Н А У Ч Н О - Т Е Х Н И Ч Е С К И Й
В Е С Т Н И К
П О В О Л Ж Ь Я

№3 2015

Направления:

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ
ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ
ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Казань

2015

УДК 60

ББК 30-1

Н-66

Н-66 Научно-технический вестник Поволжья. №3 2015г. – Казань: Научно-технический вестник Поволжья, 2015. – 262 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.; *М.М. Арсланов* – д.ф-м.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

 © Научно-технический вестник Поволжья, 2015 г.

СОДЕРЖАНИЕ

В.С. Минкин, П.П. Суханов КОНФОРМАЦИОННЫЙ ЯМР-АНАЛИЗ РАЗВЕТВЛЕННОСТИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЖИДКИХ ТИОКОЛОВ 10

В.С. Минкин, П.П. Суханов, Б.Н. Иванов, А.П. Суханов ОПТИМИЗИРУЮЩАЯ ДОБАВКА ДЛЯ ГЕРМЕТИКОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИСУЛЬФИДНЫХ ОЛИГОМЕРОВ 14

И.В. Фадеев, В.К. Половняк, С.С. Еремеева, Ш.В. Садетдинов ВЛИЯНИЕ АМИДОБОРАТНЫХ СОЕДИНЕНИЙ НА ПРОТИВОКОРРОЗИОННЫЕ СВОЙСТВА СТАЛИ 19

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

В.В. Абрамова РЕШЕНИЕ ПЕРИОДИЧЕСКИХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ ТИПА СВЁРТКИ С ПОЛОЖИТЕЛЬНЫМИ ОПЕРАТОРАМИ 25

Т.М. Борисова, Р.А. Кастро, С.Д. Ханин ДИЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ РЕЛАКСАЦИЯ В ПЛАНАРНЫХ СТРУКТУРАХ НА ОСНОВЕ СЛОЕВ AL_2O_3, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ МОЛЕКУЛЯРНОГО НАСЛАИВАНИЯ 29

Д.П. Данилаев, М.П. Данилаев, Н.В. Дорогов ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОЦЕССА КАПСУЛИРОВАНИЯ В МНОГОФАЗНЫХ ГАЗОВЫХ ПОТОКАХ 34

В.В. Дружинин, А.А. Лазарев, Д.Д. Усанов РЕШЕТО ВЫЧЕТОВ В ТЕОРИИ ПРОСТЫХ ЧИСЕЛ 38

Р.А. Кастро, Н.И. Анисимова, Л.А. Набиуллина, Г.И. Грабко ФОТОИНДУЦИРОВАННОЕ ИЗМЕНЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ОПТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ В СТЕКЛООБРАЗНОЙ СИСТЕМЕ $AS_{50}SE_{50}$ 40

Е.Н. Лубягина ЧАСТИЧНЫЕ КОЛЬЦА НЕПРЕРЫВНЫХ ФУНКЦИЙ 44

С.В. Рыков, Д.А. Кудрявцев, В.А. Рыков, А.В. Свердлов ЕДИНОЕ НЕАНАЛИТИЧЕСКОЕ УРАВНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ, УДОВЛЕТВОРЯЮЩЕЕ МАСШТАБНОЙ ГИПОТЕЗЕ 47

С.В. Рыков, М.И. Полторацкий, В.А. Рыков, Е.Г. Селина УРАВНЕНИЕ ЛИНИИ НАСЫЩЕНИЯ R236EA 51

Э.С. Сибгатуллин, О.Г. Новоселов, К.Э. Сибгатуллин ПРЕДЕЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ ОБЪЕМНЫХ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ ТРЕХОСНЫХ НАПРЯЖЕННЫХ СОСТОЯНИЯХ 54

А.Н. Углов, Г.А. Якупова ОБ ОДНОЗНАЧНОЙ РАЗРЕШИМОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ НЕЛИНЕЙНЫХ КРАЕВЫХ ЗАДАЧ ДЛЯ ПРОИЗВОЛЬНОГО УПРУГОГО НЕОДНОРОДНОГО ИЗОТРОПНОГО ТЕЛА 59

Л.С. Харасова О РАЗРЕШИМОСТИ ОДНОЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКИ НЕЛИНЕЙНОЙ КРАЕВОЙ ЗАДАЧИ ДЛЯ ПОЛОГИХ ОБОЛОЧЕК ТИПА ТИМОШЕНКО С ШАРНИРНО ОПЕРТЫМИ КРАЯМИ 63

А.М.А. Хинайш, Д.М. Спиридонов, А.С. Вохминцев, И.А. Вайнштейн ТУШЕНИЕ ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ В МИКРОПОРОШКЕ h-BN ПРИ ТЕМПЕРАТУРАХ ВЫШЕ КОМНАТНОЙ 67

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

К.Г. Белова, А.В. Обрубова, С.С. Нохрин, И.Е. Анимица ПРОВОДИМОСТЬ ПЕРОВСКИТОПОДОБНЫХ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ $Ba_4Ca_2Nb_{2-x}P_xO_{11}$ 71

В.В. Шмидт, И.Г. Жихарева, А.А. Ракашов ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ФАЗОВОГО СОСТАВА И КОНЦЕНТРАЦИОННЫХ ГРАНИЦ СУЩЕСТВОВАНИЯ ФАЗ ДЛЯ ТРОЙНЫХ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИХ СПЛАВОВ ZN-NI-CO 74

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

В.В. Аникеев, В.Д. Ильиных ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА НА РЕСУРС ДВИГАТЕЛЕЙ АВТОМОБИЛЯ КАМАЗ-4310 79

А.Ф. Анчугова, Р.М. Галиев, Н.С. Галимов, Р.Т. Насибуллин, И.М. Нуриев, А.Н. Сущикова ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ГЕНЕРАТОРОВ В ПЕРСПЕКТИВНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ ВЕТРОЭНЕРГОУСТАНОВОК 82

М.К. Бойдало, Г.П. Жигулин ПРАКТИЧЕСКАЯ ПРОВЕРКА МЕТОДА И МОДЕЛИ ОЦЕНКИ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО СООТВЕТСТВИЯ ПЕРСОНАЛА В ВОПРОСАХ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ 86

М.К. Бойдало, Г.П. Жигулин ПЕРСОНАЛ ОРГАНИЗАЦИИ КАК УЯЗВИМОСТЬ В СИСТЕМЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ: АТАКИ И ПРОТИВОДЕЙСТВИЕ ИМ 89

С.А. Бондаренко, А.Н. Ефремов, С.Н. Мерзляков, Ю.В. Соколкин, В.Я. Модорский, А.В. Козлова ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В КАНАЛАХ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ 92

А.П. Буйносов, Д.Ю. Козаков РАЗРАБОТКА МОБИЛЬНОГО СТАНКА ДЛЯ ОБТОЧКИ КОЛЕСНЫХ ПАР ЭЛЕКТРОПОЕЗДА 97

А.П. Буйносов, И.В. Умылин ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ОБТОЧКИ БАНДАЖЕЙ КОЛЕСНЫХ ПАР ЛОКОМОТИВОВ 101

А.М. Васильев, В.К. Гарипов, М.А. Костромин ВОПРОСЫ ПРИМЕНЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ МАРШРУТИЗАЦИИ В РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ 105

В.И. Воронов, Ф.Н. Нурамов ВЛИЯНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МНОГОВОЛОКОННОГО ИЗЛУЧАТЕЛЯ АТМОСФЕРНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ ЛИНИИ СВЯЗИ НА ПОЛЕ В ЗОНЕ ПРИЕМА 109

Д.М. Вохмин ОБОСНОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ЗАКОКСОВАННОСТИ РАСПЫЛИТЕЛЕЙ НА ПЕРИОДИЧНОСТЬ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ФОРСУНОК ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ 113

Д.М. Вохмин, В.Д. Ильиных МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ РЕСУРСА РАСПЫЛИТЕЛЕЙ ФОРСУНОК ДВИГАТЕЛЕЙ 740.31-240 АВТОМОБИЛЕЙ КАМАЗ-53215 С УЧЕТОМ СРЕДНЕЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ СКОРОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ 116

Р.М. Галиев, А.З. Гумеров, Р.Т. Насибуллин, А.Ш. Садриев, Р.Ш. Садриев, Л.Р. Саримов ЭЛЕКТРОННЫЙ СЕЛЕКТОР ДЛЯ КОРОБКИ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ ПЕРЕДАЧ ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ КАМАЗ 119

Т.П. Дворянинова, А.В. Жданов, Л.В. Беляев ОЦЕНКА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО СПЕКАНИЯ 122

Н.А. Дородников РЕАЛИЗАЦИЯ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛИ УНИВЕРСАЛЬНОЙ ЛВС В МОМЕНТ ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ УГРОЗАМ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ 126

А.А. Ершов, А.В. Теренчук БЕЗОПАСНОСТЬ ШТОРМОВОГО ПЛАВАНИЯ СУДНА 129

А.А. Ершов, Д.А. Хухарев СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УПРАВЛЕНИЯ СУДНОМ ПРИ ШВАРТОВКАХ 132

Э.И. Закирова ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕХНОЛОГИИ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ВЫБОРА МАГИСТЕРСКОЙ ПРОГРАММЫ 135

Р.Н. Захаров, И.Б. Бондаренко МЕТОД АНАЛИЗА ПОПУЛЯРНОГО КОНТЕНТА СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЕЙ 139

В.О. Зотов ВЛИЯНИЕ ПЛАСТИЧЕСКОЙ НЕУСТОЙЧИВОСТИ ПРИРЕЗЦОВЫХ СЛОЕВ ОБРАБАТЫВАЕМОГО МАТЕРИАЛА НА ИЗНАШИВАНИЕ ТВЕРДОСПЛАВНОГО ИНСТРУМЕНТА 141

А.С. Исаев, Е.А. Хлюпина ПРИНЯТИЕ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ УГРОЗ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ 145
Е.Г. Ишкина ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ И СЕРВИСА ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ В РОССИИ 148
И.В. Карнаухова, В.Н. Карнаухов, Д.А. Захаров ВЛИЯНИЕ ВОДЯНЫХ ПАРОВ НА ТОПЛИВНУЮ ЭКОНОМИЧНОСТЬ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ 151
Д.О. Кочетов, А.А. Дубков, Д.М. Кононов, А.В. Жданов ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК НИТРИДНЫХ И УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ALSICR И ALSITI 154
Т.А. Кузнецова, П.В. Репп АНАЛИЗ СВЯЗНОСТИ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ AS-ГРАФА НА БАЗЕ СРАВНЕНИЯ РАБОТЫ ПРОТОКОЛОВ IPV4 И IPV6 С ПРИМЕНЕНИЕМ АЛГОРИТМОВ K- CORE АНАЛИЗА 157
Д.Н. Куклев ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПРОПУСКА ПОЕЗДОВ ПО УГЛОВОЙ СОЕДИНИТЕЛЬНОЙ ВЕТВИ 160
Н.В. Куклева О КРИТЕРИИ ВЫБОРА СТАНЦИЙ ДЛЯ ПЕРЕУСТРОЙСТВА ПОД СКОРОСТНОЕ ДВИЖЕНИЕ ПАССАЖИРСКИХ ПОЕЗДОВ ПРИ ОГРАНИЧЕННЫХ КАПИТАЛЬНЫХ ВЛОЖЕНИЯХ 163
М.А. Куликов ИССЛЕДОВАНИЕ СОЛЕОТЛОЖЕНИЙ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ОБОРУДОВАНИИ ПРОИЗВОДСТВА ХЛОРИДА КАЛИЯ МЕТОДОМ ТЕРМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА 166
М.А. Куликов, С.Г. Козлов, О.Р. Середкина ПРИМЕНЕНИЕ ИК-ФУРЬЕ СПЕКТРОСКОПИИ ДЛЯ АНАЛИЗА СОЛЕОТЛОЖЕНИЙ ПРОИЗВОДСТВА ХЛОРИДА КАЛИЯ 169
В.Х. Май, Н.Н. Черникова, А.И. Сердюк ФОРМАЛИЗОВАННЫЙ АППАРАТ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ 172
А.А. Медведев, Е.Н. Созинова РАЗРАБОТКА КОНЦЕПТУАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ 175
Е.И. Ивкин, Ю.Д. Козинер, А.В. Мельников, Д.Ю. Козинер ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ГАЗОРАЗРЯДНЫХ КАМЕР ДЛЯ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ПЛАЗМЕННЫХ ЭНЕРГОУСТАНОВОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ 178
И.И. Нуреев ВЕКТОРНЫЙ АНАЛИЗАТОР СЕТЕЙ НА ОСНОВЕ АМПЛИТУДНО-ФАЗОВОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ОПТИЧЕСКОЙ НЕСУЩЕЙ 183
Б.П. Перелыгин, С.А. Борисов МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ АЭРОСТАТА В АТМОСФЕРЕ МАРСА С ПОМОЩЬЮ СИСТЕМЫ MAPLE 187
С.В. Прохоров ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕХНИЧЕСКОЙ ГОТОВНОСТИ СТРОИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ С УЧЕТОМ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОНЫХ И ВОЗРАСТНЫХ ФАКТОРОВ 193
Ю.Н. Разумный, П.Г. Козлов, В.Ю. Разумный МЕТОДИКА РАСЧЕТА МНОГОЯРУСНЫХ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ НА КРУГОВЫХ И ЭЛЛИПТИЧЕСКИХ НОДАЛЬНО-СИНХРОННЫХ ОРБИТАХ 196
Ю.Н. Разумный, П.Г. Козлов, В.Ю. Разумный АНАЛИЗ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ ЗАВИСИМОСТЕЙ ДЛЯ КРУГОВЫХ И ЭЛЛИПТИЧЕСКИХ ОРБИТ, ОБЛАДАЮЩИХ СВОЙСТВОМ НОДАЛЬНОЙ СИНХРОННОСТИ 200
А.Д. Резниченко, А.А. Аббакумов, С.А. Панфилов СОЗДАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ НА БАЗЕ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СЕТЕЙ САЙТОВ 205
А.А. Родькин ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ РАБОТЫ АЛГОРИТМА РАСПОЗНАВАНИЯ НОМЕРА ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ВИОЛЫ-ДЖОНСА 210

Е.Н. Созинова, А.А. Медведев РИСК-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ПОДХОД К ПРОВЕДЕНИЮ АУДИТА ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ 215
В.А. Столярчук ПОДДЕРЖКА ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОБИЛЬНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ 218
Р.Г. Хабибуллин, Г.А. Семенченко, Р.Р. Хайруллин ИССЛЕДОВАНИЕ КОНЦЕПЦИИ ОТКРЫТОГО ОБМЕНА ДИАГНОСТИЧЕСКИМИ ДАННЫМИ 221
Р.Р. Хайруллин, Н.Н. Сафронов СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СВС-АЛЬСИФЕРА ИЗ ДИСПЕРСНЫХ ОТХОДОВ МАШИНОСТРОЕНИЯ 224
Р.А. Хлопотов О СТРУКТУРЕ РЫНКА ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ ПО ТИПУ ТРАНСМИССИИ И ТЕНДЕНЦИИ ПОВЫШЕНИЯ ДОЛИ АВТОМОБИЛЕЙ, ОСНАЩЕННЫХ ГИДРОМЕХАНИЧЕСКОЙ КОРОБКОЙ ПЕРЕДАЧ 228
С.С. Хмелёв, В.Н. Хмелёв, Р.Н. Голых, Ю.М. Кузовников РАЗРАБОТКА СТЕНДА ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ КАВИТАЦИОННО-АКУСТИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ 231
Т.А. Чуваткина ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ПОТОКА ИЗЛУЧЕНИЯ БАКТЕРИЦИДНЫХ ЛАМП 235
О.В. Шиндор, Т.А. Изосимова, Ю.К. Евдокимов ДИАГНОСТИКА РОТОРНЫХ МАШИН С АКТИВНЫМ МАГНИТНЫМ ПОДВЕСОМ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ВИБРАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ МЕТОДАМИ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ 238

АННОТАЦИИ 242

THE RELEASE MAINTENANCE

V.S. Minkin, P.P. Sukhanov CONFORMATIONAL NMR-ANALYSIS OF BRANCHED INDUSTRIAL LIQUID THIOKOLS 10
V.S. Minkin, P.P. Sukhanov, B.N. Ivanov, A.P. Sukhanov OPTIMIZING ADDING AGENT FOR SEALANTS ON THE BASE OF POLYSULFIDE OLIGOMERS 14
I.V. Fadeyev, V.K. Polovnik, S.S. Eremeeva, Sh.V. Sadetdinov THE INFLUENCE AMINOBORONIC COMPOSITIONS FOR ANTICORROSIVE PROPERTIES OF THE STEEL 19

PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES

V.V. Abramova THE SOLUTION OF PERIODIC INTEGRAL CONVOLUTION EQUATIONS WITH POSITIVE OPERATORS 25
T.M. Borisova, R.A. Castro, S.D. Hanin DIELECTRIC RELAXATION IN PLANAR STRUCTURES BASED ON AL_2O_3 LAYERS GROWN BY MOLECULAR LAYERING 29
D.P. Danilaev, M.P. Danilaev, N.V. Dorogov THE CAPSULATION PROCESS EFFECTIVENESS IN MULTIPHASE GAS FLOWS 34
V.V. Druzhinin, A.A. Lazarev, D.D. Usanov SIEVE DEDUCTIONS IN THE THEORY OF PRIME NUMBERS 38
R.A. Kastro, N.I. Anisimova, L.A. Nabiullina, G.I. Grabko PHOTOINDUCED CHANGE OF SPECTRAL DEPENDENCE OF OPTICAL PARAMETERS IN VITREOUS $AS_{50}SE_{50}$ SYSTEM 40
E.N. Lubiagina PARTIAL SEMIRINGS OF CONTINUOUS FUNCTIONS 44
S.V. Rykov, D.A. Kudryavtsev, V.A. Rykov, A.V. Sverdlov UNIFORM NON-ANALYTIC EQUATION OF STATE SATISFYING SCALE HYPOTHESIS 47
S.V. Rykov, D.A. Kudryavtsev, V.A. Rykov, E.G. Selina THE EQUATION FOR THE SATURATION LINE R236EA 51
E.S. Sibgatullin, O.G. Novoselov, K.E. Sibgatullin LIMIT STATE VOLUMETRIC FINITE ELEMENTS IN TRIAXIAL STATE OF STRESS 54
A.N. Uglov, G.A. Yakupova ON THE UNIQUE SOLVABILITY SPATIAL NONLINEAR BOUNDARY VALUE PROBLEMS FOR ARBITRARY ELASTIC IZOTROPIC INHOMOGENEOUS BODY 59
L.S. Kharasova SOLVABILITY OF ONE GEOMETRICALLY NONLINEAR BOUNDARY-VALUE PROBLEM FOR SHALLOW SHELLS OF TIMOSHENKO TYPE WITH PIVOTALLY SUPPORTED EDGES 63
A.M.A. Henaish, D.M. Spiridonov, A.S. Vokhmintsev, I.A. Weinstein PHOTOLUMINESCENCE QUENCHING IN h-BN MICROPOWDER ABOVE ROOM TEMPERATURE 67

CHEMICAL SCIENCE

K.G. Belova, A.V. Obrubova, S.S. Nokhrin, I.E. Animitsa CONDUCTIVITY OF PEROVSKITE-LIKE SOLID SOLUTIONS $Ba_4Ca_2Nb_{2-x}P_xO_{11}$ 71
V.V. Shmidt, I.G. Zhikhareva, A.A. Rakashov PREDICTING THE PHASE COMPOSITION AND CONCENTRATION BOUNDARIES FOR THE EXISTENCE OF THE PHASE TRIPLE ELECTROLYTIC ALLOYS ZN-NI-CO 74

ENGINEERING SCIENCE

V.V. Anikeev, V.D. Ilinyh THE TEMPERATURE INFLUENCE ON THE LIFE OF THE ENGINE KAMAZ-4310 79
A.F. Anchugova, R.M. Galiev, N.S. Galimov, R.T. Nasibullin, I.M. Nuriev, A.N. Sushchikova FEATURS OF THE AUTOMOBILE GENERATORS' USING IN ADVANCED DESIGNS OF THE WIND POWER EQUIPMENT 82

