная безопасность, облачные сервисы, оценка рисков, cloud security, risk assessment, cloud services.

В статье агрегированы результаты международных и отечественных исследований в части использования облачных сервисов. В ходе исследования была изучена международная и отечественная база знаний в области обеспечения информационной безопасности облачных сервисов. В результате выявлены основные проблемы обеспечения информационной безопасности облачных сервисов.

И.Т. Ибрагимов, О.Г. Морозов, Л.Р. Галимуллина,
М.А. Салихова, В.В. Садчиков
ДАТЧИКИ МОНИТОРИНГА СЕРДЦЕБИЕНИЯ И
ДЫХАТЕЛЬНОЙ ФУНКЦИИ ЧЕЛОВЕКА НА ОСНОВЕ
БРЭГГОВСКИХ РЕШЕТОК

Ключевые слова: пульс, дыхание, растяжение, сжатие, волоконная решетка Брэгга, медицинский смарт-текстиль. В статье рассмотрены принципы построения волоконно-оптических датчиков мониторинга сердцебиения и дыхательной функции человека на основе волоконных брэгговских решеток. Проведен расчет параметров решетки Брэгга как датчика деформации (растяжения), смоделирована структурная схема системы мониторинга в среде OptiwaveSystem, получены основные характеристики ее блоков. В результате экспериментальных исследований получены характеристики изменения пульса в области запястья, виска, грудной клетки, а также ритма дыхания в области живота.

А.В. Казаков, М.В. Фроленко
ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО ХЛАДАГЕНТА СИСТЕМЫ
ОХЛАЖДЕНИЯ НА ОСНОВЕ ЧИСЛЕННОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ

Ключевые слова: хладагент, ANSYS Fluent, жидкостное охлаждение, малогабаритный электродвигатель.

В данной работе рассмотрена проблема охлаждения трехфазного асинхронного малогабаритного электродвигателя. В ходе проведения исследования была разработана математическая модель, численная реализация которой позволила определить наибольшую эффективность хладагента использовавшегося в контуре охлаждения малогабаритного электродвигателя. Были исследованы три хладагента: вода, масло, керосин.

В.О. Каледин, О.А. Штейнбрехер
АЛГОРИТМ ОПТИМИЗАЦИИ МНОГОЭЛЕМЕНТНЫХ
КОНСТРУКЦИЙ С ОГРАНИЧЕНИЯМИ ПО ПРОЧНОСТИ
И ГАБАРИТАМ

Ключевые слова: оптимальное проектирование силовых конструкций, минимум массы, R-предикат, алгоритм минимизации.

L.Yu. Grudtsyna, I.Yu. Myshkina
PREDICTION OF ACADEMIC SUCCESS BASED ON
RETROSPECTIVE INFORMATION

Keywords: forecast performance, data mining, decision tree. The paper discusses the possibility of applying the method of decision trees for analyzing and predicting academic performance of education students of the University. Identified a number of parameters which have a significant effect on the success of learning. The obtained ranges of changes of parameters corresponding to characteristics as the most successful in education students, and students having problems with academic performance.

N.Yu. Degtyarev, G.P. Zhigulin, R.A. Shakirova,
S.A. Bondarev
ANALYSIS OF CLOUD SECURITY CHALLENGES

Keywords: information security, cloud services, оценка рисков.

This paper presents the aggregative results of international and local Russian researches of cloud services usage. As a matter of course, we examined international and local Russian knowledge bases on cloud security. Based on the results of research, we educed main challenges in cloud services security provisioning.

I.T. Ibragimov, O.G. Morozov, L.R. Gallimulina,
M.A. Salikhova, V.V. Sadchikov
SENSORS BASED ON BRAGG GRATING FOR MEN'S
HEART RATE AND RESPIRATORY FUNCTION
MONITORING

Keywords: pulse, breathing, stretching, compression, fiber Bragg grating, medical smart textiles.

The article describes the principles of fiber optic sensors construction for monitoring heart and respiratory function of a person based on fiber Bragg gratings. The calculation of the Bragg grating parameters as a strain gauge, structural monitoring scheme in Optiwave System software and the main characteristics of system units are received. Experimental studies of pulse characteristics obtained in the wrist changes, the temple, chest, and respiration rate in the abdomen are presented.

M.V. Frolenko, A.V. Kazakov
SELECTING THE OPTIMAL REFRIGERANT COOLING
SYSTEM BASED ON NUMERICAL SIMULATIONS

Keywords: refrigerant, ANSYS Fluent, liquid-cooled, compact motor.