M.K. Boidalo, G.P. Zhigulin PRACTICAL TEST OF THE METHOD AND MODEL OF EVALUATION OF PERSONNEL PROFESSIONAL APPROPRIATENESS FOR INFORMATION SECURITY ENSURING 86
M.K. Boidalo, G.P. Zhigulin ORGANIZATION'S STAFF AS VULNERABILTY OF INFORMATION SECURITY: ATTACKS AND DEFENSES 89
S.A. Bondarenko, A.N. Efremov, S.N. Merzlyakov, U.V. Sokolkin, V.Ya. Modorsky, A.V. Kozlova NUMERICAL SIMULATION OF GAS DYNAMIC PROCESSES IN THE CHANNELS OF COMPLICATED GEOMETRY 92
A.P. Buinosov, D.Yu. Kozakov DEVELOPMENT OF THE MOBILE MACHINE FOR TURNING OF WHEELPAIRS OF THE ELECTRIC TRAIN 97
A.P. Buinosov, I.V. Umylin OPTIMIZATION OF PROCESS OF TURNING OF BANDAGES OF WHEELPAIRS OF LOCOMOTIVES 101
A.M Vasilyev, V.K. Garipov, M.A. Kostromin QUESTIONS OF APPLICATION OF DYNAMIC ROUTING IN THE DISTRIBUTED INFORMATION-MEASURING SYSTEMS 105
V.I. Voronov, F.N. Nuramov THE INFLUENCE OF MANUFACTURING ERRORS OF MULTI-FIBER EMITTER FOR FREE SPACE OPTICS ON THE RECEPTION AREA FIELD 109
D.M. Vokhmin RATIONALE FOR INFLUENCE FACTOR COKING SPRAYER MAINTENANCE INTERVALS INJECTORS DIESEL ENGINES 113
D.M. Vokhmin, V.D. Ilinyh MODEL RESOURCE GENERATION INJECTION NOZZLES ENGINES 740.31-240 KAMAZ-53215 BASED ON THE AVERAGE SPEED OVER OPERATION 116
R.M. Galiev, A.Z. Gumerov, R.T. Nasibullin, A.Sh. Sadriev, R.Sh. Sadriev, L.R. Sarimov ELECTRONIC SELECTORS FOR TRANSMISSION OF KAMAZ TRUCKS 119
T.P. Dvoryaninova, A.V. Zhdanov, L.V. Belyaev STUDY CHARACTERISTICS NITRIDE AND CARBON-BASED COATINGS AlSiCr AND AlSiTi 122
N.A. Dorodnikov REALIZING GENETIC ALGORITHMS CALCULATING THE PARAMETERS OF THE MODEL OF UNIVERSAL LAN WHILE COUNTERACT INFORMATION SECURITY THREATS 126
A.A. Ershov, A.V. Terenchuk SAFETY OF STORM NAVIGATION OF THE VESSELS 129
A.A. Ershov, D.A. Huharev IMPROVEMENT OF MOORING OF THE SHIPS 132
E.I. Zakirova ABOUT USING EXPERT SYSTEMS FOR SOLVING PROBLEMS OF SELECTION OF MASTER'S PROGRAMS 135
R.N. Zaharov, I.B. Bondarenko DETECTING POPULAR CONTENT ON SOCIAL NETWORKS 139
V.O. Zotov THE INFLUENCE OF PLASTIC INSTABILITY PERISCOPIC LAYER OF THE PROCESSED MATERIAL ON THE WEAR OF CARBIDE TOOL 141
A.S. Isaev, E.A. Khluypina MAKING MANAGEMENT DECISIONS UNDER UNCERTAINTY OF INFORMATION SECURITY THREAT 145
E.G. Ishkina FEATURES OF OPERATION AND SERVICE CARS IN RUSSIA 148
I.V. Karhauhova, V.N. Karnauhov, D.A. Zaharov THE INFLUENCE OF WATER VAPOR ON THE FUEL EFFICIENCY OF INTERNAL COMBUSTION ENGINES 151
D.O. Kochetov, A.A. Dubkov, D.M. Kononov, A.V. Zhdanov STUDY CHARACTERISTICS NITRIDE AND CARBON-BASED COATINGS ALSICR AND ALSITI 154
T.A. Kuznetsova, P.V. Repp THE ANALYSIS OF CONNECTIVITY OF EUROPEAN PART OF AS-GRAPH BASED ON COMPARISON OF IPV4 AND IPV6 PROTOCOLS WORK WITH USE OF THE K- CORE ANALYSIS ALGORITHM 157
D.N. Kuklev FORMALIZATION OF THE PROCESS OF PASSING TRAINS BY ANGULAR CONNECTING PATH 160

N.V. Kukleva ABOUT SELECTION CRITERIA OF STATIONS FOR RECONSTRUCTION UNDER HIGH-SPEED TRAFFIC OF PASSENGER TRAINS WITH LIMITED CAPITAL INVESTMENT 163
M.A. Kulikov SCALE STUDY ON THE PROCESS EQUIPMENT PRODUCTION OF POTASSIUM CHLORIDE BY THERMAL ANALYSIS 166
M.A. Kulikov, S.G. Kozlov, O.R. Seredkina APPLICATION OF FTIR SPECTROSCOPY TO ANALYZE SCALE OF POTASSIUM CHLORIDE PRODUCTION 169
V.H. May, N.N. Chernikova, A.I. Serdyuk A FORMAL APPARATUS FOR THE DEVELOPMENT OF SYSTEMS OF THE AUTOMATED DESIGNING OF TECHNOLOGICAL PROCESSES 172
A.A. Medvedev, E.N. Sozinova DEVELOPMENT OF A CONCEPTUAL MODEL OF INFORMATION SECURITY OF THE ORGANIZATION 175
E.I. Ivkhin, Y.D. Koziner, A.V. Melnikov, D.Y. Koziner MANUFACTURING TECHNOLOGY OF GAS DISCHARGE CHAMBERS FOR HIGH-FREQUENCY PLASMA POWER PLANTS WITH THE USE OF ULTRASONIC METHODS OF PROCESSING 178
I.I. Nureev VECTOR NETWORK ANALYZER BASED ON AMPLITUDE-PHASE CONVERSION OF OPTICAL CARRIER 183
B.P. Perelygin, S.A. Borisov MODELLING OF MOTION OF AN AIR BALLOON IN A MARS ATMOSPHERE WITH USE OF MAPLE SYSTEM 187
S.V. Prohorov DETERMINATION COEFFICIET OF TECHNICAL READINESS CONSTRUCTION MACHINERY VIEW OF THE IMPACT OF OPERATIONAL AND AGE FACTOR 193
Yu.N. Razoumny, P.G. Kozlov, V.Yu. Razoumny A METHOD FOR CALCULATING PARAMETERS OF COMPOUND SATELLITE CONSTELLATIONS ON CIRCULAR AND ELLIPTIC NODALLY SYNCHRONIZED ORBITS 196
Yu.N. Razoumny, P.G. Kozlov, V.Yu. Razoumny ANALYZING PARAMETRIC RELATIONS FOR CIRCULAR AND ELLIPTIC NODALLY SYNCHRONIZED ORBITS 200
A.D. Reznichenko, A.A. Abbakumov, S.A. Panfilov BUILDING INFORMATIONAL SYSTEMS BASED ON DISTRIBUTED WEBSITE NETWORKS 205
A.A. Rodkin IMPROVING OF THE ACCURACY OF THE VEHICLE NUMBER RECOGNITION ALGORITHM USING THE METHOD OF VIOLA-JONES 210
E.N. Sozinova, A.A. Medvedev A RISK-BASED APPROACH TO THE AUDIT OF INFORMATION SECURITY 215
V.A. Stolyarchuk ROCKET AND SPACE SYSTEMS LIFECYCLE MAINTENANCE USING MOBILE APPLICATIONS 218
R.G. Habibullin, G.A. Semenchenko, R.R. Khayrullin INVESTIGATION OF THE OPEN EXCHANGE OF DIAGNOSTIC DATA 221
R.R. Khayrullin, N.N. Safronov STRUCTURAL FEATURES OF SHS-ALSIFER FROM THE DISPERSED RUNOFFS IN MACHINE MANUFACTURING 224
R.A. Khlopotov ABOUT THE STRUCTURE OF THE LIGHT VEHICLE MARKET BY TYPE OF TRANSMISSION AND TRENDS INCREASING THE SHARE OF VEHICLES EQUIPPED WITH HYDROMECHANICAL TRANSMISSION 228
S.S. Khmelev, V.N. Khmelev, R.N. Golykh, Y.M. Kuzovnikov DEVELOPMENT OF STAND FOR RESEARCH OF CAVITATION AND ACOUSTIC PHENOMENONS 231
T.A. Chuvatkina FEATURES MEASUREMENTS RADIATION FLUX OF BACTERICIDAL LAMPS 235
O.V. Shindor, T.A. Izosimova, Yu.K. Evdokimov DIAGNOSTICS OF ROTATING MACHINES BASED ON VIBRATION PARAMETRS ANALYSIS WITH WAVELET TRANSFORM 238

ABSTRACTS 242

В.С. Минкин д.х.н., П.П. Суханов д.х.н.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет», Казань, yerus@yandex.ru paulpost3@yandex.ru

КОНФОРМАЦИОННЫЙ ЯМР-АНАЛИЗ РАЗВЕТВЛЕННОСТИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЖИДКИХ ТИОКОЛОВ

Анализ статистического набора спектров ЯМР ^{13}C промышленных и лабораторных образцов тиоколов показал, что разветвленность промышленных жидких тиоколов коррелирует с конформационными особенностями их молекулярных цепей, расположенных в окрестности центров разветвления. Разработанная на этой основе методика делает текущий ЯМР – контроль разветвленности промышленных жидких тиоколов более доступным и позволяет проводить его в ускоренном режиме.

Ключевые слова: *жидкие тиоколы, степень разветвленности, конформация, ядерный магнитный резонанс.*

Многие свойства жидких тиоколов зависят от степени их разветвленности, которая определяется количеством вводимого при синтезе разветвляющего агента - 1,2,3-трихлорпропана (ТХП) [1 - 3]. При этом не существует надежного химического метода количественного анализа степени разветвленности олигомеров и степени превращения ТХП. В то же время при первоначальном исследовании строения разветвленных жидких тиоколов методами ЯМР - ^{1}H и - ^{13}C спектроскопии было установлено [4 - 6], что молекулы разветвляющего агента в составе полимерной цепи дают сигналы, интенсивность которых пропорциональна его исходной концентрации в реакционной смеси [4 - 6].

В этой связи нами была проведена обработка более 50 спектров различных образцов жидких промышленных и лабораторных тиоколов, которые записывались в условиях управляемой широкополосной развязки спин-спинового взаимодействия ядер углерода с протонами на ЯМР-спектрометре WP-80 с числом накоплений NS = 4000. Получаемые значения параметров спектров (химические сдвиги и интенсивности) анализировались на возможность корреляции друг с другом и с исходной концентрацией разветвляющего агента.

Измерения времен продольной релаксации T_1 отдельных функциональных групп тиоколов показали [6], что наибольшим значением T_1 = 0,87 секунд (или ~ 1 с) характеризуется CH_2S-группа. Это позволило установить необходимый для достижения равновесного состояния спиновой системы интервал времени τ между зондирующими импульсами (τ ~ 5 с), откуда следовало минимальное время накопления сигнала для записи спектров жидких тиоколов (с приемлемой интенсивностью пиков от 20% - ного раствора C_6H_6) порядка ~ 5, 5 часов.

Строение разветвленного жидкого тиокола на основе 2,2`- дихлордиэтилформаля может быть представлено в виде [1 - 3]:

$$HS-\left[R-S-S\right]_n-CH_2-\underset{\underset{S-S-\left[R-S-S\right]_m-R-SH}{|}}{CH}-CH_2-S-S-CH_2-CH_2-O-CH_2-O-CH_2-CH_2-SH$$

где $R = -CH_2-CH_2-O-CH_2-O-CH_2-CH_2-$

- остаток формалевой цепи мономера, причем для промышленных тиоколов различных марок и молекулярных масс n + m ~ 6 ÷ 15.

В работе использовались промышленные жидкие тиоколы со следующими характеристиками (таблица 1).

Таблица 1. Характеристики промышленных жидких тиоколов

№ обр.	Марка тиокола	Содержание железа, %	SH·, %	Содержание серы, %	η, Па·С	Содержание ТХП, % мол.
1	158	0,014	2,16	39,8	37,9	2
2	374	0,013	2,1	39,0	33,4	2
3	266	0,021	1,98	39,2	41,2	2
4	574	0,013	2,25	39,0	36,0	2
5	437	0,012	1,92	39,0	47,8	2
6	LP-2	0,002	1,23	36,9	33,2	2

Полученный при использовании вышеописанной методики характерный спектр разветвленного тиокола приведен на рис. 1.

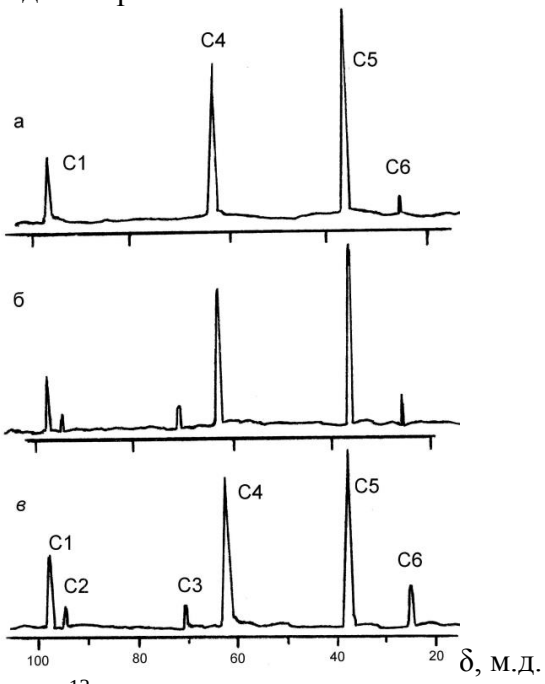


Рисунок 1 – Спектры ЯМР ^{13}C линейного (а) и разветвленных (б, в) тиоколов при содержании ТХП до 3% (б) и при 5% мол. (в).

Аналогичный вид имеют спектры ЯМР ^{13}C промышленных партий разветвленных жидких тиоколов.

Ниже (табл. 2) приведены ЯМР - параметры соответствующих им фрагментов структуры разветвленного тиокола.

Таблица 2. Диапазоны изменения параметров сигналов ядер ^{13}C промышленных жидких тиоколов (по экспериментальным и литературным данным [4 - 8]).

Атом углерода	C1	**C2**	**C3**	C4	C5	C6
Функциональная группа	OCH_2O, OCH_2Oк*	OCH_2O- -$\underline{C}H_2O$- -CH_2-O, - CHCl	HS- -CH_2- O$\underline{C}H_2$, - CHSS	(H)OCH_2, OCH_2к*	CH_2SS, CH_2SSк* $CH_{(2)}S(S, CH_{(2)},H)$, $CH_{(2)}S(S, CH_{(2)},H)$к*	CH_2SH, $\underline{C}H_{(2)}$- $\underline{C}H_3$
Интервал δ ^{13}C, м.д.**	95-96	91-92	70-71	60-71	31-42	23 - 28
Интегральная** интенсивность, отн. ед.	47-50	2-4	6-10	95-100	91-95	7-12

*- **к - конформ**ационные сигналы – пики, связанные с изменением конформаций цепей (и обусловленные вариациями напряженностей связей в группах), что может вызываться

топологическими и(или) структурно-динамическими переходами - разветвлением, циклообразованием, димеризацией или межцепными обменными или донорно-акцепторными взаимодействиями;
**- в зависимости от марки и молекулярной массы при 2% - ной мольной концентрации ТХП в реакционной смеси.

Особенностью таблицы 2 является отсутствие разрешенных сигналов от третичных и, особенно, четвертичных атомов углерода, непосредственно характеризующих центры разветвления [7, 8]. Однако наблюдаемые изменения в спектрах разветвленных образцов можно объяснить преобразованиями в конформационной структуре олигомеров после введения разветвляющего агента. При этом общее количество метиленовых групп, конформационно-связанных с разветвленными фрагментами в макромолекулах жидких тиоколов (табл. 2), составляет от одной четверти до одной трети от общего числа метиленовых групп в олигомерах.

Ранее было показано [4 - 6], что одновременное появление в спектрах ЯМР ^{13}C жидких тиоколов сигналов от ядер углерода С-2 и С-3 обусловлено разветвлениями различного типа, а сигнала С-2 – также и наличием вторичного атома хлора в молекуле ТХП, чья низкая реакционноспособность может приводить к закреплению в цепи олигомеров хлорсодержащих фрагментов. Последние проявляют себя, в том числе, конформационными изменениями, вызванными взаимодействием атомов хлора с энергетически активными точками соседних цепей. При этом интенсивности сигналов С3 и С6 закономерно коррелируют, поскольку характеризуют метиленовые группы концевых структур (пику С3 соответствует фрагмент O***CH_2*** – CH_2 – SH, а сигналу С6 - метиленовые группы OCH_2 – ***CH_2*** – SH) и сигнал ***CH_2***-C(H) центра разветвления.

Так как эта корреляция наблюдается только в присутствии ТХП, можно предположить, что С3 – типично конформационный сигнал, обусловленный соседством соответствующей метиленовой группы с фрагментами CH-SS разветвляющего агента. Аналогично в сигнале С2 просматривается связь диформалевых фрагментов с CHCl – участками разветвленных цепей.

Исходя из предположения о том, что интенсивность сигнала С2 коррелирует с концентрацией фрагментов CH-Cl и(или) CH-SH и, соответственно, короткоцепочечных разветвлений, а сигнал С3 – с концентрацией фрагментов CH-SS и, соответственно, длинноцепочечных разветвлений, по полученным спектрам ЯМР ^{13}C был проведен количественный анализ степени и характера разветвленности жидких тиоколов (таблица 3).

Необходимо отметить, что интегральные интенсивности большинства сигналов в спектрах ЯМР в первом приближении соответствуют одному молю метиленовых групп в различном окружении (пики С4 и С5 соответствуют двум молям CH_2).

Таблица 3. Количественное соотношение метиленовых групп, конформационно связанных с разветвленными фрагментами ряда промышленных тиоколов.

№	Марка тиокола	Разветвленные фрагменты, % мол. (С3)	Хлорнезамещенные фрагменты, % мол. (С2)
1	156	26	6
2	374	22	6
3	266	32	12
4	574	36	12
5	437	29	9
6	LP-2	25	5

При этом содержание хлорнезамещенных фрагментов, определенное по интегральным интенсивностям конформационных сигналов (табл. 2), колеблется от 6 до 12% и, как правило, заметно превосходит плотность короткоцепочечных разветвлений в импортном тиоколе LP-2.

Последнее, например, оказывает влияние на кинетику вулканизации и структуру вулканизатов жидких тиоколов [3, 9].

Проведенный анализ статистически достоверной по объему выборки образцов выявил и подтвердил, что характер наблюдаемых спектров, интенсивность сигналов, наличие и разброс химических сдвигов отдельных групп олигомеров сильно зависят от ряда причин, среди которых в первую очередь следует отметить время хранения тиоколов, содержание примесей и общей серы в образцах. Именно они существенно влияют на скорость реакций межцепного тиол-дисульфидного и дисульфид-дисульфидного обмена в тиоколах [1 - 3]. Кроме того, известно, что в присутствии лабильной серы и по мере протекания в массе олигомера обменных реакций значительно изменяется активность кислородсодержащих групп $–OCH_2O–$ и $–OCH_2–$ олигомерной цепи [1, 2].

Наличие обменных реакций и повышенная активность метиновых протонов в цепях промышленных жидких тиоколов могут привести к появлению новых структур или перестройке старых центров разветвления. Во многих случаях эти факторы и определяют реально наблюдаемые конформационные признаки разветвлений и определяемую по ним эволюцию этих разветвлений, регистрируемые спектроскопически в промышленных образцах с течением времени.

Таким образом, предлагаемый способ отслеживания параметров разветвленности жидких тиоколов, в отличие от метода непосредственной регистрации сигналов разветвления [7, 8], основан на корреляции и параметров ЯМР, и разветвленности олигомеров с конформационной структурой олигомера. При этом не требуется привлечения прецизионных измерений и значительных затрат времени, что делает его более приемлемым для использования в качестве методики рутинного технологического анализа разветвленных промышленных жидких тиоколов.

Список литературы

1. Аверко-Антонович, Л.А. Полисульфидные олигомеры и герметики на их основе. / Л.А. Аверко-Антонович, П.А. Кирпичников, Р.А. Смыслова. – Л.: Химия, 1983. – 128 с.

2. Кирпичников, П.А. Химия и технология СК. / П.А. Кирпичников, Л.А. Аверко-Антонович, Ю.О. Аверко-Антонович. - Л.: Химия, 1976. – 506 с.

3. Хакимуллин Ю.Н., Минкин В.С., Палютин Ф.М., Дебердеев Т.Р. Герметики на основе полисульфидных олигомеров: синтез, свойства, применение, М., Наука, 2007, 302 с.

4. Минкин, В.С. / В.С. Минкин, Л.А. Аверко-Антонович, В.В. Зыкова, П.П. Суханов, Нефедьев Е.С., Шляхтер Р.А. // Высокомолек. Соед. 1982. Т. 24Б. № 9. С. 712-716.

5. Минкин, В.С. О строении разветвленных полисульфидных олигомеров. / В.С. Минкин, В.В. Зыкова, Л.А. Аверко-Антонович, П.А. Кирпичников, П.П. Суханов // Высокомолек. Соед. 1984. Т. 26Б. № 3. С. 217-220.

6. Зыкова, В.В. Определение степени разветвленности полисульфидных олигомеров с помощью ЯМР ^{13}C. / В.В. Зыкова, В.С. Минкин // Журн. Прикл. Спектр. 1984. Т. 41. № 2. С. 318-321.

7. Mazurek, W. ^{13}C NMR of Polysulfide Prepolymers. / W. Mazurek, A.G. Moritz. // Macromolecules, 1991, 24, 3261 – 3265.

8. Суханов, П.П. Исследование процессов структурирования олигомерных композиций методами радиоспектроскопии. / П.П. Суханов, В.С. Минкин. - Казань: КГТУ. 2011. 223 с.

В.С. Минкин д.х.н., П.П. Суханов д.х.н., Б.Н. Иванов д.т.н., А.П. Суханов

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет», Казань,
yerus@yandex.ru, paulpost3@yandex.ru, ivanovbn@rambler.ru, habaluzdar@mail.ru

ОПТИМИЗИРУЮЩАЯ ДОБАВКА ДЛЯ ГЕРМЕТИКОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИСУЛЬФИДНЫХ ОЛИГОМЕРОВ

Разработаны новые рецептуры составов герметиков на основе полисульфидных олигомеров с добавлением серосодержащих битуминозных песчаников. Получены герметизирующие композиции с оптимальной жизнеспособностью, повышенной адгезией и стабильными физико-механическими свойствами, которые прошли пробные испытания и рекомендованы для промышленного применения. Показано, что механизм полифункционального действия оптимизирующей добавки может быть обусловлен ее участием в физико-химических стадиях процесса отверждения полисульфидных олигомеров диоксидами марганца.

Ключевые слова: *герметизирующие композиции, полисульфидные олигомеры, битуминозный песчаник, адгезия, жизнеспособность, рецептурный состав.*

Герметизирующие композиции на основе полисульфидных олигомеров (ПСО) находят широкое применение в различных областях строительства, авиационной, машиностроительной промышленности, судостроении, радиотехнике для герметизации несущих элементов и узлов, стеклопакетов, вводов, паек и т.д. [1, 2].

Герметизирующие композиции на основе ПСО являются многокомпонентными системами, чьи физико-механические показатели предопределяются строением полисульфидных цепей и функциональным назначением вводимых добавок и наполнителей.

Большое число дисульфидных связей и концевых меркаптановых групп обеспечивает ПСО возможность широкого применения в качестве низкотемпературных протекторных покрытий широкого спектра действия. Но по мере расширения областей их применения возникает естественная потребность в корректировке состава герметизирующих систем и(или) их оптимизации применительно к новой сырьевой базе. В частности, большой практический интерес представляют новые герметизирующие композиции с добавлением серосодержащих битуминозных песчаников [3] .

В этой связи в настоящей работе проведено исследование композиций на основе промышленных ПСО (характеристики которых представлены в таблице 1) и битуминозных песчаников Татарстана (см. таблицу 2). Характеристики промышленных образцов диоксидов марганца, использованных при отверждении герметиков, приведены в таблице 3.

Для приготовления герметизирующих композиций без содержания битуминозных песчаников использовали:

1 - полисульфидный олигомер – ГОСТ 12812-80;

2 - диоксид марганца в виде вулканизирующей пасты № 9 – ГОСТ 4470-70;

3 - технический углерод П-803 – ГОСТ 7885-77;

4 - дифенилгуанидин (ДФГ) – ускоритель – ГОСТ 40-67.

Технология вулканизации ПСО, содержащих битуминозные песчаники, также приведена в [3, 4].

Таблица 1 – Характеристики используемых промышленных ПСО

Наименование показателя	Образцы ПСО				ГОСТ 12812-80		
	НВБ-II	НВБ-II	ПСО I марки	ПСО II марки	НВБ-II	ПСО I марки	ПСО II марки
1	2	3	4	5	6	7	8
Молекулярная масса, M_n	2200	2600	2700	2200	2300	2780	2300
Содержание SH-групп, %	3,03	2,48	2,33	3,37	3,0-4,0	2,3-3,3	3,3-3,32
Массовая доля общей серы, %, не более	39,6	38,7	38,7	38,1	40,0	40,0	40,0
Функциональность, f_n	1,7	2,0	1,8	1,8	-	-	-
Вязкость при 25°С, Па·с	6,7	8,8	17,3	8,82	7,5-11,0	15,0-30,0	7,5-11,0
η_D^{20}	1,5762	1,5777	1,5777	1,5745	1,5748	1,5759	1,5775
Содержание воды, не более, мас.%	0,18	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
Содержание железа, не более, мас.%	0,015	0,018	0,012	0,012	0,015	0,015	0,015
Массовая доля примесей, не растворимых в бензоле	0,6	0,6	0,6	06	0,6	0,6	0,6

Таблица 2 – Коллекторные свойства используемых битуминозных песчаников

№№ п/п	Битуминозная порода	Содержание серы,%	Усредненная удельная поверхность, $м^2/г$	Среднее содержание битума, мас. %	Извлекаемость	
					Термолиз	Экстракция
1	2	3	4	5	6	7
1	Ашальчинский песчаник (АП)	0,4-0,7	0,70	12,5	95	90
2	Сугушлинский песчаник (СП)	0,3-0,5	0,45	8,6	96	92
3	Шугуровский песчаник (ШП)	0,4-0,6	0,30	5,6	98	95
4	Горский песчаник (ГП)	0,4-0,6	0,47	9,4	90	80

Таблица 3 – Характеристики промышленных партий диоксида марганца, использованных при отверждении герметиков

№ партии	Содержание MnO_2, %	Содержание влаги, %	Содержание нерастворимых веществ, %
1	2	3	4
155 (паста)	80,0	1,50	0,20
67 (паста)	76,8	1,76	0,10
183 (паста)	82,9	0,82	0,09
256 (паста)	81,6	0,69	0,10
159 (паста)	80,6	0,58	0,06
136 (паста)	82,0	0,23	0,03
166 (паста)	80,0	0,53	0,04

Комплекс физико-механических показателей вулканизатов ПСО с добавлением серосодержащих битуминозных песчаников в основном отвечал требованиям соответствующих отечественных стандартов:

1 Модуль упругости при удлинении, МПа – ГОСТ 21751-76;
2 Разрушающее напряжение при растяжении, МПа – ГОСТ 21751-76;
3 Относительное удлинение, % – ГОСТ 21751-76;
4 Сопротивление отслаиванию от дюралюминия Д-16АТ, кН/м – ГОСТ 21981-76;
5 Твердость по Шору, усл. ед. – ГОСТ 263-75;
6 Жизнеспособность при 25 0С, относительной влажности воздуха 27%, в час. – ТУ 36-105-483-72.

Рецептуры герметизирующих композиций представлены в таблице 4.

*Таблица 4 – Рецепты вулканизации полисульфидных олигомеров, содержащих битуминозный песчаник, мас.ч.**

Компоненты	Номера рецептур						
	1	2	3	4	5	6	7
1	2	3	4	5	6	7	8
1 Полисульфидный олигомер (марка)	100 (НВБ-II)	100 (НВБ-II)	100 (ПСО I марки)	100 (ПСО I марки)	100 (ПСО II марки)	100 (ПСО II марки)	100 (НВБ-II)
2 Промышленная вулканизующая паста № 9 на основе MnO_2	15 (155)	15 (67)	15 (183)	15 (256)	15 (159)	15 (136)	15 (155)
3 Ускоритель вулка-низации дифенил-гуанидин (ДФГ)	0,6	0,6	0,6	0.6	0.6	0,6	0,6
4 Наполнитель - технический углерод П-803	15	15	15	15	15	15	15
5 Битуминозный песчаник (БП)	5 (АП)*	10 (СП)	15 (ШП)	5 (ГП)	10 (АП)	15 (СП)	-

* АП – Альшачинский песчаник, СП – Сугушменский песчаник, ШП – Шугуровский песчаник, ГП – горский песчаник.

Свойства герметиков, отвержденных диоксидом марганца в присутствии битуминозных песчаников, приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Основные свойства герметиков на базе ПСО, отвержденных диоксидом марганца в присутствии битуминозных песчаников

№№ п/п	Показатели	Герметики с БП						Промышленный вулканизат
		1	2	3	4	5	6	
1	2	4	5	6	7	8	9	10
1	Модуль при 100% удлинении, МПа	1,90 1,85 1,90	1,80 1,85 1,90	2,60 2,60 2,55	2,45 2,50 2,40	2,30 2,33 2,40	2.20 2,27 2,24	1.1
2	Разрушающее напряжение при растяжении, МПа	3,15 3,10 3.20	2,94 2,86 2,90	3,20 3,28 3,26	3,20 3,25 3,15	3,10 3,05 3,12	3.15 3.21 3,18	2.2
3	Относительное удлинение, %	310 300 320	300 290 300	360 350 350	310 315 300	320 325 310	340 330 345	260
4	Остаточное удлинение, %	4	4	8	4	4	8	4
5	Сопротивление отслаиванию от дюр-алюминия Д16-АТ, кН/м	4,78 4,73 4,75	4,50 4,52 4,47	2,60 2,64 2,68	4,80 4,76 4,75	4,70 4,66 4,74	3,40 3,46 3,48	0,80
6	Твердость по Шору, усл.ед.	62 60 62	60 60 62	60 60 61	60 60 60	62 64 62	60 62 62	50
7	Предел прочности, кН/м	2,6 2,5 2,6	2,5 2,6 2,6	2,6 2,6 2,6	2,7 2,6 2,6	2,0 2,1 2,2	1,9 1,9 2,0	2,5
8	Жизнеспособность композиций, $ч^{мин}$.	2^{50} 2^{40} 2^{40}	2^{35} 2^{40} 2^{40}	2^{50} 2^{50} 2^{40}	2^{50} 2^{40} 2^{40}	2^{40} 2^{45} 2^{30}	2^{35} 2^{30} 2^{30}	4^{30}

Анализ полученных данных свидетельствует о том, что введение битуминозных песчаников приводит к существенному повышению адгезии герметизирующих композиций, установлению жизнеспособности в оптимальных для технологии пределах (от двух до трех часов), усилению прочностных и деформационно-эластичных свойств, а также стабилизации физико-механических характеристик герметиков после их отверждения.

Об эффективности введения добавок битуминозных песчаников в полисульфидные композиции можно судить по найденным экспериментальным и теоретическим значениям плотностей цепей полимерных сеток вулканизатов ПСО (см. таблицу 6) для стандартных промышленных вулканизатов и вулканизатов, полученных в присутствии битуминозных песчаников.

Таблица 6 – Рассчитанные значения плотностей цепей полимерных сеток стандартных промышленных вулканизатов ПСО и вулканизатов, полученных в присутствии битуминозного песчаника, с использованием различных вулканизующих агентов

№№ п/п	Состав исходной смеси при синтезе ПСО, моль %	1	2
1	2	3	4
1	2,2' -дихлордиэтилформаль (основной олигомер)	99,5	98,0
2	1,2,3-трихлорпропан (ТХП) (разветвляющий агент)	0,5	2,0
Плотность цепей сетки*: вулканизующий агент MnO_2, $\nu \cdot 10^4$ моль/см^3			
3	По теории	0,47	1,95
4	Найдено: - для стандартных вулканизатов: эффективных химических	 1,49 0,29	 1,67 0,87
5	- для вулканизатов в присутствии БП: эффективных химических	 2,34 0,46	 2,86 1,38
6	Эффективные константы скорости вулканизации до точки геля, $K \cdot 10 \cdot мин^{-1}$: стандарт в присутствии БП	 1,94 2,46	 2,42 3,4

*- плотность цепей сетки определяли методом Клаффа-Глединга [5].

В результате проведенных исследований получены герметизирующие композиции с оптимальной для технологии герметизирующих покрытий жизнеспособностью (2-3 часа), высокой адгезией и стабильными при эксплуатации физико-механическими свойствами соответствующих вулканизатов, существенно превышающими аналогичные показатели для базовых композиций и вулканизатов немодифицированных полисульфидных олигомеров.

Судя по данным табл. 6, отмеченные закономерности обусловлены значительным ростом плотности цепей молекулярных сеток и интенсивности межмолекулярных физических взаимодействий в системе. Наблюдаемое увеличение плотности упаковки макромолекул при одновременном облегчении конформационных переходов (росте кинетической гибкости макроцепей) свидетельствует о возможном участии частиц битуминозного песчаника, наряду с поликристаллическими частицами диоксида марганца [4, 6], не только в формировании окончательной физической сетки вулканизатов, но и в более ранних физико-химических (донорно-акцепторных и(или) хемосорбционных) стадиях процессов отверждения ПСО [6], и в первую очередь, благодаря атомам серы в их составе.

Полученные новые герметизирующие композиции на основе ПСО с добавками серосодержащего битуминозного песчаника прошли пробные испытания и рекомендованы для промышленного применения. Поскольку композиции на основе ПСО по своему строению и механизмам отверждения ориентированы, в том числе, на работу в среде углеводородов [1 – 4, 6], то они могут успешно применяться в различных комбинациях и в любых средах, содержащих углеводородные компоненты. Таким образом, битуминозные

песчаники и углеводородная среда в целом служат, с одной стороны, сырьевым источником эффективной функциональной добавки для полисульфидных герметиков, а, с другой стороны, - сферой применения разработанных композиций для решения прикладных задач в области нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей промышленности, примером чего и служат представленные композиции.

Рекомендуется следующий рецептурный состав герметиков, массовые части: полисульфидный олигомер – 100 мас. ч., вулканизующий агент (диоксид марганца в виде пасты) - 15 мас. ч., ускоритель вулканизации (дифенилгуанидин) – 0,15 мас. ч., наполнитель (сажа ПМ – 15) -15 мас. ч., серосодержащий битуминозный песчаник от 5 до 15 мас. ч.

Список литературы

1. *Хакимуллин Ю.Н., Минкин В.С., Палютин Ф.М., Дебердеев Т.Р.* Герметики на основе полисульфидных олигомеров: синтез, свойства, применение. М.. - Наука. 2007. - 302 с.
2. *Минкин В.С., Дебердеев Т.Р., Палютин Ф.М., Хакимуллин Ю.Н.* Промышленные полисульфидные олигомеры.- Казань. Новое знание. 2004. 175 с.
3. Патент 2270226. Российская Федерация, МПК51 С09К3/10. Герметизирующая композиция. *Минкин В.С., Иванов Б.Н., Васильев Н.А., Садыков А.Р., Минкина Т.И.* заявитель и патентообладатель *Минкин В.С., Иванов Б.Н.* № 2004122704/04. заявл. 14.07.04. опубл. 20.02.06. Бюл. № 5. - 5 с.
4. *Суханов П.П., Минкин В.С.* Исследование процессов структурирования олигомерных композиций методами радиоспектроскопии. Казань. КГТУ. 2011. 223 с.
5. *Claff E.F., Gladding E.K., Pariser R.* A new method for measuring the degree of cross linking in elastomers.//J.Polym. Sci., I960, v.45, N 8, p.341-347.
6. *Суханов П.П., Минкин В.С.* О механизме вулканизации полисульфидных олигомеров диоксидами металлов (обзор). Каучук и резина. – 1991. - № 9 - С. 31 – 35.

05.17.03

[1]И.В. Фадеев к.т.н., [2]В.К. Половняк д.х.н., [1]С.С. Еремеева к.геогр.н., [1]Ш.В. Садетдинов д.х.н.

[1]ФГБОУ ВПО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)», Волжский филиал, автомобильно-дорожный факультет, кафедра сервиса транспортных и технологических машин, г. Чебоксары, ivan-fadeev-2012@mail.ru
[2]Казанский государственный технологический университет, кафедра неорганической химии, г. Казань, vkpol@mail.ru

ВЛИЯНИЕ АМИДОБОРАТНЫХ СОЕДИНЕНИЙ НА ПРОТИВОКОРРОЗИОННЫЕ СВОЙСТВА СТАЛИ

Рассматривается влияние амидоборатных соединений на основе формамида, диметилформамида, тиокарбамида, карбамида и тетрабората аммония на коррозионно-электрохимическое поведение стали Ст. 10 в 3-процентном растворе хлорида натрия. Наибольшим ингибиторным свойством в сравнении с исследованными составами обладает карбамидборатный комплекс - $(NH_4)_2B_4O_7$ $2N_2H_4CO$ $4H_2O$, который существенно снижает скорость коррозии и увеличивает коэффициент запаса циклической прочности стали в коррозионной среде. Водный раствор, содержащий 3г/л карбамидбората, позволяет получать на стали магнетитное покрытие, защищающее металл от атмосферной коррозии после промасливания.

Ключевые слова: *ингибитор коррозии, тетраборат аммония, формамид, диметилформамид, тиокарбамид, карбамид, карбамидборатный комплекс, коррозия стали, циклическая прочность стали, магнетитное покрытие, защита от атмосферной коррозии.*

Известно, что техника, эксплуатируемая не в помещениях, под воздействием атмосферных осадков и динамических нагрузок подвергается разнообразным разрушениям, среди которых типичными являются атмосферная коррозия и коррозионная усталость [1].

В настоящее время остро стоит проблема разработки эффективных присадок для защиты металлических изделий, техники и оборудования от коррозии. Неудовлетворительное состояние противокоррозионной защиты техники объясняется, в частности, отсутствием эффективных полифункциональных защитных материалов и научно обоснованной концепции их создания. Научные исследования и анализ публикаций [2-4] показывают, что при создании полифункциональных защитных материалов могут быть использованы подход и методы физико-химического анализа — основы современного материаловедения и химико-технологических процессов.

В связи с недостаточностью эффективных материалов, необходимых для полноценной защиты от коррозии техники, особенно в период ее консервации, были исследованы ингибиторные свойства амидоборатных соединений на основе формамида, диметилформамида, тиокарбамида, карбамида и тетрабората аммония.

Выбор указанных компонентов объясняется тем, что они используются в растворах для получения на стали магнетитных покрытий (МП), защищающих после промасливания металл от атмосферной коррозии, что позволяет увеличить срок службы изделий. Для получения магнетитного покрытия используются такие амиды как карбамид, формамид, диметилформамид, амид олеиновой кислоты и тиокарбамид [5].

В литературе [6-7] имеются сведения о том, что тетраборат аммония с вышеназванными амидами образует новые соединения, соответствующие следующим химическим формулам: $(NH_4)_2B_4O_7 \cdot 2HCONH_2 \cdot 4H_2O$; $(NH_4)_2B_4O_7 \cdot 2HCONC_2H_6 \cdot 4H_2O$; $3(NH_4)_2B_4O_7 \cdot N_2H_4CS \cdot 12H_2O$ и $(NH_4)_2B_4O_7 \cdot 2N_2H_4CO \cdot 4H_2O$.

В целях выяснения ингибиторных свойств амидоборатов было изучено их влияние на коррозионно-электрохимическое поведение стали Ст. 10 методами гравиметрии и снятия потенциодинамических поляризационных кривых. Химически агрессивной средой служил 3-процентный раствор хлорида натрия.

Для гравиметрических исследований использовали пластинки из стали Ст. 10 размером 120×10×1 (мм) из одной партии, поэтому их химический состав, структура и механические свойства были одинаковыми. Образцы погружали в неингибированный и ингибированный 3-процентный раствор хлорида натрия, содержащий тетраборат аммония, формамид, диметилформамид, тиокарбамид, карбамид и соединения на их основе концентрации 1 - 4 г/л в расчете на безводную соль и выдерживали в течение 30 суток. Испытания проводили в стационарных условиях при температуре 20°С в трехкратной повторности.

Эффективность действия ингибитора оценивали по потерям массы образцов в исследуемых средах. По полученным данным рассчитывали скорость коррозии (ρ), ингибиторный эффект (γ) и степень защиты (Z).

Скорость коррозии (ρ) определяли по убыли массы образцов, отнесенной к единице поверхности за единицу времени по формуле:

$$\rho = \frac{m_o - m}{St},$$

где m_0 и m – масса образцов до и после опыта, г;

S – площадь пластинки, $м^2$;

t – время проведения опыта, ч.

Ингибиторный эффект, который показывает, во сколько раз ингибитор замедляет скорость коррозии, вычисляли по формуле:

$$\gamma = \frac{\rho_o}{\rho},$$

где ρ и ρ_o – скорость коррозии в присутствии ингибитора и без него соответственно.

Степень защиты, характеризующую полноту подавления коррозии, определяли в %:

$$Z = \frac{\rho_o - \rho}{\rho} \cdot 100\%.$$

Результаты экспериментальных исследований по изучению влияния тетрабората аммония - $(NH_4)_2B_4O_7$, формамида - $HCONH_2$, формамидборатного комплекса (ФБ) - $(NH_4)_2B_4O_7 \cdot 2HCONH_2 \cdot 4H_2O$, диметилформамида - $HCONC_2H_6$, диметилформамидборатного комплекса (ДФБ) - $(NH_4)_2B_4O_7$ $2HCONC_2H_6$ $\cdot 4H_2O$, тиокарбамида - N_2H_4CS, тиокарбамидборатного комплекса (ТБ) - $3(NH_4)_2B_4O_7 \cdot N_2H_4CS \cdot 12H_2O$, карбамида - N_2H_4CO и карбамидборатного комплекса (КБ) - $(NH_4)_2B_4O_7 \cdot 2N_2H_4CO \cdot 4H_2O$ на среднюю скорость коррозии (ρ), коэффициент торможения (γ) и степень защиты (Z) стали Ст. 10 в 3-процентном растворе NaCl за 30 суток приведены в табл. 1 - 4.

Из данных табл. 1 - 4 следует, что в 3-процентном растворе NaCl сталь Ст. 10 интенсивно корродирует. Введение изучаемых присадок в коррозионную среду снижает скорость ионизации металла. При концентрации добавок 1г/л ингибирующее действие незначительно. По мере повышения концентрации защитное действие их возрастает и при концентрации 3г/л наблюдается наибольшее снижение скорости коррозионного процесса. При этом амидоборатные комплексы проявляют наибольшее ингибирующее свойство, чем его составляющие в отдельности. В данном случае мы наблюдаем способность амидов повышать противокоррозионные свойства тетрабората аммония, что называется синергетическим эффектом.

Противокоррозионное действие амидоборатов уменьшается в ряду КБ > ТБ > ДФБ > ФБ.