In this paper, the problem of cooling the compact three-phase induction motor. In the course of the study it was developed a mathematical model, numerical implementation of which allowed us to determine the greatest efficiency of the refrigerant used in the small-sized motor cooling circuit. Three refrigerant were investigated: water, oil, kerosene.

V.O. Kaledin, O.A. Shteinbreher
ALGORITHM OF OPTIMIZATION OF MULTIELEMENT
CONSTRUCTION WITH RESTRICTIONS ON
DURABILITY AND DIMENSIONS

Keywords: optimum design of power designs, weight minimum, R-predicate, algorithm of minimization.

The algorithm of problem solving of optimum projection of

Предложен алгоритм решения задач оптимального проектирования конструкций при произвольном числе нелинейных ограничений. Задача сводится к безусловной минимизации вспомогательной функции, которая строится из исходной целевой функции и R -предикатов произвольного числа ограничений. Алгоритм проверен на задаче определения оптимальных геометрических параметров сечения консольной балки.

А.О. Киклевич, Е.А. Хлюпина, Г.П. Жигулин
МЕТОД И МОДЕЛЬ СНИЖЕНИЯ АПРИОРНОЙ
ЭНТРОПИИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ УГРОЗ
ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ОСНОВЕ
ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Ключевые слова: информационная безопасность, модель угроз, ключевые параметры модели угроз, параметрический анализ.

В настоящей работе представлены результаты исследований по определению общего порядка идентификации угроз информационной безопасности при их реализации в условиях недостатка информации, и построению апостериорной модели угроз, с математически обоснованным расчетом вероятности возникновения угроз информационной безопасности на основе параметрического анализа.

Т.А. Кузнецова, П.В. Репп
РАЗРАБОТКА РОБАСТНОЙ БОРТОВОЙ
ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ
УПРАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ

Ключевые слова: бортовая информационно-измерительная управляющая система, робастность, функциональные и нефункциональные требования, аппаратная платформа, многокритериальная оптимизация.

На основе многокритериального анализа производится выбор оптимальной аппаратной платформы для робастной бортовой информационно-измерительной управляющей системы (ИИУС). Совместно рассматриваются функциональные и нефункциональные требования. Получена оптимальная структура робастной ИИУС.

Д.Г. Лазаренко
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОВЕДЕНИЯ
ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ОТРАБОТКЕ КОНСТРУКЦИИ
ТЕРМОЭМИССИОННОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Ключевые слова: термоэмиссия, математическое моделирование, коллектор, эмиттер.

Представлены результаты математического моделирования теплоэлектрофизических процессов в лабораторном термоэмиссионном преобразователе. Актуальность проводимого исследования обусловлена тем, что термоэмиссионный преобразователь представляет собой вакуумный высокотемпературный прибор, в котором измерение таких параметров как температура конструктивных элементов затруднительно. Задачей исследования является определение оптимальных параметров проведения эксперимента, а также предельно допустимых параметров, при которых работоспособность прибора будет сохранена.

А.А. Медведев, Е.Н. Созинова
ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЙ ЭТАП ПРИ ПРОВЕДЕНИИ
ВНУТРЕННЕГО АУДИТА ИНФОРМАЦИОННОЙ
БЕЗОПАСНОСТИ ОРГАНИЗАЦИЙ НА ОСНОВЕ РИСК-
ОРИЕНТИРОВАННОГО ПОДХОДА

Ключевые слова: информационная безопасность, аудит ИБ, планирование аудита, риск-ориентированный подход.

В статье описываются подэтапы подготовительного этапа при проведении внутреннего аудита информационной безопасности организаций на основе риск-ориентированного подхода.

designs at the arbitrariness number of non-linear restrictions is offered. The task is reduced to unconstrained minimization of support function which is based of assumed target function and R -predicates of the arbitrariness number of restrictions. The algorithm is checked on a problem of determination of optimum geometrical parameters of section of a console beam.

A.O. Kiklevich, E.A. Khlyupina, G.P. Zhigulin
METHOD AND MODEL OF REDUCING A PRIORI
ENTROPY OF EMERGING OF THE INFORMATION
SECURITY THREATS BASED ON PARAMETRIC
ANALYSIS

Keywords: information security, threat model, the threat model key parameters, parametric analysis.

This paper presents the results of the researches on defining common order of identifying the information security threats, implemented in state of insufficient information, and researches on constructing a posteriori threat model with mathematically sound calculation of the possibility of emerging of the information security threats based on parametric analysis.