Таблица 1 - Влияние тетрабората аммония - $(NH_4)_2B_4O_7$, формамида - $HCONH_2$, формамидборатного комплекса (ФБ) - $(NH_4)_2B_4O_7$ $2HCONH_2$ $4H_2O$ на среднюю скорость коррозии (ρ), коэффициент торможения (γ) и степень защиты (Z) стали Ст. 10 в 3-процентном растворе NaCl за 30 суток

Состав раствора	$\rho \cdot 10^{-3}$, г/м^2 · ч	γ	Z, %
3-процентный раствор NaCl	21,38	1,00	0,00
3-процентный раствор NaCl+ 1г/л $(NH_4)_2B_4O_7$	5,35	3,99	74,98
3-процентный раствор NaCl+ 2г/л $(NH_4)_2B_4O_7$	5,06	4,23	76,33
3-процентный раствор NaCl+ 3г/л $(NH_4)_2B_4O_7$	3,82	5,60	82,13
3-процентный раствор NaCl+ 4г/л $(NH_4)_2B_4O_7$	3,54	6,03	83,44
3-процентный раствор NaCl+ 1г/л $HCONH_2$	8.51	2,51	60,20
3-процентный раствор NaCl+ 2г/л $HCONH_2$	8,02	3,09	62,49
3-процентный раствор NaCl+ 3г/л $HCONH_2$	6,83	3,38	68,05
3-процентный раствор NaCl+ 4г/л $HCONH_2$	6,42	3,33	69,97
3-процентный раствор NaCl+ 1г/л ФБ	5, 32	4,10	75,12
3-процентный раствор NaCl+ 2г/л ФБ	4.91	4,35	77,03
3-процентный раствор NaCl+ 3г/л ФБ	3,28	4,57	84,66
3-процентный раствор NaCl+ 4 г/л ФБ	3,12	6,85	85,41

Таблица 2 – Влияние тетрабората аммония - $(NH_4)_2B_4O_7$, диметилформамида - $HCONC_2H_6$ и диметилформамидборатного комплекса (ДФБ) - $(NH_4)_2B_4O_7$ $2HCONC_2H_6$ $4H_2O$ на среднюю скорость коррозии (ρ), коэффициент торможения (γ) и степень защиты (Z) стали Ст. 10 в 3-процентном растворе NaCl за 30 суток

Состав раствора	$\rho \cdot 10^{-3}$, г/м^2 · ч	γ	Z, %
3-процентный раствор NaCl	21,38	1,00	0,00
3-процентный раствор NaCl+ 1г/л $(NH_4)_2B_4O_7$	5,35	3,99	74,98
3-процентный раствор NaCl+ 2г/л $(NH_4)_2B_4O_7$	5,06	4,23	76,33
3-процентный раствор NaCl+ 3г/л $(NH_4)_2B_4O_7$	3,82	5,60	82,13
3-процентный раствор NaCl+ 4г/л $(NH_4)_2B_4O_7$	3,54	6,03	83,44
3-процентный раствор NaCl+ 1г/л $HCONC_2H_6$	6,81	3,14	68,15
3-процентный раствор NaCl+ 2г/л $HCONC_2H_6$	6,62	3,23	69,04
3-процентный раствор NaCl+ 3г/л $HCONC_2H_6$	6,40	3,34	70,07
3-процентный раствор NaCl+ 4г/л $HCONC_2H_6$	6,13	3,49	71,33
3-процентный раствор NaCl+ 1г/л ДФБ	4, 89	4,37	77,13
3-процентный раствор NaCl+ 2г/л ДФБ	4.61	4,64	78,44
3-процентный раствор NaCl+ 3г/л ДФБ	2,78	7,69	87,00
3-процентный раствор NaCl+ 4 г/л ДФБ	2,50	8,55	88,31

Таблица 3 - Влияние тетрабората аммония - $(NH_4)_2B_4O_7$, тиокарбамида- N_2H_4CS и тиокарбамидборатного комплекса (ТБ) - $3(NH_4)_2B_4O_7$ N_2H_4CS $12H_2O$ на среднюю скорость коррозии (ρ), коэффициент торможения (γ) и степень защиты (Z) стали Ст. 10 в 3-процентном растворе NaCl за 30 суток

Состав раствора	$\rho \cdot 10^{-3}$, г/м^2·ч	γ	Z, %
3-процентный раствор NaCl	21,38	1,00	0,00
3-процентный раствор NaCl+ 1г/л $(NH_4)_2B_4O_7$	5,35	3,99	74,98
3-процентный раствор NaCl+ 2г/л $(NH_4)_2B_4O_7$	5,06	4,23	76,33
3-процентный раствор NaCl+ 3г/л $(NH_4)_2B_4O_7$	3,82	5,60	82,13
3-процентный раствор NaCl+ 4г/л $(NH_4)_2B_4O_7$	3,54	6,03	83,44
3-процентный раствор NaCl+ 1г/л N_2H_4CS	6,39	3,35	70,11
3-процентный раствор NaCl+ 2г/л N_2H_4CS	5,88	3,64	72,50
3-процентный раствор NaCl+ 3г/л N_2H_4CS	5,42	3,95	74,65
3-процентный раствор NaCl+ 4г/л N_2H_4CS	5,30	3,49	75,21
3-процентный раствор NaCl+ 1г/л ТБ	4, 52	4,73	78,86
3-процентный раствор NaCl+ 2г/л ТБ	3,90	5,48	81,75
3-процентный раствор NaCl+ 3г/л ТБ	2,12	10,08	90,08
3-процентный раствор NaCl+ 4г/л ТБ	2,06	10,38	90,36

Таблица 4 - Влияние тетрабората аммония - $(NH_4)_2B_4O_7$, карбамида- N_2H_4CO и карбамидборатного комплекса (КБ) - $(NH_4)_2B_4O_7$ $2N_2H_4CO$ $4H_2O$ на среднюю скорость коррозии (ρ), коэффициент торможения (γ) и степень защиты (Z) стали Ст. 10 в 3-процентном растворе NaCl за 30 суток

Состав раствора	$\rho \cdot 10^{-3}$, г/м^2·ч	γ	Z, %
3-процентный раствор NaCl	21,38	1,00	0,00
3-процентный раствор NaCl+ 1г/л $(NH_4)_2B_4O_7$	5,35	3,99	74,98
3-процентный раствор NaCl+ 2г/л $(NH_4)_2B_4O_7$	5,06	4,23	76,33
3-процентный раствор NaCl+ 3г/л $(NH_4)_2B_4O_7$	3,82	5,60	82,13
3-процентный раствор NaCl+ 4г/л $(NH_4)_2B_4O_7$	3,54	6,03	83,44
3-процентный раствор NaCl+ 1г/л N_2H_4CO	5,96	3,59	72,11
3-процентный раствор NaCl+ 2г/л N_2H_4CO	5,45	3,64	74,50
3-процентный раствор NaCl+ 3г/л N_2H_4CO	4,78	4,47	77,65
3-процентный раствор NaCl+ 4г/л N_2H_4CO	4,70	4,55	78,01
3-процентный раствор NaCl+ 1г/л КБ	3, 88	5,51	81,86
3-процентный раствор NaCl+ 2г/л КБ	3,26	6,56	84,75
3-процентный раствор NaCl+ 3г/л КБ	1,24	17,24	94,20
3-процентный раствор NaCl+ 4 г/л КБ	1,16	18,43	94,57

Методом снятия потенциодинамических поляризационных кривых проведено сравнительное изучение влияния амидоборатных комплексов, как наиболее эффективных ингибиторных присадок концентрации 3г/л, на коррозионно-электрохимическое поведение стали Ст. 10 в 3-процентном растворе NaCl. Для электрохимических исследований была выбрана концентрация добавок, равная 3г/л, в связи с тем, что именно при этом значении концентрации достигается наибольший ингибиторный эффект, а дальнейшее увеличение его содержания практически не усиливает противокоррозионные свойства раствора. На рис. 1 приведены анодные и катодные потенциодинамические поляризационные кривые стали Ст. 10 в коррозионной среде.

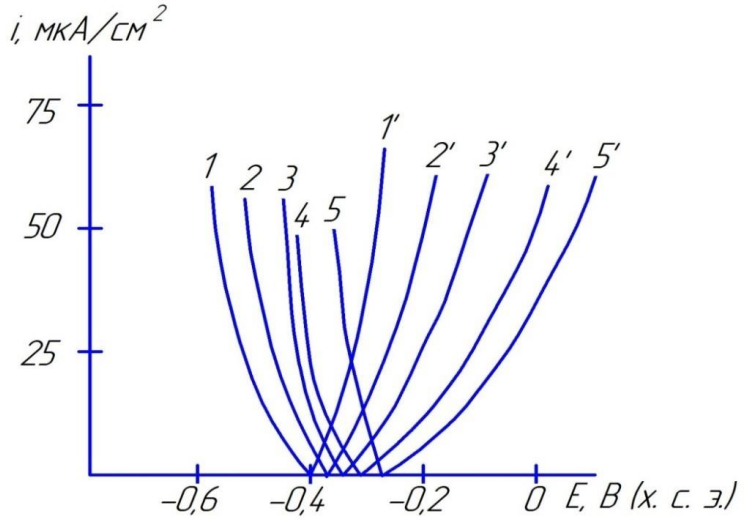


Рис. 1 - Анодные и катодные потенциодинамические поляризационные кривые стали Ст. 10 в 3-процентном растворе NaCl: 1′ - 1 - без ингибитора; 2′ - 2 - с ингибитором ФБ; 3′ - 3 - с ингибитором ДФБ; 4′ - 4 с ингибитором ТБ; 5′ - 5 – с ингибитором КБ

Так в 3-процентном растворе хлорида натрия сталь интенсивно растворяется (кривые 1′ и 1). В присутствии ингибиторных присадок ФБ, ДБ, ТБ, КБ (кривые 2′ и 2, 3′ и 3, 4′ и 4, 5′ и 5) потенциалы растворения металла смещены в положительную сторону относительно потенциала коррозии ($E_{кор}$) в фоновом электролите. Результаты электрохимических исследований коррелируют с данными, полученными гравиметрическим методом. Следует отметить, что исследуемые ингибиторные добавки преимущественно замедляют анодный процесс.

Поскольку коррозия металлического изделия протекает при одновременном воздействии коррозионной среды и механических напряжений, то и уменьшение циклической прочности стали связано с чисто коррозионными и коррозионно-механическими поражениями. Было изучено влияние ингибиторов на оба разрушающих фактора, т.е. на базе N:

$$\Delta\sigma_N^{с.к.} = \Delta\sigma_N^{ч.к.} + \Delta\sigma_N^{к.-м},$$

где $\Delta\sigma_N^{с.к.}$ –суммарное уменьшение циклической прочности в коррозионной среде; $\Delta\sigma_N^{ч.к.}$ - уменьшение циклической прочности чисто коррозионными поражениями; $\Delta\sigma_N^{к.-м}$ - уменьшение циклической прочности коррозионно-механическими поражениями.

Наличие ингибитора в коррозионной среде может оказывать влияние на оба разрушающих фактора, вызывающих снижение прочности металла. Форма и размеры образцов, характер их подготовки к испытаниям, методика коррозионно-усталостных испытаний описаны [8]. База испытаний N = 2 10^6 циклов. Результаты усталостных и коррозионно-усталостных испытаний в растворе 3-процентного хлорида натрия без добавки и с добавкой КБ представлены на рис. 2 (кривые 2 – 3).

С целью уточнения природы разрушающих факторов, вызывающих уменьшение циклической прочности, снимали усталостные кривые на воздухе после предварительной выдержки металла в коррозионных средах (кривые 4, 5).

Приведенные данные указывают на то, что суммарная потеря циклической прочности исследуемой стали в 3-процентном растворе хлорида натрия на базе испытания N = 2 10^6 циклов составляет 10,8 кгс/мм^2 (кривые 1 и 2). Из них 56,4% (кривые 1, 2 и 4) приходится на чисто коррозионные поражения ($\Delta\sigma_N^{ч.к.}$ = 6,1 кгс/мм^2) и 43,6% - на коррозионно-механические ($\Delta\sigma_N^{к.-м}$ = 4,7 кгс/мм^2).

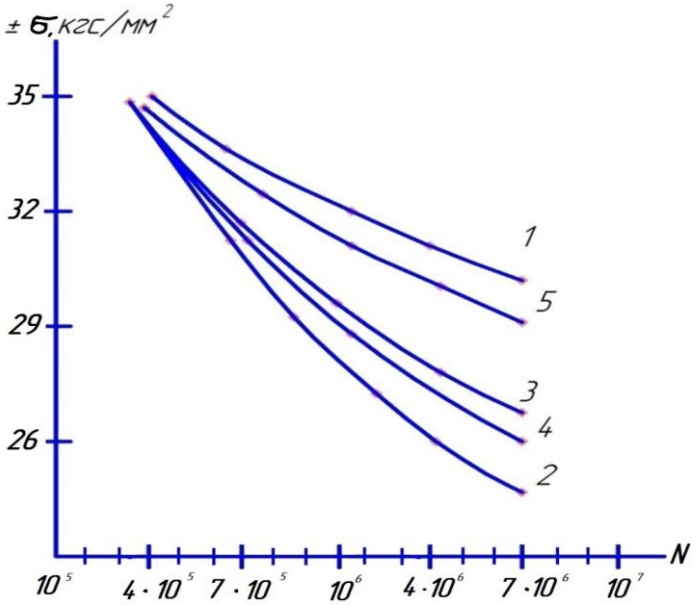


Рис. 2 - Кривые усталости и коррозионной усталости стали Ст.10:
1 – в воздухе; 2 – в 3-процентном растворе NaCl; 3 – в 3-процентном растворе NaCl + 3 г/л КБ; 4 – в воздухе после предварительной выдержки в 3-процентном растворе NaCl;
5 – в воздухе после предварительной выдержки в 3-процентном растворе NaCl + 3 г/л КБ

Добавка КБ в количестве 3 г/л в 3-процентный раствор NaCl существенно увеличивает циклическую прочность стали (сравнить кривые 2 и 3), что обусловлено снижением эффективности действия разрушающих факторов в уменьшение циклической прочности металла (кривые 1, 3 и 5). На данной базе испытания КБ примерно в равной мере уменьшает разрушающий эффект чисто коррозионных и коррозионно-механических поражений.

Таким образом, результаты противокоррозионных испытаний амидоборатных соединений свидетельствуют, что карбамидборатный раствор превосходит по защитным свойствам

рассматриваемые аналоги, и он был использован для получения магнетитного покрытия на стали.

Дальнейшие исследования были проведены с водным раствором, содержащим 3г/л КБ, для получения на стали магнетитных покрытий (МП) [9], защищающих металл от атмосферной коррозии после промасливания.

Для этого МП формировали на пластинах из стали Ст 10 размером 50×100×3 (мм) в течение 20 минут при температуре 80°С. Перед оксидированием стальные образцы обезжиривали этиловым спиртом и декапировали в 15% соляной кислоте в течение 30 секунд. После оксидирования образцы промывали в воде, сушили горячим воздухом и пропитывали индустриальным маслом И-1 в течение 10 минут при температуре 60°С. Оценку противокоррозионных свойств МП проводили в камере 100-процентной влажности при температуре 40°С. В ходе эксперимента фиксировали время до появления на поверхности МП очагов коррозии. Первые признаки коррозии на образцах, с полученными МП, появились через 38 суток, а на образцах без МП появились через 19 суток.

Следовательно, использование предлагаемого раствора для получения магнетитного покрытия на стали позволит увеличить срок службы стальных изделий.

Список литературы

1. *Прохоренков, В.Д.* Практика защиты от коррозии сельскохозяйственной техники в современных условиях / В.Д. Прохоренков, А.И. Петрашев // Технология металлов. -2000. - №8. - С. 14 - 20.

2. *Фадеев, И.В.* Исследование растворимости и ингибиторного действия систем моно-, тетра-, пентаборат натрия – этилендиамин – вода при 25°С / И.В. Фадеев, Ш.В. Садетдинов, В.К. Половняк // Научно-технический вестник Поволжья. - 2014.- № 5. - С. 13 - 17.

3. *Скворцов, В.Г.* Исследование растворимости и ингибиторного действия систем нитрит натрия – аминоспирты - вода / В.Г. Скворцов, Р.С. Цеханский, Ш.В. Садетдинов, А.К. Молодкин, Г.И. Яхваров, А.Д. Поленов // Журн. неорган. химии. - 1982. - Т. 27, №7. - С. 1853 – 1856.

4. *Фадеев, И.В.* Теоретические основы разработки новых ингибиторов коррозии для автотранспортного комплекса / И.В.Фадеев, А.М. Новоселов, Ш.В. Садетдинов // Вестник МАДИ. -2014. - Вып. 4(39). - С. 17 – 21.

5. Патент РФ №2012131934/02, 26.07.2012.
Кузнецов Ю.И., Вершок Д.Б., Булгаков Д.С. Раствор для получения магнетитных покрытий на стали // Патент России №2510733. 2014. Бюл. №10.

6. *Скворцов, В.Г.* Системы $(NH_4)_2B_4O_7$ – $N_2H_4CO(N_2H_4CS)$ – H_2O при 25°С / В.Г. Скворцов, Ш.В. Садетдинов, А.К. Молодкин, Р.С. Цеханский, Ф.П. Спиридонов // Журн. неорган, химии. -1979. - Т. 24, №7. - С. 2009 – 2012.

7. *Садетдинов, Ш.В.* Системы $(NH_4)_2B_4O_7$ – $HCONH_2(HCONC_2H_6)$ – H_2O при 25°С / Ш.В. Садетдинов, В.Г. Скворцов, Р.С. Цеханский, А.К. Молодкин, В.М. Акимов // Журн. неорган, химии. -1980. -Т. 25, №2. - С. 553 – 557.

8. *Карпенко, Г.В.* Влияние среды на прочность и долговечность металлов / Г.В. Карпенко. - Киев: Науковадумка, 1976. 127 с.

9. *Кузнецов, Ю.И.* Адсорбция олеата натрия на стали с магнетитным покрытием / Ю.И. Кузнецов, Д.Б. Вершок, Д.С. Булгаков // Коррозия: материалы, защита. - 2011. - №3. - С. 32 - 35.

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

01.01.01

В.В. Абрамова

Набережночелнинский институт (филиал) Казанского (Приволжского) федерального университета, кафедра математики, Набережные Челны, vervikab@yandex.ru

РЕШЕНИЕ ПЕРИОДИЧЕСКИХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ ТИПА СВЁРТКИ С ПОЛОЖИТЕЛЬНЫМИ ОПЕРАТОРАМИ

Получены весьма простые и эффективные достаточные условия существования и единственности решений периодических интегральных уравнений типа свёртки на основе теории положительных операторов, а также приводится теоретическое обоснование метода редукции для исследуемых уравнений.

Ключевые слова: *интегральные уравнения, положительный оператор, обратный оператор, метод редукции, коэффициенты Фурье.*

1. Введение.

Многочисленные теоретические и прикладные задачи приводят к необходимости решения различных классов интегральных уравнений. Поскольку указанные уравнения точно решаются лишь в редких частных случаях, то для приложений первостепенное значение приобретает разработка аппроксимативных методов их решения с соответствующим теоретическим обоснованием. Для теоретического обоснования используется методика исследований, разработанная в главе 4 монографии Б.Г. Габдулхаева [1].

В работе исследуется уравнение с разностным ядром $g(s-\sigma)$:

$$Ax \equiv a(s)x(s) + \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} g(s-\sigma)x(\sigma)d\sigma = y(s), \tag{1}$$

где $a(s) \in C_{2\pi}$, $y(s) \in L_2(0,2\pi)$, $g(s) \in L_1(0,2\pi)$.

При этом существенным образом используется теория рядов Фурье, в частности, свойства коэффициентов Фурье в комплексной форме:

$$c_k(\varphi) = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} \varphi(\sigma)e^{-ik\sigma}d\sigma, \quad \varphi \in L_1(0,2\pi), \quad k = 0, \pm 1, \ldots. \tag{2}$$

2. Теорема существования и единственности решения.

Теорема 1. *Пусть функции a(s) и g(s) удовлетворяют одному из следующих условий*

$$1) a(s)..\gamma^2 = const > 0;\ g(-s) = -g(s); \tag{3}$$

$$2) a(s)..\alpha = const, g(-s) = g(s);\ \gamma^2 \equiv \alpha + \min_{k=0,\pm1,\ldots} c_k(g) > 0. \tag{4}$$

Тогда оператор A : L2 → L2 имеет непрерывный обратный и

$$\| A^{-1} \|,,\ \gamma^{-2} < \infty, \quad A^{-1} : L_2 \to L_2. \tag{5}$$

Доказательство. Пусть $L_2 = L_2(0,2\pi)$ — пространство квадратично–суммируемых по Лебегу 2π–периодических действительных функций со скалярным произведением и нормой соответственно

$$(f,g) = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} f(s)g(s)ds, \quad (f,g \in L_2);$$

$$\| f \| = \sqrt{(f,f)} = \left\{\frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} |f(s)|^2 ds\right\}^{1/2}, \quad (f \in L_2).$$

При выполнении (3), следуя теореме 1.4 ([1] стр.139), находим, что

$$\| Ax \| \geq \gamma^2 \| x \|, \quad x \in L_2(0, 2\pi). \tag{6}$$

Отсюда (см., [2] стр.158) следует непрерывная обратимость слева оператора A в L_2 и справедливость оценки

$$\| A_l^{-1} \| \leq \gamma^{-2}, \quad A: L_2 \to L_2. \tag{7}$$

В рассматриваемом случае сопряжённый к $A: L_2 \to L_2$ оператор имеет вид $A^* = aE + G^*$, где $G^* = -G$. Поэтому для оператора $A^* = aE - G$ аналогично (6) находим неравенство

$$\| A^* x \| \geq \gamma^2 \| x \|, \quad x \in L_2(0, 2\pi). \tag{8}$$

Из неравенств (6)–(8) следует утверждение теоремы в условиях (3).

Пусть теперь выполнены условия (4). Тогда, представляя функцию $x(s) \in L_2(0, 2\pi)$ в виде суммы ряда Фурье в комплексной форме (черта у $\overline{c}_k$ означает символ комплексного сопряжения)

$$x(s) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} c_k(x) e^{iks}, \quad \overline{c}_k(x) = c_{-k}(x), \tag{9}$$

находим

$$G(x; s) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} g(s - \sigma) x(\sigma) d\sigma = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} g(\sigma) x(s - \sigma) d\sigma =$$

$$= \sum_{k=-\infty}^{\infty} c_k(x) \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} g(\sigma) e^{ik(s-\sigma)} d\sigma = \sum_{k=-\infty}^{\infty} c_k(x) c_k(g) e^{iks}. \tag{10}$$

Из (9), (10) и обобщённого равенства Парсеваля получаем

$$(Gx, x) = \Big(\sum_{k=-\infty}^{\infty} c_k(x) c_k(g) e^{iks}, \sum_{j=-\infty}^{\infty} c_j(x) e^{ijs} \Big) =$$

$$= \sum_{k=-\infty}^{\infty} c_k(g) c_k(x) \overline{c}_k(x) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} c_k(g) \, | c_k(x) |^2 \ldots$$

$$\ldots \min c_k(g) \sum_{k=-\infty}^{\infty} |c_k(x)|^2 = \min c_k(g) \| x \|^2, \quad x \in L_2, \quad k = 0, \pm 1, \ldots. \tag{11}$$

Так как для любого $x \in L_2$ имеем

$$(ax, x) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} a(s) x(s) x(s) ds = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} a(s) \, | x(s) |^2 \, ds \geq \alpha \| x \|^2,$$

то отсюда и из (11) получаем неравенство

$$(Ax, x) = (ax, x) + (Gx, x) \geq \gamma^2 \| x \|^2, \quad x \in L_2,$$

из которого следует (6), где постоянная γ^2 определена в (4). Поскольку при выполнении условий (4) оператор A является самосопряжённым: $A^* = A: L_2 \to L_2$, то (см., напр., [2], стр.463) соотношения (6) достаточно для выполнения утверждения теоремы.

Заметим, что, если ядро $g(s - \sigma)$ таково, что оператор $G: L_2 \to L_2$ является вполне непрерывным, то доказательство теоремы может быть существенно упрощено за счёт применения теорем Фредгольма.

3. Метод редукции.

В условиях теоремы 1 уравнение (1) имеет единственное решение $x^* \in L_2(0, 2\pi)$ при любой правой части $y \in L_2(0, 2\pi)$ и

$$\| x^* \| = \Big\{ \sum_{k=-\infty}^{\infty} |c_k(x^*)|^2 \Big\}^{1/2} \leq \gamma^{-2} \Big\{ \sum_{k=-\infty}^{\infty} |c_k(y)|^2 \Big\}^{1/2} = \gamma^{-2} \| y \|. \tag{12}$$

Интегральное уравнение (1) эквивалентно следующей бесконечной системе линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) (см. теорему 1)

$$\sum_{k=-\infty}^{\infty} c_{j-k}(a)c_k(x)+c_j(g)c_j(x)=c_j(y), \quad j\in\overline{-\infty,\infty}. \tag{13}$$

Эту систему будем решать методом редукции ([2], стр.508; [3], стр.36) :

$$\sum_{k=-n}^{n} c_{j-k}(a)\alpha_k+c_j(g)\alpha_j=c_j(y), \quad j=\overline{-n,n}, \tag{14}$$

где $n\in\square$ — произвольно фиксированное число, а $\alpha_k^*=\alpha_{k,n}^*$ $(k=\overline{-n,n})$ — решение СЛАУ (14).

Тогда за приближённое решение уравнения (1) можно принять функцию

$$x_n^*(s)=\sum_{k=-n}^{n}\alpha_k^* e^{iks}, \quad n\in\square. \tag{15}$$

Для схемы (1), (14), (15) справедлива следующая

Теорема 2. *В условиях теоремы 1 СЛАУ (14) имеет единственное решение* $\alpha_k^*=\alpha_{k,n}^*$ $(k=\overline{-n,n})$ *при любых* $n\in\square$. *Приближённые решения (15) удовлетворяют неравенству*

$$\| x_n^* \|=\Big\{\sum_{k=-n}^{n}|\alpha_k^*|^2\Big\}^{1/2},, \ \gamma^{-2}\Big\{\sum_{k=-n}^{n}|c_k(y)|^2\Big\}^{1/2}, \quad n\in\square. \tag{16}$$

Доказательство. Пусть H_n^T — множество всех тригонометрических полиномов порядка не выше $n\in\square$ ($\mathrm{H}_n^T\subset L_2(0,2\pi)$, $\dim\mathrm{H}_n^T=2n+1<\infty$). Обозначим через Φ_n оператор ортогонального проектирования $L_2(0,2\pi)$ на H_n^T. Тогда для любой функции $f\in L_2$ имеем

$$\Phi_n(f;s)=\sum_{k=-n}^{n}c_k(f)e^{iks}. \tag{17}$$

Оператор Φ_n — линейный самосопряжённый оператор с нормой

$$\|\Phi_n\|=1, \quad n\in\square, \quad \Phi_n: L_2\to\mathrm{H}_n^T\subset L_2. \tag{18}$$

В этом случае СЛАУ (14) эквивалентна операторному уравнению

$$A_n x_n\equiv\Phi_n A x_n=\Phi_n y \quad (x_n,\Phi_n y\in\mathrm{H}_n^T). \tag{19}$$

Из (19), (17) с учётом хода доказательства теоремы 1 для любого $x_n\in\mathrm{H}_n^T$ находим

$$(A_n x_n,x_n)=(\Phi_n A x_n,x_n)=(A x_n,\Phi_n^* x_n)=(A_n x_n,x_n)..\gamma^2\| x_n\|^2, \tag{20}$$

$$\| A_n x_n \|..\gamma^2\| x_n \|, \quad x_n\in\mathrm{H}_n^T, \quad n\in\square. \tag{21}$$

Отсюда следует двусторонняя обратимость операторов A_n в H_n^T и справедливость неравенств

$$\| A_n^{-1} \|,, \ \gamma^{-2}<\infty, \quad n\in\square, \tag{22}$$

$$\| x_n^* \|=\| A_n^{-1}\Phi_n y \|,, \ \gamma^{-2}\| \Phi_n y \|, \quad n\in\square. \tag{23}$$

В силу равенства Парсеваля из (23) и (15) следуют соотношения (16).

Теорема 3. *В условиях теоремы 1. приближённые решения (15) сходятся в* $L_2(0,2\pi)$ *к точному решению* $x^*(t)\in L_2(0,2\pi)$ *уравнения (1) со скоростью, определяемой неравенствами*

$$E_n^T(x^*),, \ \| x^*-x_n^* \|,, \ (1+\gamma^{-2}\| A \|)E_n^T(x^*), \quad n\in\square, \tag{24}$$

где $E_n^T(x^*)=\inf\limits_{z_n\in\mathrm{H}_n^T}\| x^*-z_n \|$ *— наилучшее среднеквадратическое приближение функции* $x^*(t)\in L_2(0,2\pi)$ *тригонометрическими полиномами порядка не выше n.*

Доказательство. В силу теорем 1 и 2 погрешность аппроксимации рассматриваемого метода можно оценить по следствию из леммы 2.2 из [1] (стр.7):

$$\| x^*-x_n^* \|=\| (E-A_n^{-1}\Phi_n A)(x^*-\Phi_n x^*) \|,,$$

$$,, (1+\| A_n^{-1} \| \ \ \| \Phi_n \| \ \ \| A \|) \| x^* - \Phi_n x^* \|,,$$

$$,, (1+\gamma^{-2} \| A \|) E_n^T(x^*) = O\{E_n^T(x^*)\} \to 0, \quad n \to \infty.$$

Заметим, что здесь $\| A \|,, \| a \|_C + \| G \|$, где $\| G \|$ зависит от свойств ядра $g(s)$; при $g(s) \in L_1(0, 2\pi)$ имеем

$$\| A \|_{L_2} ,, \| a \|_C + \| G \|_{L_2(0,2\pi)} ,, \| a(s) \|_{C_{2\pi}} + \| g(s) \|_{L_1(0,2\pi)} .$$

Верхняя из оценок (24) доказана, а нижняя оценка следует из включения $x_n^* \in \mathrm{H}_n^T \subset L_2(0, 2\pi)$.

Из доказанной теоремы, в частности, следует, что $\| x_n^* \| \to \| x^* \|$ при $n \to \infty$, в $L_2(0, 2\pi)$. Поэтому, переходя в (23) к пределу при $n \to \infty$, находим

$$\| x^* \| = \| A^{-1} y \|,, \gamma^{-2} \| y \|,$$

т.е. снова получаем соотношения (12), но уже другим способом.

Список литературы

1. *Габдулхаев Б.Г.* Численный анализ сингулярных интегральных уравнений. Избранные главы. – Казань: Изд–во Казан. ун–та, 1995. – 230 с.

2. *Канторович Л.В., Акилов Г.П.* Функциональный анализ в нормированных пространствах. – М.: Физматгиз, 1959. – 684 с.

3. *Канторович Л.В., Крылов В.И.* Приближённые методы высшего анализа. – М.: Физматгиз, 1962. – 708 с.

01.04.07

Т.М. Борисова к.ф-м.н., Р.А. Кастро д.ф-м.н., С.Д. Ханин д.ф-м.н.

Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена,
leonova_tatyana@list.ru, recastro@mail.ru, phys-el@mail.ru

ДИЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ РЕЛАКСАЦИЯ В ПЛАНАРНЫХ СТРУКТУРАХ НА ОСНОВЕ СЛОЕВ AL_2O_3, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ МОЛЕКУЛЯРНОГО НАСЛАИВАНИЯ

Экспериментально исследованы диэлектрические свойства в планарных структурах на основе слоев оксида алюминия, полученных методом молекулярного наслаивания. Обнаружено, что диэлектрическая релаксация в исследуемых структурах определяется вкладом дипольно-релаксационной поляризации. Определены значения диэлектрических параметров для слоев Al_2O_3.

Ключевые слова: *диэлектрическая релаксация, аморфный оксид алюминия, молекулярное наслаивание.*

Введение. Расширение круга применяемых в микроэлектронике полупроводниковых структур требует получения для них качественных диэлектрических слоев при относительно низких температурах, позволяющих избежать деградации поверхности полупроводника. С этой точки зрения перспективными являются слои оксида алюминия (Al_2O_3), синтезируемые методом молекулярного наслаивания (МН). Данный материал имеет высокое значение диэлектрической проницаемости (ε = 10) и является кандидатом для замены подзатворного SiO_2 (ε = 3.9) в МДП транзисторах. Конденсаторные структуры с пленками Al_2O_3 могут быть использованы в качестве сенсоров влажности емкостного типа, имеющих достаточно высокие чувствительность и быстродействие. Перспективным является использование аморфного оксида алюминия и в качестве блокирующего слоя во ФЛЭШ элементах памяти. Работа данных устройств основана на локализации заряда на квантовых точках, и в настоящее время изготовляются преимущественно на базе нитрида кремния. Кроме того, слои аморфного оксида алюминия, могут быть использованы в структурах «металлическая пленка – диэлектрическая подложка». Эти структуры являются перспективными для использования в микро- и наноэлектроники из-за возможности управления проводимостью металлической пленки в зависимости от свойств подложки (аморфного диэлектрического слоя). С учетом того, что проводимость будет осуществляться в диэлектрической подложке по поверхностным электронным ловушкам, и что роль ловушек для электронов будут играть поверхностные дефекты диэлектрика, аморфные пленки могут быть более эффективные, чем их кристаллические аналоги [1].

Несмотря на эти обстоятельства, в настоящее время, существует мало работ посвященных изучению диэлектрических характеристик данных аморфных слоев. Исследования такого рода, необходимы для установления корреляции между особенностями поляризационных процессов и технологическими режимами получения этих слоев, что необходимо при определении надежности работы полупроводниковых систем и электронных устройств на их основе [2, 3]. Целью данной работы, явилось установление закономерностей процессов диэлектрической релаксации на поверхности аморфных слоях оксида алюминия Al_2O_3, полученных методом молекулярного наслаивания.

Методика эксперимента. Для создания планарных структур металл-диэлектрик-металл, в качестве подложки были использованы пластины *p - Si* (100) марки КДБ - 10. Выбор *Si* в качестве подложки обусловлен тем, что характеристики границы раздела Al_2O_3 / *Si* слабо зависят от температуры синтеза диэлектрика. Оксид алюминия выращен методом МН из смеси газов на кремниевой подложке *p - Si* (100) марки КДБ - 10. Образцы были получены с использованием в качестве реагентов триметилалюминия $Al(CH_3)_3$ (ТМА) и пары воды,

имели толщину 78 нм. Алюминиевые контакты наносились на диэлектрик термическим напылением в вакууме.

Исследование структуры поверхности и определение элементного состава пленок производилось в низком вакууме (до 750 Па) с использованием сканирующего электронного микроскопа (SEM) Carl Zeiss EVO 40. В таблице 1 приводятся данные весовых % содержания химических элементов для двух образцов пленок аморфного оксида алюминия. Отношение атомов алюминия к атомам кислорода соответствует их координации в кристаллических фазах оксида алюминия.

Таблица 1 – Весовые % содержания химических элементов в пленках аморфного оксида алюминия

№ образца	Весовой %			
	C K	*O K*	*Al K*	*Sn L*
№ 1	6.49	68.12	22.47	2.91
№ 2	16.17	61.40	19.36	3.06

Измерение температурно-частотных зависимостей составляющих комплексной диэлектрической проницаемости ε', ε'' проводилось в широком интервале температур (223…373 K) и частот (10^{-1} … 10^{6} Гц) на установке «Concept 81» (NOVOCONTROL Technologies GmbH&Co), которая состоит из диэлектрического спектрометра, криостата с измерительной ячейкой, системы термостатирования, системы автоматического сбора данных и сосуда дьюара с системой испарения и подачи газообразного азота. В качестве экспериментальных данных собираются значения мнимой и действительной части импеданса ячейки с измеряемым образцом. Спектры комплексной диэлектрической проницаемости рассчитываются из спектров импеданса по формуле:

$$\varepsilon^* = \varepsilon' - i\varepsilon'' = \frac{-i}{\omega Z^*(\omega)} \frac{1}{C_0} \qquad (1)$$

где $C_0 = \dfrac{\varepsilon_0 S}{d}$ – емкость пустой ячейки.

Результаты и обсуждение. Температурно-частотные зависимости действительной части комплексной диэлектрической проницаемости ε' характеризуются резким увеличением ее величины с уменьшением частоты и монотонным увеличением с ростом температуры (рис. 1). Как видно из рисунка 1, ε' исследуемых образцов претерпевает существенную дисперсию. Наблюдаемое в экспериментах изменение диэлектрической проницаемости Al_2O_3 с частотой и температурой, а также существование максимума ε'' (рис. 2) свидетельствуют о проявлении механизма релаксационной дисперсии, обусловленной существованием дипольно-релаксационной поляризации [4].

Дипольно-релаксационная поляризация обусловлена прыжками носителей заряда между центрами с разными значениями энергии с образованием квазидиполей [5]. Концентрация диполей в пленках аморфного оксида алюминия полученного термическим испарением в вакууме достигает 10^{19} см$^{-3}$, эффективная подвижность дипольных зарядов 10^{-10} м^{2}В$^{-1}$с$^{-1}$. В качестве ионов могут выступать немостиковые ионы кислорода, ионы H^+ и HO^-, примесные атомы, ионы щелочных металлов и др. В случае слоев полученных методом МН можно говорить о существование тех же дипольных структурных единиц, связанных с положительно заряженными кислородными вакансиями, возникшими при синтезе Al_2O_3 на кремний [6, 7].

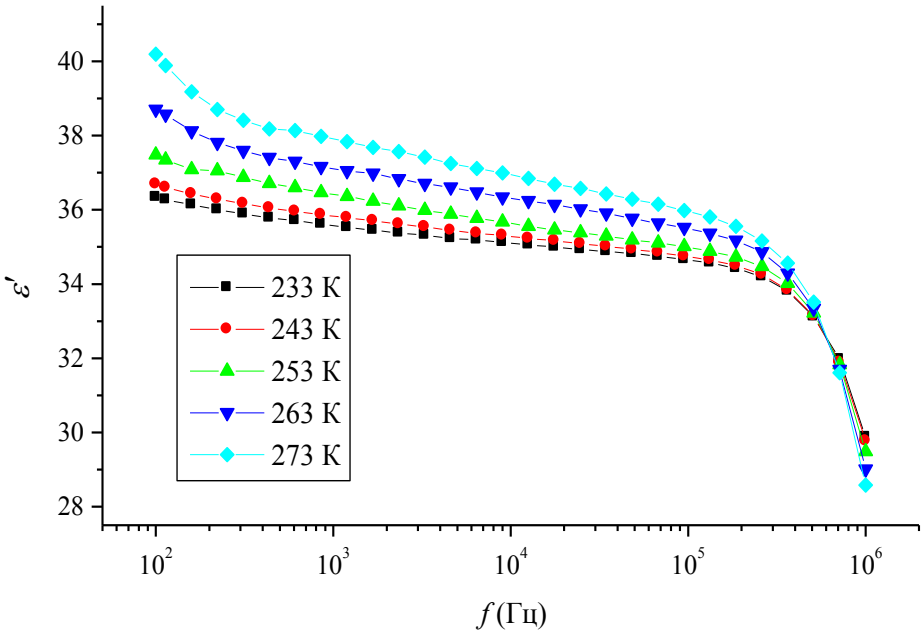


Рис. 1 - Частотная зависимость действительной части комплексной диэлектрической проницаемости в структурах на основе Al_2O_3, при разных температурах

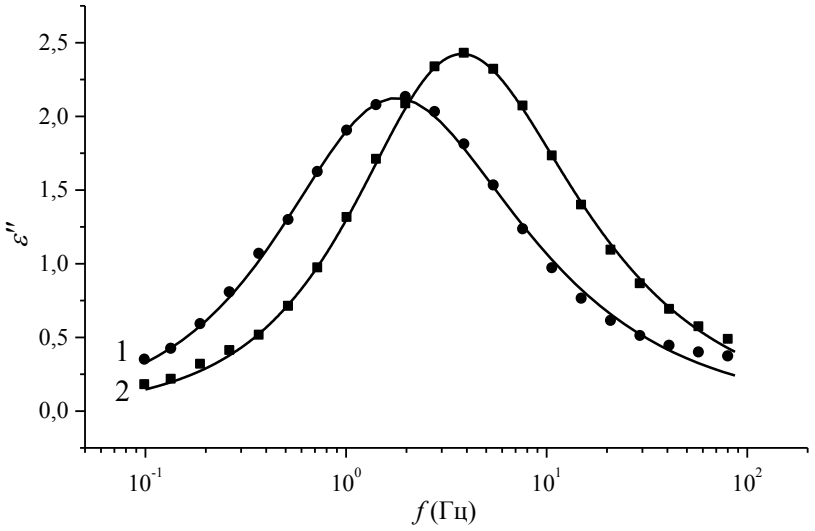


Рис. 2 – Частотная зависимость фактора потерь в структурах на основе Al_2O_3, при разных температурах: 1 – 263 К, 2 – 293 К

Результаты измерения диэлектрических спектров аппроксимировались с использованием программного обеспечения Novocontrol Winfit. На основе этой аппроксимации выделялись положения максимумов диэлектрических потерь и определялись параметры двухпараметрической эмпирической функции Гавриляк – Негами (HN) для изученных релаксационных процессов [8]:

$$\varepsilon^*(\omega) = \varepsilon_\infty + \frac{\Delta\varepsilon}{\left[1+(i\omega\tau)^{\alpha_{HN}}\right]^{\beta_{HN}}} \qquad (2)$$

где ε_∞ – высокочастотный предел действительной части диэлектрической проницаемости, $\Delta\varepsilon$ – диэлектрический инкремент (разность между низкочастотным и высокочастотным пределами), $\omega=2\pi f$, α_{HN} и β_{HN} – параметры формы, описывающие соответственно симметричное (β = 1 – распределение Коула – Коула) и асимметричное (α = 1 –

распределение Коула – Дэвидсона) расширение функции релаксации. Полученные значения релаксационных параметров α и β позволяют заключить, что в исследуемой области частот наблюдается недебаевский релаксационный процесс с несимметричным распределением времен релаксации τ_{max} согласно модели Коула-Дэвидсона (таблица 2). Данное обстоятельство подтверждается и видом диаграмм Коула-Коула. По температурной зависимости наиболее вероятного времени релаксации τ_{max} (рис. 3) определена энергия активации релаксационного процесса, которая оказалась равной E_a = 0.10 эВ.

Таблица 2 – Значение релаксационных параметров образцов оксида алюминия в области средних частот

T(К)	$\tau_{max} \cdot 10^{-1}$ (с)	τ_{HN} 10^{-1} (с)	$\Delta\varepsilon$	α	β
223	1.38	2.10	5.72	0.85	0.656
233	1.29	1.81	5.32	0.86	0.707
243	1.024	1.41	5.18	0.91	0.706
253	0.87	1.36	5.37	0.96	0.587
263	0.89	1.12	5.25	0.94	0.772
273	0.68	0.94	5.63	0.93	0.693
283	0.55	0.68	5.70	0.98	0.778

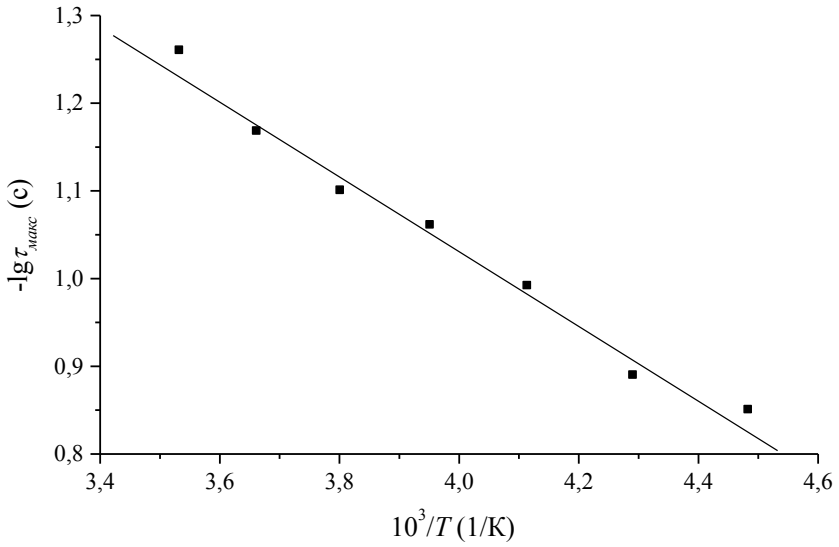


Рис. 3 – Температурная зависимость наиболее вероятного времени релаксации τ_{max} в координатах Аррениуса

Заключение. Установлены закономерности процессов диэлектрической релаксации: увеличение диэлектрической проницаемости с уменьшением частоты и ростом температуры, увеличение величины диэлектрических потерь с температурой. Данные закономерности свидетельствуют о существовании механизма дипольно-релаксационной поляризации. В области средних частот и температур наблюдается недебаевский релаксационный процесс с несимметричным распределением релаксаторов по временам релаксации согласно модели Коула-Дэвидсона.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 14-32-50672.