T.A. Kuznetsova, P.V. Repp
THE ROBUST ON-BOARD INFORMATION AND
MEASUREMENT CONTROL SYSTEMS' DEVELOPMENT

Keywords: on-board information and measurement control system, robustness, functional requirements, non-functional requirements, hardware platform, multi-criteria optimization. On the basis of multi-criteria analysis the optimal hardware platform for robust on-board information and measurement control system (IMCS) was selected. The functional and non-functional requirements were considered in collaboration. The optimal structure of robust IMCS was obtained.

D.G. Lazarenko
DETERMINATION OF THE PARAMETERS OF
EXPERIMENT FOR THERMIONIC CONVERTER DESIGN
OPTIMIZATION

Keywords: thermal emission, mathematical modeling, collector, emitter

The results of mathematical modeling of heat and electrical processes in the laboratory thermionic converter are presented. Relevance of the current research is caused by the fact that the thermionic converter is the vacuum high-temperature device, in which measurement of such parameters as temperature of elements is difficult. A research problem is determination of optimum parameters of carrying out the experiment, and also maximum permissible parameters at which operability of the device will be kept.

A.A. Medvedev, E.N. Sozinova
THE PREPARATORY STAGE IN CONDUCTING
INTERNAL AUDIT OF INFORMATION SECURITY OF
ORGANIZATIONS BASED ON THE RISK-BASED
APPROACH

Keywords: information security, information security audit, audit planning, risk-based approach.

The article describes the sub-steps of the preparatory stage in conducting internal audit of information security of organizations based on the risk-based approach.

А.Р. Насыбуллин

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ НА ОСНОВЕ
ПОЛОСКОВЫХ БРЭГГОВСКИХ СТРУКТУР ДЛЯ СВЧ
ДАТЧИКОВ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ПРОЦЕССОВ

Ключевые слова: СВЧ брэгговская структура, датчики параметров технологических процессов, микрополосковая линия передачи, копланарный волновод.

В статье рассмотрены принципы действия новых типов чувствительных элементов в виде сверхвысокочастотных (СВЧ) планарных структур с периодическими неоднородностями. Показан метод улучшения чувствительности, основанный на введении в конфигурацию периодической структуры фазового сдвига.

А.Д. Наумов, А.Н. Югансон, И.Б. Бондаренко,
Д.А. Заколдаев, Ю.А. Гатчин

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ КОМПОНЕНТОВ
ВИРТУАЛЬНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ПРИ
ИСПОЛЬЗОВАНИИ СРЕДЫ ВИРТУАЛИЗАЦИИ

Ключевые слова: виртуальная инфраструктура, виртуализация, надежность, безотказность, ремонтпригодность, живучесть, долговечность, сохраняемость.

В рамках данной работы изучена проблема надежности виртуальной инфраструктуры. Даны рекомендации по улучшению отдельных параметров компонентов виртуальной инфраструктуры для повышения общей надежности среды виртуализации.

И.Ю. Попов, А.О. Алексеенко, Б.А. Крылов, Ю.А. Гатчин
МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ МИНИМАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ
ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПЕРСОНАЛЬНЫХ
ДАННЫХ ПО ТРЕБОВАНИЯМ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Ключевые слова: информационная система персональных данных, персональные данные, автоматизированная система, информационная безопасность.

В статье предлагается метод построения минимальной защиты информационной системы персональных данных. Метод позволяет получить список необходимых мер по обеспечению безопасности персональных данных и средств защиты информации. На основе данного метода разработана автоматизированная система.

С.В. Рыков, И.В. Кудрявцева, В.А. Рыков, М.И. Полторацкий
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
АСИМПТОТИЧЕСКОЙ ОКРЕСТНОСТИ КРИТИЧЕСКОЙ
ТОЧКИ

Ключевые слова: критическая точка, критические индексы, аргон, изохорная теплоемкость, гипотеза Бенедекка, линия псевдокритических точек.

Рассмотрена математическая модель термической и калорической поверхности в области сильно развитой флуктуации плотности, разработанная на основе феноменологической теории критической точки Мигдала А.А. На примере описания равновесных свойств аргона показано, что масштабное уравнение в физических переменных, разработанное в рамках предложенного подхода, не только качественно, но и количественно верно передает асимптотическую окрестность критической точки системы жидкость-газ.

Я.И. Савченко, О.Ю. Гаценко, Г.П. Жигулин
ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ ПРИ ИХ
ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ПО ОТКРЫТЫМ КАНАЛАМ СВЯЗИ

Ключевые слова: Анонимность, защита данных, OTR, TOR, безопасность, криптография.