Список литературы

1. Гладских, И.А. Оптические и фотоэлектрические свойства самоорганизованных плазмонных наноструктур: автореф. дис. ... кандидата физико-математических наук: 01.04.05 / Гладских Игорь Аркадьевич.- СПб, 2014.- 18 с.

2. Кастро, Р.А. Исследование процессов переноса и накопления заряда в слоях As_2Se_3, полученных разными методами / Р.А. Кастро, В.А. Бордовский, Г.И. Грабко // Физика и химия стекла. – 2009. – Т. 35.- № 1. – С. 54-57.

3. Кастро, Р.А. Дисперсия диэлектрических параметров в модифицированных слоях триселенида мышьяка/ Р.А. Кастро, В.А. Бордовский, Г.И. Грабко // Письма в ЖТФ. – 2010. – Т.36. – В. 17. – С. 9-15.

4. Тетельбаум, Д. И. Свойства наноструктур Al_2O_3 : *nc*-Si, сформированных путем ионной имплантации кремния в сапфир и аморфные пленки оксида алюминия / Д.И. Тетельбаум, А.Н. Михайлов, А.И. Белов, А.В. Ершов, Е.А. Питиримова, С.М. Планкина, В.Н. Смирнов, А.И. Ковалев, R. Turan, S. Yerci, T.G. Finstad, S. Foss // Физика твердого тела. – 2009. – Т. 51. – Вып. 2. – С. 385-392.

5. Поплавко, Ю.М. Физика активных диэлектриков: учебное пособие / Ю.М. Поплавко, Л.П. Переверзева, И.П. Раевский; под ред. проф. В.П. Сахненко. – Ростов н / Д: Изд - во ЮФУ, 2009. – 480 с.

6. Сазанов, С.Г. Зарядовые свойства слоев оксида алюминия, синтезированных методом молекулярного наслаивания / С.Г. Сазанов, З.Н. Зулуев, В.Е. Дрозд, И.О. Никифорова // Письма в ЖТФ. – 1998. – Т. 24. – Вып. 13. – С. 58-63.

7. Jakschik, S. Crystallization behavior of thin ALD-Al_2O_3 films / S. Jakschik, U. Schroeder, T. Hecht, M. Gutshce, H. Seidl, J. W. Bartha // Thin solid films. – 2003. – V. 425 – p. 216 - 220.

8. Kremer, K. Broadband dielectric spectroscopy / Kremer K., Schonhals A. (Eds.). – Berlin Heidelberg: Springer, 2003. – 729 c.

01.02.05

Д.П. Данилаев к.т.н., М.П. Данилаев д.т.н., Н.В. Дорогов

Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева–КАИ, Казань, d_danilaev@mail.ru, danilaev@mail.ru, nicway@mail.ru

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОЦЕССА КАПСУЛИРОВАНИЯ В МНОГОФАЗНЫХ ГАЗОВЫХ ПОТОКАХ

В работе приведена оценка эффективности формирования капсул в процессе осаждения частиц мономера на центры конденсации. Получены рекомендации по увеличению этой эффективности.

Ключевые слова: *капсулирование в газовой фазе.*

Одно из бурно развивающихся в настоящее время направлений в материаловедении основано на создании композиционных полимерных материалов с повышенными прочностными свойствами, получаемыми за счет использования в качестве наполнителя наночастиц [1]. Широкое применение композиционных материалов с повышенными прочностными свойствами ограничено низкой воспроизводимостью характеристик конечного материала, что обусловлено недостаточной однородностью распределение наночастиц в полимерной матрице. Перспективный подход к достижению однородного распределения наночастиц в полимерной матрице основан на способе капсулирования.

В основе этого способа лежат процессы диспергирования наночастиц наполнителя, последующего осаждения и полимеризации мономера на поверхности каждой из диспергированных наночастиц. Обеспечить эти процессы возможно, например, за счет формирования двух раздельных многофазных газовых потоков конгломератов наночастиц и частиц мономера соответственно, последующего заряда частиц обоих потоков противоположными по знаку зарядами, их диспергирования и смешением двух многофазных газовых потоков заряженных частиц [2]. Целью данной работы является оценка эффективности образования капсул в процессе осаждения заряженных частиц мономера на противоположно заряженные центры конденсации.

Под эффективностью капсулирования будем понимать отношение числа образованных капсул ($N_к$) к числу центров конденсации (N_M):

$$\eta = \frac{N_K}{N_M} \qquad (1)$$

Математическую формализацию задачи проведем на основе кинетических уравнений при следующих допущениях.

1. Процесс осаждения отрицательно заряженных частиц мономера, на поверхность положительно заряженных центров конденсации, организован в некотором замкнутом объеме (камере смешения) при условиях: термодинамического равновесия в камере смешения: $T = const$; отсутствия внешнего электрического поля: $\left|\vec{E}\right| = 0$; аэрогидродинамического равновесия: $P = const$; $\rho = const$; $V = const$. При этом будем полагать, что в камере смешения обеспечивается однородное смешение многофазных газовых потоков разноименно заряженных частиц мономера и центров конденсации.

2. Будем рассматривать частицы мономера и центры конденсации как сферические частицы с равномерным распределением зарядов по поверхности [4]. Тогда число частиц мономера, необходимых для образования слоя на поверхность наночастицы (с образованием пленки) требуемой толщины: $Z \sim \left(\frac{R_M}{r_m}\right)^2$ где r_m - радиус частицы мономера, R_M - радиус центра конденсации.

3. Будем полагать, что после образование капсулы ее заряд оказывается нейтральным за счет компенсации заряда центра конденсации противоположно заряженными частицами мономера.

4. Ограничимся рассмотрением только парных столкновений частиц и центров конденсации: вероятность одновременного сближения трех и более частиц много меньше, чем вероятность сближения двух частиц [6]. Пренебрежем малым влиянием среды (газа-носителя и примесей) на ход процесса осаждения.

Поскольку в рассматриваемом способе [2] число частиц мономера гораздо больше числа центров конденсации ($Z >> 1$), то для составления системы кинетических уравнений выделим следующие наиболее значимые для капсулирования процессы [6]:

Первая группа столкновений:

1.1. $M + m^- \to M + m \ \to (\sigma_{11})$

1.2. $m + m^- \to m + m \ \to (\sigma_{12})$

1.3. $M^+ + m^- \to M + m \ \to (\sigma_{13})$

1.4. $M^+ + m^- \to M^+ + m \ \to (\sigma_{14})$

1.5. $m^- + m^- \to m + m \ \to (\sigma_{15})$

1.6. $(M - Zm) + m^- \to (M - Zm) + m \ \to (\sigma_{16})$ (2)

Вторая группа столкновений:

2.1. $M^+ + m^- \to (M - m)^+ \ \to (\sigma_{21})$

2.2. $(M - m)^+ + (Z - 1)m^- \to (M - Zm) \ \to (\sigma_{22})$

2.3. $M^+ + Zm^- \to (M - Zm) \ \to (\sigma_{23})$

В (2) приняты следующие обозначения: σ – константа скорости процесса *M* – центр конденсации, M^+ – центр конденсации с максимальным зарядом, *m*–частица мономера, m^- – отрицательно заряженная частица мономера с максимальным зарядом, $(M\text{-}m)^+$ – заряженный центр конденсации с осажденной на него одной частицей мономера, (*M-Zm*) – капсула. Константы скоростей неупругих столкновений частиц пропорциональны вероятности осаждения частицы и числу соударений между молекулами компонент в 1 см^3 за 1 сек. [5].

Для представленных в (2) видов упругих столкновений в первом приближении можно считать, что константы скорости процессов 1.1–1.6 равны $\sigma_{упр} \approx \sigma_{11} \approx \sigma_{12} \approx \sigma_{13} \approx \sigma_{14} \approx \sigma_{15} \approx \sigma_{16}$ [4]:

$$\sigma_{упр} \sim \frac{4\pi}{9} \frac{q^4 \Lambda}{(kT)^2} \cdot \left(\frac{8kT}{\pi \cdot \mu} \right)^{1/2} = \frac{4}{9} \frac{q^4 \Lambda}{(kT)^2} \cdot \left(\frac{8\pi kT}{\mu} \right)^{1/2}, \quad (3)$$

где $\Lambda = ln\left[\frac{3}{2\sqrt{\pi}} \frac{(kT)^{3/2}}{q_m^3 \cdot n_\infty^{1/2}} \right]$ – кулоновский логарифм, μ – приведенная масса сталкивающихся частиц $\frac{1}{\mu} = \frac{1}{m_M} + \frac{1}{m_m}$, m_M и m_m– массы частиц центра конденсации и частиц мономера соответственно.

Введем обозначения: $n_1 = n_1(t)$ – число частиц М, $n_ц = n_ц(t)$– число частиц M^+, $n_2 = n_2(t)$ – число частиц m, $n_м = n_м(t)$– число частиц m^-, $n_3 = n_3(t)$ – число частиц $(M\text{-}m)^+$, $n_к = n_к(t)$– число частиц (M-Zm). Система кинетических уравнений имеет вид:

$$\begin{cases} \dfrac{\partial n_1}{\partial t} = \sigma_{\text{упр}} n_{\text{ц}} \\ \dfrac{\partial n_{\text{ц}}}{\partial t} = -n_3\left[\sigma_{21} + \sigma_{23} + \sigma_{\text{упр}}\right] \\ \dfrac{\partial n_2}{\partial t} = 6 n_{\text{м}} \sigma_{\text{упр}} \\ n_{\text{м}} = Z \cdot n_{\text{ц}} \\ \dfrac{\partial n_3}{\partial t} = \left(n_{\text{ц}} + n_{\text{м}}\right)\sigma_{21} - n_3 \sigma_{22} \\ \dfrac{\partial n_4}{\partial t} = \left(\dfrac{n_{\text{ц}} + n_{\text{м}}}{Z}\right)\sigma_{23} + \left(\dfrac{n_3 + n_{\text{м}}}{Z-1}\right)\sigma_{22} \end{cases} \tag{4}$$

Для системы (4) справедливы следующие начальные условия: $n_{\text{ц}}(t=0) = n_0$; $n_1(t=0) = 0$; $n_2(t=0) = 0$; $n_3(t=0) = 0$; $n_{\text{к}}(t=0) = 0$. Первоначальное число частиц мономера $n_{\text{М}}(t=0)$ в технологии [2] подбирается таким образом, чтобы выполнялось условие $n_{\text{м}}\left(t=0\right) = Z \cdot n_0$.

С учетом принятых допущений выражения для эффективности осаждения имеет вид:

$$\eta = \frac{n_{\text{к}}(t \to \infty)}{n_0} \approx \frac{1 + \dfrac{\sigma_{22}}{\sigma_{21}}}{1 + \dfrac{\sigma_{\text{упр}}}{\sigma_{21}}}. \tag{5}$$

Здесь [4], $\dfrac{\sigma_{упр}}{\sigma_{21}} = \sigma(x) \sim x^2 \Lambda(x)\left(\dfrac{\delta^2}{\left(R_M + r_m\right)^2}\right)\exp\left[-\dfrac{1}{4\pi}x\right]$ где $\Lambda = \Lambda\left(x\right) \sim \ln\left(c \cdot x^{-1}\right)$ – кулоновский логарифм, c - коэффициент пропорциональности, $x = \dfrac{1}{\varepsilon_0}\dfrac{\left(q_m\right)^2}{\delta \cdot \left(kT\right)}$ – безразмерная величина. Для постоянной температуры и заданного сорта центров конденсации и мономера $\sigma_{22}/\sigma_{21} = \text{const}$.

Максимальная эффективность η капсулирования достигается при $\sigma_{упр}/\sigma_{21} \to \min$. Обеспечить выполнение условий $\sigma_{упр}/\sigma_{21} \to \min$ при $Q_M, q_m = \text{const}$ (6) возможно за счет уменьшения δ среднего расстояния между центрами конденсации и частицами мономера, т.е. за счет увеличения числа частиц мономера в единице объема камеры смешения.

Для достижения высокой эффективности η в течении всего процесса капсулирования следует обеспечивать:

- максимальные величины зарядов частиц мономеров и центров конденсации на момент ввода частиц в камеру смешения;
- минимальную величину расстояния δ между частицей мономера и центром конденсации ($\delta << R, r$), например за счет увеличения числа частиц мономера в камере смешения. Оценки показывают, что в единице объема камеры смешения (1 см^3) наибольшую эффективность процесса капсулирования, реализуемого по описанному выше механизму, можно обеспечить при $Z \geq 10^6$. Оценки проводились для углеродных частиц, средний радиус которых составляет ~1мкм и частиц стирола, средний радиус которых после диспергирования и заряда в коронном разряде ~100 нм.

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

Список литературы

1. Игуменова Т.И., Попов Г.В., Акатов Е.С., Гудков М.А. Формирование свойств полимерных композиций с использованием смесей углеродных наноматериалов различной дисперсности// Сборник материалов докладов участников Третьего Междунар. форума по нанотехнологиям.– 2010.
2. M.P. Danilaev, O.Yu. Bogomolova, E.A. Bogoslov, S.A. Mikhailov, Yu.E. Pol'skii, D.M. Pashin. Nanotechnologies in Russia, Volume 9, Issue 11-12, p 645-649 (2014)
3. Фролов Ю.Г. Курс коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы. Учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Химия, 1988. – 464с.
4. Физико-химические процессы в газовой динамике. Компьютеризованный справочник в 3-х томах. Том 1: Динамика физико-химических процессов в газе и плазме // Под ред. Г.Г.Черного и С.А.Лосева – М.: Изд. Моск. ун-та, 1995. – 350 с.
5. Дж. Кларк, М. Макчесни Динамика реальных газов. – М.: МИР, 1967. – 568 с.
6. Алоян А.Е. Динамика и кинетика газовых примесей аэрозолей в атмосфере. Курс лекций. – М.: ИВМ РАН, 2002. – 201 с.
7. Эбелинг В. Образование структур при необратимых процессах: Введение в теорию диссипативных структур. – Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2004, 256 с.

01.01.06

В.В. Дружинин, А.А. Лазарев, Д.Д. Усанов

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

РЕШЕТО ВЫЧЕТОВ В ТЕОРИИ ПРОСТЫХ ЧИСЕЛ

Рассматривается вопрос о наличии простых чисел в окружении произведения простых чисел. С помощью теории сравнений строится таблица вычетов, которая указывает на наличие таких чисел. Свойства сравнений позволяют без особых расчётов фиксировать большие простые числа.

Ключевые слова: *простые числа, теория сравнений, вычеты.*

Известно, что классическое решето Эратосфена удаляет составные числа, оставляя только простые числа (ПЧ). Процесс этот сравнительно медленный. Мы предлагаем решето вычетов, которое имеет значительно больший шаг расчета и одновременно факторизует составные числа. Запишем ПЧ в порядке возрастания: $p_1 = 2;\ p_2 = 3;\ p_3 = 5;\ p_4 = 7;\ p_5 = 11; \dots\ p_{11} = 31; \dots$ Создадим базовое произведение ПЧ $A_n = \prod_{k=2}^{n} p_k$, и составим набор чисел $B_{t;n} = t \cdot A_n$, где $t = 1; 2; 3; \dots; N$. Половина из B_{tn} числа четные, остальные нечетные. Например, $A_3 = 105$, $B_{t;3} = \{105; 210; 315; 420; 525; 630; 735; 840; 945; 1050\}$ при $N = 10$. Выясним, является ли ближайшее нечетное окружение $B_{t;n}$ ПЧ? Нам надо проанализировать на простоту числа $B_{t;n} \pm 1$, если t четное, и числа $B_{t;n} \pm 2$, если t нечетное. На этих позициях ПЧ обладают большой вероятностью существования.

В данном примере имеется 20 чисел, которые можно проанализировать с помощью теории сравнений при использовании вычетов [1]. Запись сравнения $y \equiv \sigma(mod\ x)$, указывает на то, что $(y - \sigma)$ кратно x, или $(y - \sigma) \vdots x$. Если брать $0 \le \bar{\sigma} \le (x - 1)$, то $\bar{\sigma} -$ обычный остаток при делении чисел. Мы будем, кроме $\bar{\sigma}$, пользоваться вычетами $-x/2 < \sigma < x/2$, которые по модулю меньше половины делителя x. При $\bar{\sigma} < x/2$ $\bar{\sigma} = \sigma$. Для дальнейшего надо найти наибольшее ПЧ $p(n; N) \le \sqrt{NA_n}$, и взять все m ПЧ $p_{n+1} \le p_\mu \le p(n; N)$. В нашем примере $p_{n+1} = p_4 = 11$, $p(3; 10) = 31$, т.к. $\sqrt{1050} \approx 32{,}4$. Количество проверяемых ПЧ $m = 7$. Это ПЧ $p_\mu = \{11; 13; 17; 19; 23; 29; 31\}$. После этой подготовки записываем таблицу $m \times N$ вычетов $\sigma(p_\mu; t; n)$, которые находятся из решения сравнения $B_{t;n} \equiv \sigma(p_\mu; t; n)(mod\ p_\mu)$. Например, (см. табл. № 1) $\sigma(19; 5; 3) = -7$, т. к. $525 = 27 \cdot 19 + 12$. Вычет-остаток $\bar{\sigma} = 12$ преобразуем в нужный нам вычет $\sigma = \bar{\sigma} - 19 = -7$.

Таблица № 1. Набор вычетов $\sigma(p_\mu; t; 3)$ из сравнений $t \cdot A_3 \equiv \sigma(p_\mu; t; 3)(mod\ p_\mu)$.

$p_\mu \backslash t$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
11	-5	1	-4	2	-3	3	-2	4	-1	5	0	-
13	1	2	3	4	5	6	-6	-5	-4	-3	-2	-4
17	3	6	-8	-5	-2	1	4	7	-7	-4	-1	-2
19	-9	1	-8	2	-7	3	-6	4	-5	5	-4	-8
23	-10	3	-7	6	-4	9	-1	-11	2	-8	5	10
29	-11	7	-4	14	3	-8	10	-1	-12	6	-5	-10
31	12	-7	5	-14	-2	10	-9	3	15	-4	8	-15

Вначале проанализируем нечетные t. Колонки с $t = 1$ и 3 не содержат чисел «± 2», следовательно, числа $\{103; 107; 313; 317\}$ ПЧ. Колонка с $t = 5$ содержит два раза $\bar{\sigma} = -2$ при $p_\mu = 17$ и 31. Следовательно, $525 + 2 = 527 = 17 \cdot 31$ число составное. Число же $525 - 2 = 523$ есть ПЧ, т.к. вычета $\bar{\sigma} = 2$ в колонке с $t = 5$ нет. Точно также находим еще два ПЧ $735 - 2 = 733$ и $945 + 2 = 947$. Что касается колонок с четными t, то тут мы

смотрим на вычеты «± 1». Например, при $t = 2$ есть два $\bar{\sigma} = 1$. Это дает: $210 - 1 = 209 = 11 \cdot 19$ составное числа, но 211 – ПЧ. Таким образом, табл. №1 дает из 20 чисел ближайшего окружения B_{t3} 14 ПЧ $\{103; 107; 211; 313; 317; 419; 421; 523; 631; 733; 839; 947; 1049; 1051\}$.

Табл. №1 позволяет найти ПЧ из соседей B_{t3} второго порядка. При t нечетных надо проверять $\bar{\sigma} = \pm 4$, т.е. проверять числа $B_{t3} \pm 4$, а при t четных проверять $\bar{\sigma} = \pm 3$. Из 20 соседей второго порядка имеем ПЧ $\{101; 109; 311; 521; 101; 109; 311; 521; 739; 941\}$. Отдельно проводится проверка делимости на «3».

Таблица вычетов создается очень просто: строка – это арифметическая прогрессия с разностью $\bar{\sigma}(p_\mu; 1; 3)$ ограниченная коридором $(-p_\mu/2; +p_\mu/2)$. Например, $\bar{\sigma}(11; 1; 3) = 6 \to \sigma = -5$, $\bar{\sigma}(11; 2; 3) = 12 \to \sigma = 1$, $\bar{\sigma}(11; 3; 3) = 7 \to \sigma = -4$, и так далее. Вычеты имеют период, и через делитель p_μ повторяются: $\bar{\sigma}(p_\mu; t; n) = \bar{\sigma}(p_\mu; t + p_\mu; n)$. Кроме этого существует рекуррентное соотношение $t \cdot \bar{\sigma}(p_\mu; 1; n) \equiv \bar{\sigma}(p_\mu; t; n)(mod\, p_\mu)$. Например, $\bar{\sigma}(17; 1; 3) = 3; 9 \cdot 3 = 27 \equiv 10(mod\, 17) \to \sigma(17; 9; 3) = -7$. Таким образом, зная один вычет в строке можно построить все остальные.

Начальное значение вычета $\bar{\sigma}(p; 1; n)$ находится простым делением или с помощью детерминантного признака делимости, предложенного Дружининым [2,3] . Если $Y = Y_1 \cdot \beta^s + Y_0$, $X = X_1 \cdot \beta + X_0$, то Y делится на X - необходимо и достаточно, если $D(Y, X, s) \vdots X$, где

$$D(Y; X; s) = \begin{vmatrix} Y_1 & Y_0 \\ (-1)^{s+1} X_1^s & X_0^s \end{vmatrix} = Y_1 \cdot X_0^s + (-1)^s X_1^s \cdot Y_0 = k \cdot X. \quad (1)$$

Рассмотрим его применение на примере. Пусть надо найти $\bar{\sigma}(37; 1; 4)$, т.е. решить сравнение $1155 \equiv \bar{\sigma}(37; 1; 4)(mod\, 37)$. Представим

$1155 = 1000 + 155$, а $37 = 40 - 3$. Тут $\beta = 10$, $s = 3$, $Y_1 = 1$, $Y_0 = 155 - \bar{\sigma}$, $X_1 = 4$, $X_0 = -3$. $D(1155; 37; 3) = 1 \cdot (-27) - 64 \cdot (155 - \bar{\sigma})$. Все входящие в последнее равенства числа можно заменить на вычеты по модулю 37:

$27 \equiv (-10)(mod\, 37), 155 \equiv 7(mod\, 37), 64 \equiv (-10)(mod\, 37)$. После этого $D(1155; 37; 3) = 10 + 10(7 - \bar{\sigma}) = 10(8 - \bar{\sigma}) = k \cdot 37$ имеет решение $\bar{\sigma} = \sigma = 8$.

Этот пример рассмотрен нами не случайно. Предложенный вариант генерации ПЧ можно рассматривать как формулу простого числа, поскольку набор вычетов определяет новое ПЧ. При этом расстояние между такими ПЧ растет. Если мы в табл. №1 возьмем $t = 11$, то $B_{11;3} = A_4 = B_{1;4} = 3 \cdot 5 \cdot 7 \cdot 11 = 1155$. Это уже новый этап в пользовании вычетами, так как число $p_5 = 11$ исключается из анализа, но новые ПЧ не появляются, т.к. $\sqrt{1155} \approx 34$. При этом (см. табл. №1) $1157 \vdots 13$, а 1153 - ПЧ. $B_{2;4} = 2 \cdot A_4 = 2310$. Тут возникают дополнительные ПЧ $\{37; 41; 43; 47\}$. Первое число в новой строке при $p_{12} = 37$ мы получаем по детерминантному признаку делимости, оно равно $2 \cdot 8 = 16$. В целом в колонке при 2310 нет чисел ± 1, т.е. оба ближайших нечетных числа 2309 и 2311 ПЧ. Если в табл.1 расстояние между ПЧ было $\approx 10^2$, то на этом этапе оно уже $\approx 10^3$.

Формально задача по проверке окружения произвольного составного числа $B = \prod_k p_k^{\alpha_k}$ ставится так. Берем наибольшее ПЧ $p(n) \leq \sqrt{B}$ и все ПЧ меньшие $\sqrt{B}$ и не вошедшие в состав B. Эти ПЧ переводим в вычеты по какому-либо блоку произведения ПЧ A, вошедших в B. Можно взять этот блок небольшим для облегчения расчетов начальных вычетов. В табл. № 1 это блок A_3. После этого переводим новые ПЧ $p_n \leq p(n)$ в вычеты-остатки по делимому A. Это число есть разность арифметической прогрессии. Наличие чисел ± 1 и ± 2 указывает на составное число.

Авторы благодарят проф. Н.С. Шевяхова за обсуждение работы и ценные замечания.

Список литературы

1. Сизый С.В. Лекции по теории чисел. ФИЗМАТЛИТ, М, 1963.
2. Дружинин В.В. Детерминантный признак делимости. Саров, Альфа, 2012.
3. Druzhinin V.V. European Science Review, № 1-2, p. 24-26, 2015.

01.04.07

[1]Р.А. Кастро д.ф-м.н., [1]Н.И. Анисимова, [1]Л.А. Набиуллина, [2]Г.И. Грабко

[1]Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена
[2]Забайкальский государственный университет
recastro@mail.ru, n_anisim@mail.ru, lia-nabiullina@yandex.ru, gigrabko@gmail.com

ФОТОИНДУЦИРОВАННОЕ ИЗМЕНЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ОПТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ В СТЕКЛООБРАЗНОЙ СИСТЕМЕ $AS_{50}SE_{50}$

Проведено исследование фотоиндуцированного изменения спектральной зависимости оптических параметров в системе $As_{50}Se_{50}$. Установлено, что фотопотемнение образцов, вызванное фотостимулированным изменением их оптических свойств, связано с уменьшением оптической ширины запрещенной зоны. По мере роста толщины пленок значение достигаемого контраста нарастает во всем исследуемом диапазоне толщин, то есть эффект носит объемный характер.

Ключевые слова: *Фотоиндуцированные изменения, спектральная зависимость, оптические параметры, стеклообразные системы*.

Введение. Вследствие лабильности структурной сетки и локализации носителей заряда, обусловленных неупорядоченной структурой, халькогенидные стеклообразные полупроводники (ХСП) обладают рядом свойств, присущим только этим материалам. К таким свойствам относятся их способность изменять свои оптические, физико-химические, фотоэлектрические свойства под воздействием света [1, 2]. В последнее время ХСП все больше привлекают внимание исследователей [3, 4] в связи с расширением области их использования в многочисленных устройствах микроэлектроники и оптоэлектроники. Так, в последнее десятилетие пристальный интерес вызывают работы по созданию устройств энергонезависимой фазовой памяти (*Phase Change Memory* или *PCM*), работающих на принципе обратимого фазового перехода «аморфное – кристаллическое состояние». Локальные структурные трансформации в наноразмерном слое материала осуществляются за счет электрического импульса или импульса света. Одним из успешных примеров практического использования данного эффекта является создание оптических дисков формата *DVD-RW*. На сегодняшний день существует реальная возможность создания на их основе конкурентоспособных устройств, которые могут потеснить на рынке традиционную флэш-память.

Большинство исследователей в настоящее время связывают фотоиндуцированные изменения свойств ХСП с фотоструктурными превращениями, т.е. с изменением структуры вещества под действием света [2, 5-6]. Однако механизм фотоструктурных превращений до настоящего времени не до конца ясен. В частности практически не изучена зависимость фотоструктурных изменений от интенсивности и спектрального состава возбуждающего света, а так же от длительности засветки. Понимание механизма фотоиндуцированных изменений очень важно для получения ответов на фундаментальные вопросы, касающиеся электронных процессов в материалах с неупорядоченной структурой. Кроме того, эти знания необходимы при создании на основе ХСП различных устройств в микро- и оптоэлектронике. Настоящая работа посвящена исследованию особенностей фотостимулированного изменения оптических свойств моноселенида мышьяка ($As_{50}Se_{50}$).

Методика эксперимента. В ходе исследования проводилось измерение и расчет оптических характеристик: коэффициента пропускания (T), коэффициента поглощения (α) и оптической ширины запрещенной зоны (E_g) в диапазоне длин волн от 400 до 700 нм на спектрофотометре СФ-26. Образцы изготавливались в виде тонких пленок ХСП системы As–Se, толщиной 0.1… 0.6 мкм. Исследовались также фотостимулированные изменения оптических свойств в этих пленках по значениям параметров: изменение оптической ширины запрещенной зоны (ΔE_g), величины длинноволнового сдвига кривой пропускания

при облучении (Δλ) и контраста (*к*). Изучено влияние на эти параметры длительности облучения (для формирования фотоструктурных превращений), спектрального состава засветки и толщины самого слоя ХСП. В качестве источников излучения были использованы: световой поток от источника белого света типа А (Ф = 350лм), а также ртутной лампы сверхвысокого давления типов ДРТ-1000 и ДРШ-1000 с максимумом излучения в ультрафиолетовой области спектра на длине волны 437 и 365 нм соответственно.

Результаты и обсуждение. Установлено, что фотопотемнение образцов связано с уменьшением оптической ширины запрещенной зоны. Величина E_g для необлученных образцов, определяемая по зависимости $(\alpha h\nu)^{1/2} = f(h\nu)$, составляет 1.915 ± 0.03 эВ. Максимальный сдвиг ΔE_{gmax} составляет ~ 0.09 эВ при длительности засветки t = 30 минут, и не зависит от спектрального состава засветки. Время облучения образцов варьировалось в пределах от 3 до 60 минут. Длительность облучения увеличивалась вплоть до достижения насыщения фотостимулированного изменения. Так, на рис. 1 и 2 видно, что для системы $As_{50}Se_{50}$ с ростом времени облучения величина пропускания вначале резко падает, а контраст нарастает почти линейно вплоть до значений 20 - 30 минут. При дальнейшем увеличении длительности возбуждения скорость изменения пропускания и контраста замедляется, и к t = 60мин, почти выходит на насыщение. Дальнейшее увеличение времени засветки не приводит к существенному изменению пропускания и контраста. Поэтому, в нашем эксперименте, мы ограничились этим значением t = 60 минут как максимальным.

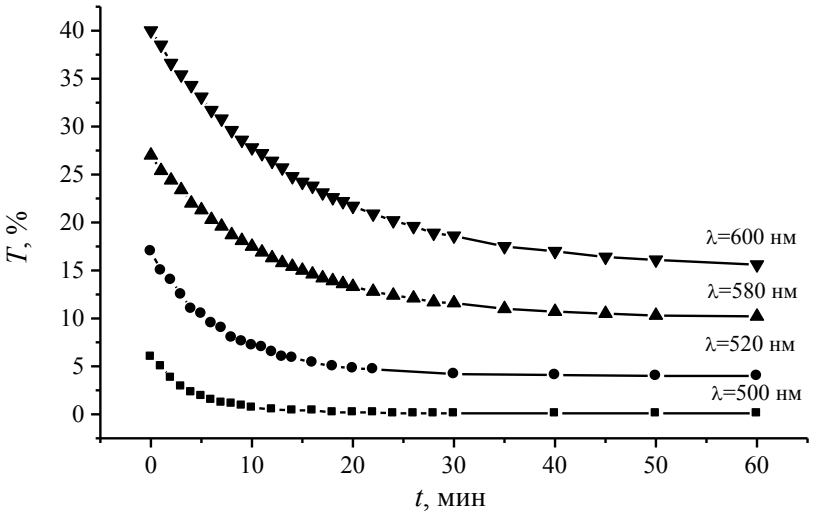


Рис. 1 – Кинетика изменения пропускания для разных длин волн. d = 0.41 мкм, $t_{обл}$=30 мин

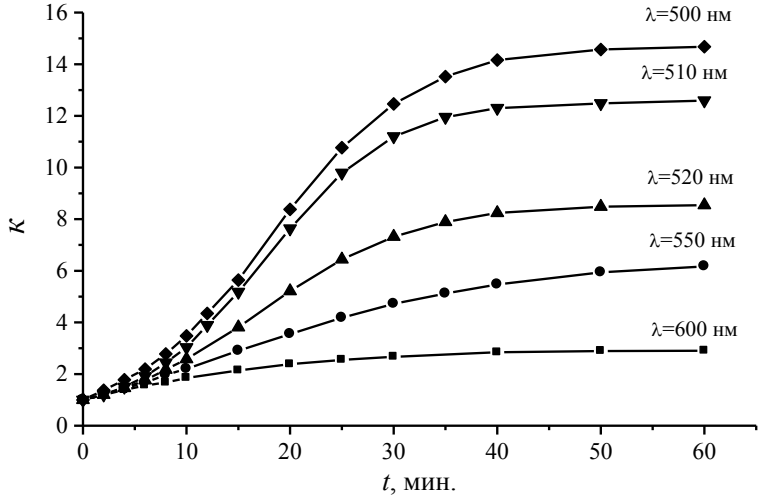


Рис. 2 – Кинетика изменения контраста для разных длин волн. d = 0.41 мкм, $t_{обл}$=30 мин

На рис. 3 и 4 приведены спектральные зависимости пропускания, полученные для различных времен облучения образцов. Засветка образцов проводилась как со стороны слоя $As_{50}Se_{50}$, так и со стороны подложки. Для всех исследованных образцов, облученных полихромным светом, не обнаружено существенных различий в ходе кривых, облученных со стороны слоя и со стороны подложки, и это естественно, поскольку подложка почти прозрачна в изучаемом диапазоне волн.

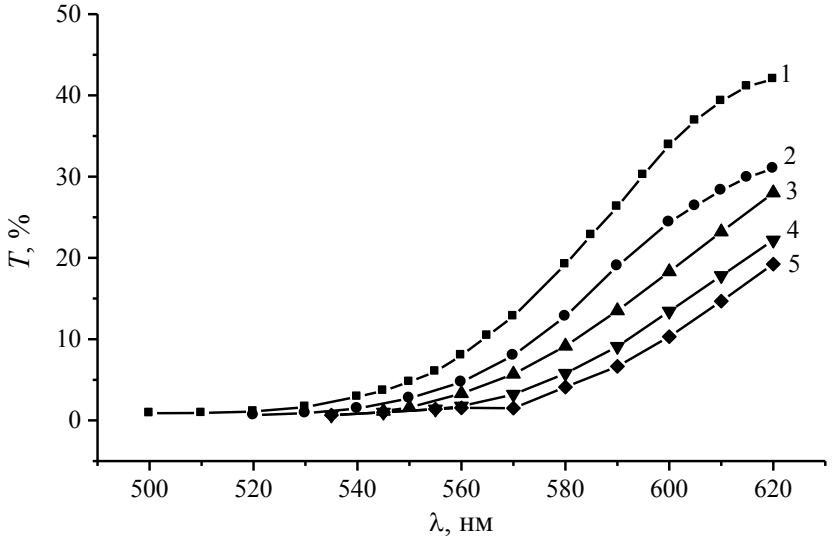


Рис. 3 – Спектральная зависимость пропускания для тонких пленок толщиной d = 0.62 мкм. Образец облучен со стороны слоя. 1 – необлученный, 2 – $t_{обл}$=5 мин., 3 – $t_{обл}$=10 мин., 4 – $t_{обл}$=30 мин., 5 – $t_{обл}$=60 мин. λ=38 нм

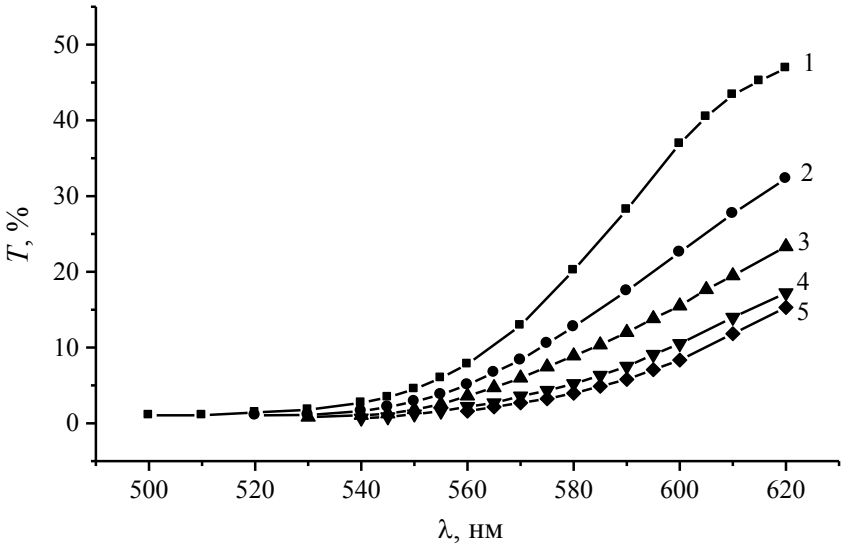


Рис. 4. – Спектральная зависимость пропускания для тонких пленок толщиной d = 0.62 мкм. Образец облучен со стороны подложки. 1 – необлученный, 2 – $t_{обл}$=5 мин., 3 – $t_{обл}$=10 мин., 4 – $t_{обл}$=30 мин., 5 – $t_{обл}$=60 мин. λ=38 нм

Из полученной спектральной зависимости контраста можно заключить, что тонкие образцы (~ 0.14 мкм) дают значительно меньшее значение максимально достижимого контраста, величина которого колеблется от 1 до 2. Для тонких образцов малого времени облучения (t~10 мин.) достаточно для того, чтобы фотоструктурные превращения, приводящие к потемнению образцов, имели место во всем объеме. При дальнейшем увеличении времени экспозиции контраст увеличивается незначительно. Величина контраста κ для образцов малой толщины, также мало зависит от типа источника облучения. Иная

картина наблюдается для более толстых слоев, где контраст может достигать значений ~ 10 – 15. В целом, чем толще образец, тем выше значение контраста, которое можно достигнуть, т.е., эффект носит объемный характер, свидетельствующий о том, что при данном времени облучения (t = 60мин.) прорабатывается вся толщина слоя.

Обнаруженные фотоиндуцированные изменения значения оптических параметров в пленках $As_{50}Se_{50}$ можно объяснить в рамках модели D – центров [7] и с привлечением конфигурационной модели [8]. Известно, что при фотоструктурных превращениях происходит перезарядка центров и меняется характер дефектности структуры стекла [2]. Конфигурационная модель предполагает, что халькогенидное стекло состоит из атомных узлов, способных находиться в двух устойчивых состояниях: основном и метастабильном. Между узлами могут осуществляться термооптические переходы, а соотношение числа узлов в основном и метастабильном состояниях определяет реальную структуру вещества и все его физические и химические свойства. Для материалов систем As-Se и As-S с избытком As основным можно считать структурное состояние, в котором все атомы As химически связаны со своим окружением, а метастабильными состояниями состояния, в которых стехиометрические атомы As вырваны из основной сетки стекла. Можно предположить что, если в исходном образце энергетически выгодно существование заряженных D^+ и D^- центров, связанные с “неправильными” связями типа As-As [7], то после фотоструктурных превращений более выгодным становится новое заряженное состояние структуры стекла. Последнее обстоятельство может быть связано с дефектами типа оборванных связей (из-за отсутствия атома в узле сетки стекла).

Заключение. Таким образом, в ходе проведенного исследования установлено, что фотопотемнение образцов, вызванное фотостимулированным изменением их оптических свойств, связано с уменьшением оптической ширины запрещенной зоны. По мере роста толщины пленок значение достигаемого контраста нарастает во всем исследуемом диапазоне толщин, то есть эффект носит объемный характер.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках выполнения государственного задания № 2014/376 (базовая часть).

Список литературы

1. Bordovsky G.A., Kastro R.A. Photoinduced changes in optical and contact properties of chalcogenide glasses // Optics and Spectroscopy. 2001. Т. 90. № 6. С. 884-886.
2. Л.П. Казакова, К.Д. Цендин, М.А. Тагирджанов, Н.С. Аверкиев. Обратимые фотоиндуцированные изменения в спектре локализованных состояний в пленках As-Se // Физика и техника полупроводников. 2005. Т. 39. № 8. С. 998-1001.
3. Bordovskii G.A., Castro R.A., Seregin P.P., Dobrodub A.A. Properties and structure of $(As_2Se_3)_{1-z}(SnSe)_{z-x}(GeSe)_x$ and $(As_2Se_3)_{1-z}(SnSe)_{z-x}(GeSe_2)_x$ glasses // Glass Physics and Chemistry. 2006. Т. 32. № 3. С. 320-324.
4. Anisimova N.I., Bordovsky G.A., Bordovsky V.A., Castro R.A. Defect influence on charged transport in chalcogenide glasses // Radiation Effects and Defects in Solids (REDS). 2001. Т. 156. № 1. С. 359-363.
5. А.В. Колобов, К. Шимакава. В сб.: Электронные явления в халькогенидных стеклообразных полупроводниках, под ред. К.Д. Цендина. СПб. – Наука. 1996. С. 365.
6. A. van Popta, R. Decorby, C. Haugen, T. Robinson, J. McMullin, D. Tonchev, S. Kasap. Photoinduced refractive index change in As_2Se_3 by 633 nm illumination // Optics Express. 2002. V. 10(15). P. 639-644.
7. Mott N.F., Davis E.A., Steet R.A. States in the gap and recombination in amorphous semiconductors // Phil. Mag. B. 1975. V. 32. № 5. P. 961-996.
8. Tanaka K. Photoinduced structural changes in amorphous semiconductors // Физика и техника полупроводников. 1998. Т. 32. № 8. С. 964-969.

01.01.06

Е.Н. Лубягина

Вятский государственный гуманитарный университет, факультет информатики, математики и физики, кафедра фундаментальной и компьютерной математики,
Киров, shishkina.en@mail.ru

ЧАСТИЧНЫЕ КОЛЬЦА НЕПРЕРЫВНЫХ ФУНКЦИЙ

В работе изучаются структурные свойства частичных колец всех непрерывных $[-1,1]$*-значных функций на топологических пространствах. Дано описание их максимальных идеалов и гомоморфизмов, сохраняющих* 1. *Установлена двойственность между категорией частичных колец непрерывных функций и категорией компактов.*

Ключевые слова: *частичное полукольцо непрерывных функций, компакт, максимальный идеал, гомоморфизм, двойственность.*

Статья относится к расширению тематики исследования колец непрерывных функций, основой которой служит классическая теория колец $C(X)$ непрерывных действительнозначных функций на топологических пространствах X [1, 2].

Через $C(X,S)$ обозначается полукольцо всех непрерывных функций, заданных на произвольном топологическом пространстве X и принимающих значения в топологическом полукольце S, с поточечно определёнными операциями над функциями. Полукольца $C^+(X)=C(X,R^+)$ непрерывных неотрицательных функций систематически изучаются, начиная с работы [3].

В качестве множества значений возьмем числовой отрезок $E=[-1,1]$, рассматриваемый с обычной операцией умножения$\cdot$, частичной (то есть не всюду определенной) операцией сложения $+$ и со стандартной топологией. Получаем частичные кольца $C(X,E)$, во многом схожие с кольцами $C(X)=C(X,R)$.

Заметим, что если вместо отрезка $[-1,1]$ взять отрезок $I=[0,1]$ с операцией умножения и частичной операцией сложения, то получим частичное полукольцо, похожее по своим свойствам на полукольцо $C^+(X)$. Частичное полукольцо $C(X,I)$ является подполукольцом частичного кольца $C(X,E)$. Полукольца $C(X,I)$ рассматривались в [3, 4].

В частичном кольце $C(X,E)$ отношение $f\le g$ означает, что $f(x)\le g(x)$ для любых $x\in X$. Для произвольного топологического пространства X и для любых функций $f,g\in C(X,E)$ если $|f|\le g^2$, то f делится на g (вытекает из [4, лемма 6]). Единственными обратимыми элементами в частичном кольце $C(X,E)$ являются константы ± 1.