В настоящее время активно развиваются различные анонимные сети, мессенджеры и сервисы, предоставляющие услуги анонимной и защищенной связи. В

A.R. Nasybullin

CONVERSION ELEMENTS BASED ON BRAGG
STRIPLINE STRUCTURES FOR MICROWAVE SENSORS
OF TECHNOLOGICAL PROCESSES PARAMETERS

Keywords: microwave Bragg structure, sensors of technological process parameters, microstrip transmission line, coplanar waveguide.

The article describes the principles of operation of new types of sensitive elements in the form of microwave (MW) planar structures with periodic inhomogeneities. It shows a method to improve the sensitivity, based on the introduction a phase shift to the configuration of the periodic structure.

A.D. Naumov, A.N. Yougunson, I.B. Bondarenko,
D.A. Zakoldaev, Iu.A. Gatchin

IMPROVING THE RELIABILITY OF THE COMPONENTS
OF A VIRTUAL INFRASTRUCTURE WHEN USING
VIRTUALIZATION ENVIRONMENT

Keywords: virtualization, virtual infrastructure, reliability, failure-free, repairability, survivability, service life, storageability

Some problems concerning reliability of virtual infrastructure are discussed in this paper. In solving this recommendations for specific parameters of different components are given to increase reliability in general.

I.Y. Popov, A.O. Alekseenko, B.A. Krylov, Y.A. Gatchin
THE METHOD OF THE CONSTRUCTION OF MINIMUM
PROTECTION OF INFORMATION SYSTEM OF
PERSONAL DATA FOR USERS REQUIREMENTS

Keywords: information system of personal data, personal data, automated system, information security.

This paper presents a method for constructing a minimum protection of information system of personal data. This method allows obtaining the list of necessary measures to ensure the security of personal data and the protection of information. An automated system has been developed basing on this method.

S.V. Rykov, I.V. Kudryavtseva, V.A. Rykov, M.I. Poltoratskiy
MATHEMATICAL MODELING OF THE ASYMPTOTIC
NEAR THE CRITICAL POINT

Keywords: critical point, critical indices, argon, isochoric heat capacity; Benedek's hypothesis; pseudocritical point line.

The mathematical model of heat and caloric-surface in the area of strongly developed fluctuations of the density-tannaya developed on the basis on Migda'sl phenomenological theory of the critical point. For example, the description of equilibrium properties of argon shows that large-scale physical variables in the equation, developed in under the proposed approach, not only qualitatively but also quantitatively faithfully transmits the asymptotic vicinity of the critical point of the system, we are liquid-gas.

Ya.I. Savchenko, O.Yu. Gazonko, G.P. Jigulin
IDENTIFICATION OF USERS DURING THEIR
INTERACTION THROUGH OPEN COMMUNICATION
CHANNELS

Keywords: Anonymity, data protection, OTR, TOR, security, cryptography.

There are currently actively developing a variety of anonymous networks, instant messengers and services, providing

этой статье поставлена цель проанализировать методы идентификации пользователей при их взаимодействии по открытым каналам связи.

Е.В. Субботин, А.А. Рыков
РАСЧЕТ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО
СОСТОЯНИЯ НЕИЗОТРОПНЫХ МАТЕРИАЛОВ В
УСЛОВИЯХ ТЕМПЕРАТУРНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Ключевые слова: композиционные материалы, тепловое расширение, механическое напряжение, математическая модель, численное исследование.

В работе построена математическая модель для исследования напряженно-деформированного состояния композиционных материалов в условиях температурного воздействия. Проведен расчет и анализ механических напряжений на границах соприкосновения двух разнородных твердых изотропных материалов, возникающих при тепловом расширении.

Н.М. Труфанова, И.Я. Дятлов
АНАЛИЗ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ПОДЗЕМНОГО
КАБЕЛЬНОГО КАНАЛА В РЕЖИМЕ КОРОТКОГО
ЗАМЫКАНИЯ

Ключевые слова: кабельная линия, кабельный канал, короткое замыкание (КЗ), температурное поле кабельной линии.

В данной работе рассмотрена математическая модель процессов теплопереноса внутри подземного кабельного канала. Были учтены процессы естественной конвекции и радиационного теплообмена между поверхностью кабеля и трубы. В нестационарном режиме рассмотрен процесс трехфазного короткого замыкания в разных кабельных линиях с учетом потерь в экранах.

Е.В. Шаврина
РАСЧЕТ НЕИЗОБАРИЧЕСКИХ СВЕРХЗВУКОВЫХ
СТРУЙ С ПОПРАВКАМИ НА СЖИМАЕМОСТЬ В
МОДЕЛИ ТУРБУЛЕНТНОСТИ

Ключевые слова: сверхзвуковое течение, модель турбулентности k-ε, модель турбулентности Саркара, линейная модель турбулентности.

В работе представлена модификация стандартной модели k-ε для сверхзвуковой неизобарической струи. Верификация модификации проведена путем моделирования в Ansys CFX с последующим сравнением с экспериментальными данными из открытого источника.

Е.С. Якуба, В.С. Тынченко, В.В. Бухтояров, В.В. Тынченко
СИСТЕМА АНАЛИЗА ДОКУМЕНТАЦИИ ПО
ГОСУДАРСТВЕННЫМ ЗАКУПКАМ НА ОСНОВЕ
ТЕХНОЛОГИИ OLAP

Ключевые слова: госзакупки, тендеры, OLAP, анализ данных. В работе рассматривается проблема проведения анализа информации по государственным закупкам, полученной посредством официального сайта единой информационной системы в сфере закупок. В качестве средства анализа предлагается использование OLAP-технологии, а в качестве инструмента – программные средства компании Microsoft. Представляются алгоритмы работы предлагаемой автоматизированной системы и ее внешний вид.

anonymous and secure communication. In this article, we set a goal to analyze the methods of identification of users during their interaction through open communication channels.

E.V. Subbotin A.A. Rykov,
CALCULATION OF THE STRESS-STRAIN STATE OF
NON-ISOTROPIC MATERIALS IN A THERMAL
EXPOSURE

Keywords: composite materials, thermal expansion, mechanical stress, mathematical model, numerical study.

In this work a mathematical model for the study of stress-strain state of composite materials in a thermal exposure was constructed. The calculation and analysis of mechanical stresses on the boundaries of the contact of two different non-isotropic solid materials arising from the thermal expansion was carried out.

N.M. Trufanova, I.Y. Dyatlov
OPERABILITY ANALYSIS OF UNDERGROUND CABLE
CHANNEL IN SHORT CIRCUIT MODE

Keywords: cable line, short circuit, temperature field of cable line, cable channel.

Heat transfer process modeling inside a cable channel with accounting of convection and radiation between cable and tube. Transient process of three phase short circuit in some cable lines was reviewed.

E.V. Shavrina
CALCULATION OF ISOBARIC SUPERSONIC JETS
AMENDED FOR COMPRESSIBILITY TURBULENCE
MODEL

Keywords: Supersonic flow, k-ε turbulence model, Sarkar turbulence model, linear model of turbulence.

This paper presents a modification of the standard k-ε model for isobaric supersonic jet. Verification of modifications done by modeling in Ansys CFX, followed by a comparison with experimental data from the open-source.

E.S. Yakuba, V.S. Tynchenko, V.V. Bukhtoyarov, V.V. Tynchenko
THE SYSTEM FOR GOVERNMENT TENDERS
DOCUMENTS ANALYSIS ON THE BASIS OF OLAP
TECHNOLOGY

Keywords: government auction, tenders, OLAP, data analysis. In the article is discussed the problem of government tenders information analysis. The information is got from the official web site of joint tenders' information system. The OLAP technology is proposed for analysis, and the Microsoft software is suggested as an instrument. The article represents algorithms of suggested automation system and its front-end view.

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 "Научно-технический вестник Поволжья" 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

НАУЧНО - ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК
ПОВОЛЖЬЯ

№3 2016

Направления:

01.01.00 — ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИКА

02.00.00 — ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

**05.02.00 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАШИНОСТРОЕНИЕ И
МАШИНОВЕДЕНИЕ**

**05.11.00 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — ПРИБОРОСТРОЕНИЕ,
МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ**

**05.13.00 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — ИНФОРМАТИКА,
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ**

www.ntvp.ru

Свидетельство № ПИ № ФС77-41672 от 13 августа 2010г.

Подписано в печать 17.06.2016 Формат 60 x 84 1/8. Печать цифровая.

9,8 усл.печ.л. 11,3 уч.изд.л. Тираж 900 экз. Заказ 2024.

Учредитель: ООО "Научно-технический вестник Поволжья"

420111, Республика Татарстан, Казань,

ул. Университетская, д.22, оф. 310

Адрес редакции, издателя и типографии совпадают с адресом учредителя

Цена свободная.

© Научно-технический вестник Поволжья

тел.(843) 216-30-35

факс:(843) 238-32-08

Отпечатано с готового оригинал-макета

ООО «Научно-технический вестник Поволжья»