Пусть Z - произвольное топологическое пространство. На нём рассмотрим следующее отношение эквивалентности $\sim$: $x\sim y$, если $f(x)=f(y)$ для любой функции $f\in C(Z,E)$. На фактор-множестве $\tau Z=Z/\sim$ зададим наименьшую топологию, относительно которой непрерывны все функции $\bar f:\tau Z\to E$, где $f\in C(Z,E)$ и $\bar f\left(\tilde x\right)=f(x)$ при любом $x\in Z$. Пространство τZ тихоновское (то есть вполне регулярное хаусдорфово), и $C(Z,E)\cong C(\tau Z,E)$. Для пространства τZ существует стоун-чеховская компактификация $\beta\tau Z=X$, дающая изоморфизм $C(X,E)\cong C(\tau Z,E)\cong C(Z,E)$. Таким образом, любому топологическому пространству Z соответствует компакт X (т. е. компактное хаусдорфово пространство), такой что полукольца $C(Z,E)$ и $C(X,E)$ канонически изоморфны. Поэтому далее будем считать топологические пространства X компактами.

Поскольку на компакте непрерывные действительнозначные функции ограничены и принимают свои наибольшие и наименьшие значения (теорема Вейерштрасса), то любой не обращающейся в 0 функции $f \in C(X,E)$ можно сопоставить натуральные числа $n_f = \inf\{n_i \in \mathrm{N} : |f| \geq \frac{1}{n_i}\}$. Имеем $\frac{1}{n_f} f^{-1} \in C(X,E)$ и $f\left(\frac{1}{n_f} f^{-1}\right) = \frac{1}{n_f}$.

Если J - идеал частичного кольца $C(X,E)$, $f \in J$ и $f(x) \neq 0$ для всех $x \in X$, то $J = C(X,E)$. Действительно, если $f \in J$ и $f \neq 0$ на X, то $f\left(\frac{1}{n_f} f^{-1}\right) = \frac{1}{n_f} \in J$ и $\sum_1^{n_f} \frac{1}{n_f} = 1 \in J$.

Произвольной точки $x \in X$ соответствует идеал $M_x = \{f \in C(X,E) : f(x) = 0\}$ ($M_x = \{f \in C(X,I) : f(x) = 0\}$) частичного полукольца $C(X,E)$ ($C(X,I)$). Заметим, что для любого идеала J в $C(X,E)$ множество $J \cap C(X,I)$ будет идеалом в $C(X,I)$. При этом, если $J \cap C(X,I) \subseteq M_x$ в $C(X,I)$, то $J \subseteq M_x$ в $C(X,E)$. Действительно, если найдется функция $f \in J \setminus M_x$, то $f^2 \in J \setminus M_x$, что противоречит тому, что $f^2 \in J \cap C(X,I) \subseteq M_x$.

В частичных кольцах $C(X,E)$, как в кольцах $C(X)$, в полукольцах $C^+(X)$ и в частичных полукольцах $C(X,I)$, верно следующее утверждение:

Теорема 1. *Максимальными идеалами частичного кольца $C(X,E)$ являются в точности идеалы M_x для различных точек x компакта X.*

Доказательство. Для произвольной точки $x \in X$ рассмотрим идеал M_x частичного кольца $C(X,E)$. Пусть $M_x \subseteq J$ для некоторого собственного идеала J в $C(X,E)$. В $C(X,I)$ получаем: $M_x = M_x \cap C(X,I) \subseteq J \cap C(X,I)$. В частичном подполукольце $C(X,I)$ максимальными идеалами являются в точности идеалы M_x по всем точкам $x \in X$ ([4, предложение 21]). Так как $J \cap C(X,I) \neq C(X,I)$ (поскольку $1 \notin J$), то $J \cap C(X,I) = M_x$. Тогда $J \subseteq M_x$ в $C(X,E)$ и, значит, $J = M_x$.

Пусть J собственный идеал в $C(X,E)$. Тогда в частичном подполукольце $C(X,I)$ имеем $J \cap C(X,I) \subseteq M_x$ для некоторой точки $x \in X$. Значит, $J \subseteq M_x$ в частичном кольце $C(X,E)$.

В частности, единственным собственным идеалом частичного кольца $[-1,1]$ является нулевой идеал.

В частичном кольце $C(X,E)$ любому идеалу J соответствует *идеальная конгруэнция* $\rho(J)$: $f\rho(J)g \Leftrightarrow f - g \in J$ для любых $f, g \in C(X,E)$, а любой конгруэнции ρ соответствует идеал $J(\rho) = \{f - g \in C(X,I) : f, g \in C(X,E), f\rho g\}$.

На $C(X,E)$ все конгруэнции являются идеальными, при этом для любой конгруэнции σ имеем $\sigma = \rho(J(o))$. Для обоснования этого достаточно показать, что $\sigma \supseteq \rho(J(o))$. Пусть для функций $f, g \in C(X,E)$ выполняется $f\rho(J(o))g$, тогда $f - g \in J(\sigma)$ и $f - g = h - q$, $h, q \in C(X,E)$, $h\sigma q$. Получаем, что $f + q = h + g$ и $\left(\frac{f+q}{3} + \frac{h}{3}\right)\sigma\left(\frac{h+g}{3} + \frac{q}{3}\right)$. Значит, $\frac{f}{3} + \frac{f}{3} + \frac{f}{3} \sigma \frac{g}{3} + \frac{g}{3} + \frac{g}{3} \Rightarrow f\sigma g$.

Гомоморфизмы частичных колец $C(X,E)$ устроены так же, как гомоморфизмы частичных полуколец $C(X,I)$, описанные в [4, предложение 23].

Для непрерывного отображения $\varphi : Y \to X$ через α_φ обозначим такое отображение $C(X,E) \to C(Y,E)$, что $\alpha_\varphi(f) = f \circ \varphi$ - композиция отображений φ и f для любой функции $f \in C(X,E)$. Получаем, что $\alpha_\varphi(f)(y) = f(\varphi(y))$ для любых $f \in C(X,E)$ и $y \in Y$.

Отображение $\pi_x : C(X,E) \to E$ такое, что $\pi_x(f) = f(x)$ для любой функции $f \in C(X,E)$, называется *вычислением в точке* $x \in X$.

Предложение 1. *Любой гомоморфизм* $\alpha : C(X,E) \to C(Y,E), \alpha(1) = 1,$ *частичных колец имеет вид* α_φ *для некоторого единственного непрерывного отображения* $\varphi : Y \to X$. *В частности, если* $Y = \{y\}$, *то* $\alpha : C(X,E) \to E$ *является вычислением в точке* $y \in X$. *Если* α *- изоморфизм, то* φ *будет гомеоморфизмом.*

Доказательство. Для произвольного гомоморфизма $\alpha : C(X,E) \to C(Y,E)$, $\alpha(1) = 1$, имеем: $\forall f \in C(X,E)(f \geq 0 \Rightarrow \alpha(f) \geq 0)$ и если α - изоморфизм, то $\forall g \in C(Y,E)(g \geq 0 \Rightarrow \exists h \in C(X,E) : \alpha(h^2) = g)$. Действительно, если $f \geq 0$, то $\alpha(f) = \alpha(\sqrt{f})\alpha(\sqrt{f}) \geq 0$. Если α - изоморфизм, то $g \geq 0 \Rightarrow g = \sqrt{g}\sqrt{g} = \alpha(h)\alpha(h) = \alpha(h^2)$.

Рассмотрим гомоморфизм $\alpha|_I : C(X,I) \to C(Y,I)$, такой, что $\alpha|_I(f) = \alpha(f)$ для произвольной функции $f \in C(X,I)$. Если α - изоморфизм, то и $\alpha|_I$ - изоморфизм. В [4, предложение 23] показано, что любой гомоморфизм $\alpha : C(X,I) \to C(Y,I), \alpha(1) = 1,$ частичных полуколец имеет вид α_φ для некоторого единственного непрерывного отображения $\varphi : Y \to X$. Если α - изоморфизм, то φ будет гомеоморфизмом.

Получаем, что $\alpha|_I(f)(y) = f(\varphi(y))$ для любых $f \in C(X,I)$, $y \in Y$. В частности, $\alpha(c)(y) = \alpha|_I(c)(y) = c$ для любой неотрицательной константы $c \in C(X,E)$. Тогда для любой функции $g \in C(X,E)$ получаем $\frac{1}{2}\alpha(g) + \frac{1}{2} = \alpha\left(\frac{g}{2} + \frac{1}{2}\right)(y) = \alpha|_I\left(\frac{g}{2} + \frac{1}{2}\right)(y) = \left(\frac{g}{2} + \frac{1}{2}\right)(\varphi(y)) = \frac{g(\varphi(y))}{2} + \frac{1}{2}$. Значит, $\alpha(g)(y) = g(\varphi(y))$ и $\alpha = \alpha_\varphi$. □

Обозначим через K категорию всех компактов X и их непрерывных отображений φ, а через C - категорию всех частичных колец $C(X,E)$ и их гомоморфизмов α, сохраняющих единицу. Для любых непрерывных отображений $\psi : Z \to Y$ и $\varphi : Y \to X$ имеем, что $\alpha_{\varphi\circ\psi} = \alpha_\psi \circ \alpha_\varphi$. Поэтому соответствие F, такое что $F(X) = C(X,E)$ и $F(\varphi) = \alpha_\varphi$ для любых компактов X и непрерывных отображений $\varphi : Y \to X$, является контравариантным функтором из категории K в категорию C. По предложению 3 функтор F устанавливает антиэквивалентность между категориями K и C; говорят также, что эти категории двойственны друг другу.

Теорема 2. *Категория частичных колец* $C(X,[-1,1])$ *и их гомоморфизмов, сохраняющих 1, двойственна категории всех компактов* X *и их непрерывных отображений.*

Список литературы

1. *Вечтомов Е.М.* Кольца непрерывных функций на топологических пространствах. Избранные темы: уч. пособие. М.: МПГУ, 1992.
2. *Jerison M., Gilman L.* Rings of Continuous Functions. - Princeton: Van Nostrand, 1976.
3. *Варанкина В.И., Вечтомов Е.М., Семёнова И.А.* Полукольца непрерывных неотрицательных функций: делимость, идеалы конгруэнции // Фундамент. и прикл. мат. 1998. Т. 4, вып. 2. С. 493-510.
4. *Вечтомов Е.М., Лубягина Е.Н.* Полукольца непрерывных $[0,1]$-значных функций // Фундаментальная и прикладная математика, 2012, том 17, № 4, с. 53-82.

01.04.14

[1]С.В. Рыков, [1]Д.А. Кудрявцев, [1]В.А. Рыков, [2]А.В. Свердлов

[1]Университет ИТМО, Санкт-Петербург, togg1@yandex.ru
[2]Air Comfort & Fire Safety Europe, Москва

ЕДИНОЕ НЕАНАЛИТИЧЕСКОЕ УРАВНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ, УДОВЛЕТВОРЯЮЩЕЕ МАСШТАБНОЙ ГИПОТЕЗЕ

На основе масштабной теории критических явлений построено единое неаналитическое уравнение состояние в физических переменных. Предложенное уравнение апробировано на примере описания равновесных свойств хладагента R32. Показано, что уравнение хорошо согласуется с экспериментальной информацией о термических и калорических свойствах R32 в области параметров состояния от 188 К до 430 К и до 40 МПа, включая окрестность критической точки.

Ключевые слова: *уравнение состояния, теория критических явлений, термодинамические свойства, дифторметан, хладагент R32.*

В работах [1–3] предложены фундаментальные уравнения состояния, удовлетворяющие масштабной гипотезе, которые количественно верно передают термодинамическую поверхность в широкой области параметров состояния. Однако, нерегулярные составляющие этих уравнений, «отвечающие» за описание критической области, не рассчитываются на основе теории критических явлений, а конструируются. Например, в работах [2–3] сингулярные составляющие «сконструированы» на основе совместного анализа степенных функционалов и стенных законов масштабной теории критических явлений. Поэтому в последнее время в научной литературе [4–6] активно обсуждается проблема физически обоснованного выбора нерегулярной составляющей единых и широкодиапазонных уравнений состояния, обеспечивающих описание критической области, как качественно, то есть в соответствии с требованиями МТ, так и количественно. В работах [7–8] предложена структура единого уравнения состояния, рассчитанная на основе феноменологической теории критической точки [5]. В данной работе решается задача количественной проверки уравнения полученного в [5] на примере описания равновесных свойств хладагента R32.

Уравнение состояния R32 разработано на основе свободной энергии Гельмгольца $F(\rho,T)$, имеющую следующую структуру:

$$F(\rho,T)=RT_c f(\omega)\sum_{i=0}^{n_1}\sum_{j=1}^{n_2}u_{ij}\left|\Delta\rho\right|^{\delta+1+\Delta_i/\beta}a_i(x)+ \\ +F_0(T)+RT\ln\rho+RT\omega\sum_{i=1}^{n_3}\sum_{j=0}^{j_3(i)}C_{ij}\tau_1^j(\Delta\rho)^i. \quad (1)$$

Здесь R – газовая постоянная; ρ – плотность; T – абсолютная температура; $t=T/T_c$; $\tau=t-1$; $\tau_1=1/t-1$; $\omega=\rho/\rho_c$; $\Delta\rho=\omega-1$; T_c – критическая температура; ρ_c – критическая плотность; $f(\omega)$ – кроссоверная функция; $F_0(T)$ – идеально-газовая составляющая свободной энергии; $x=\tau/\left|\Delta\rho\right|^{1/\beta}$ – масштабная переменная; α и γ – критические индексы изохорной теплоемкости C_v и изотермической сжимаемости K_T, соответственно; β и δ – критические индексы кривой сосуществования и критической изотермы, соответственно.

Выражение для сжимаемости, рассчитанное по формуле $Z = \frac{\rho}{RT}\left(\partial F/\partial\rho\right)_T$ на основе выражения свободной энергии Гельмгольца (1), имеет следующий вид:

$$Z(\rho,T) = 1 + \omega\sum_{i=0}^{n_3}\sum_{j=0}^{j_3(i)} C_{ij}\tau_1^j(\Delta\rho)^i(i\omega + \Delta\rho) + \\ +(\omega/t)\sum_{i=0}^{n_1}\sum_{j=0}^{n_2} u_{ij}|\Delta\rho|^{\delta+\Delta_i/\beta} g_i(x,\omega), \quad (2)$$

где

$$g_i(x,\omega) = f(\Delta\rho)sign(\Delta\rho)h_i(x) + f'(\Delta\rho)a_i(x)\Delta\rho. \quad (3)$$

Здесь $h_i(x)$ – масштабные функции химического потенциала.

Кроссоверная функция $f(\Delta\rho)$ и в (1), (2) описываются следующей зависимостью:

$$f(\Delta\rho) = \exp\left(-a(\Delta\rho)^2\right)\Big/\omega^n. \quad (4)$$

Кроссоверная функция (4) в отличие от функции $f(\Delta\rho)$, используемой в [1, 7], удовлетворяет предельному переходу $f(\rho \to 0) \to 0$.

Масштабные функции $a_i(x)$ и $h_i(x)$, входящие в уравнения (1), (2) имеют ту же структуру, что и функции, используемые в работе [9]. Как показано в [9], в этом случае при вычислении параметров функций $a_i(x)$ и $h_i(x)$ используются только критические индексы, которые являются универсальными, и x_0 – значение x на линии насыщения. Этим предложенное уравнение выгодно отличается от уравнения [4], в котором ряд нелинейных параметров, входящих в масштабные функции $a_i(x)$, определялся в ходе вычисления минимизируемого функционала:

$$\Phi = \Phi_p + \Phi_{C_v} + \Phi_{p_s - T_s - \rho^{\pm}} + \Phi_{\mu^{-,+}}. \quad (5)$$

Здесь Φ_p, Φ_{C_v}, $\Phi_{\Phi_{p_s - T_s - \rho^{\pm}}}$, $\Phi_{\mu^{-,+}}$, – слагаемые функционала (5) соответственно минимизирующие погрешность описания $p - \rho - T$ –данных, изохорной теплоемкости C_v, давления и плотности на линии насыщения, выполнение требования равенства химических потенциалов на паровой и жидкостной ветвях линии насыщения.

Коэффициенты C_{ij} и u_{ij} уравнения (2) определяются на массиве экспериментальной информации из условия минимума функционала (5).

Для повышения точности описания термических данных на линии фазового равновесия в исходный массив данных, помимо экспериментальных данных, использованных авторами [10], включены также новые экспериментальные данные о C_v [11].

Как показано на рис. 1–3, предложенное в работе уравнение состояния (2) с новой кроссоверной функцией (4) и качественно и количественно верно передает характерные особенности термодинамической как в регулярной области, так и в окрестности критической точки.

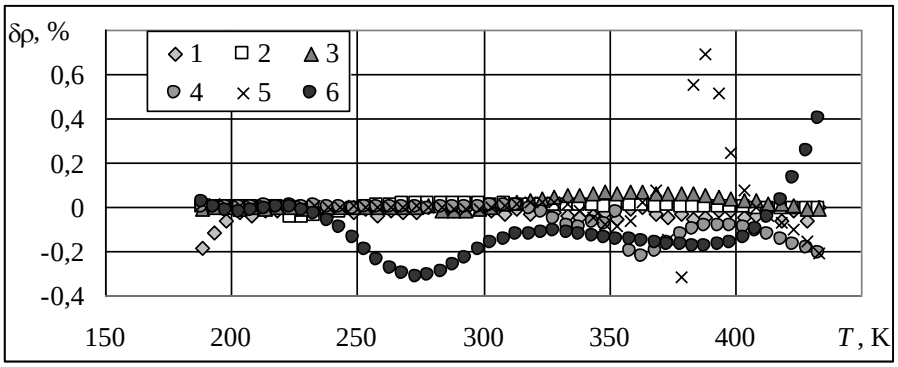


Рис. 1. Отклонения плотности в однофазной области, рассчитанных по (2), от данных [10] на изобарах: 1 – 0,1 бар, 2 – 1 бар, 3 – 10 бар, 4 – 55 бар, 5 – 100 бар, 6 – 400 бар

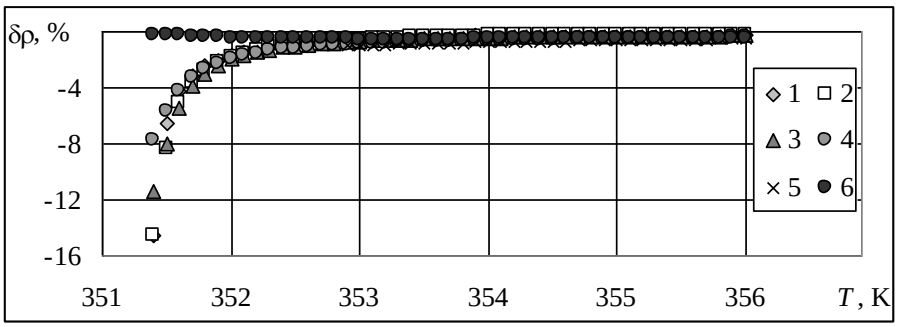


Рис. 2. Отклонения плотности в однофазной области, рассчитанных по (2), от данных Киселева С.В. на изохорах: 1 – 384,948 кг/м^3, 2 – 395,352 кг/м^3, 3 – 410,958 кг/м^3, 4 – 426,564 кг/м^3, 5 – 442,17 кг/м^3, 6 – 468,18 кг/м^3

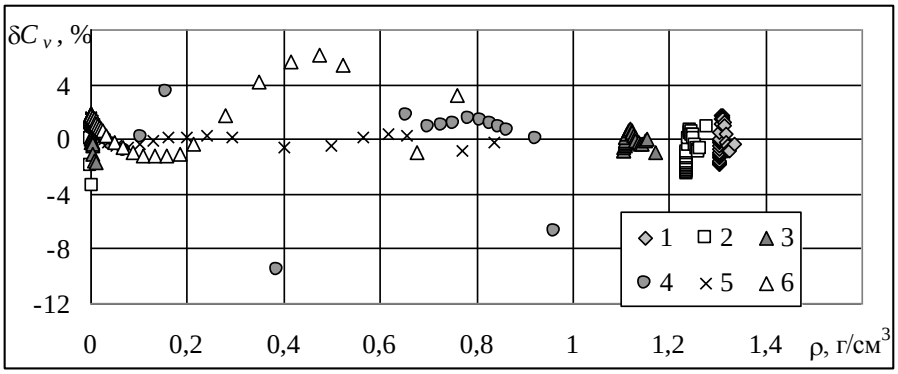


Рис. 3. Отклонения изохорной теплоемкости в однофазной области, рассчитанных по (2), от данных [10] на изотермах: 1 – 188,15 К, 2 – 213,15 К, 3 – 258,15 К, 4 – 353,15 К, 5 – 403,15 К, 6 – 433,15 К

Работа поддержана грантом РФФИ № 15-08-08503.

Список литературы

1. *Bezverkhy P.P., Martynets V.G., Matizen E.V.* Combined equation of liquid and gas states, including classical and scaling parts // Journal of Molecular Liquids. 2009. Vol. 147. No. 3. P. 162–165.
2. *Рыков С.В., Кудрявцева И.В.* Непараметрическое масштабное уравнение и феноменологическая теория критических явлений // Фундаментальные исследования. 2014. № 9 (8). С. 1687-1692.
3. *Кудрявцева И.В., Рыков В.А., Рыков С.В.* Ассиметричное единое уравнение состояния R134a // Вестник Международной академии холода. 2008. № 2. С. 36–39.
4. *Рыков С.В., Кудрявцева И.В., Демина Л.Ю.* Единое уравнение состояния R717, учитывающее особенности критической области // Вестник Международной академии холода. 2009. № 4. С. 29–32.
5. *Рыков С.В.* Фундаментальное уравнение состояния, учитывающее асимметрию жидкости // Научно-технический вестник Поволжья. 2014. № 1. С. 33–36.
6. *Кудрявцева И.В., Демина Л.Ю.* О структуре фундаментального уравнения состояния, учитывающего асимметрию жидкости и пара // Холодильная техника и кондиционирование. 2009. № 1. С. 35–38.
7. *Кудрявцева И.В., Рыков А.В., Рыков В.А., Рыков С.В.* Единое неаналитическое уравнение состояния перфторпропана, удовлетворяющее масштабной теории критических явлений // Вестник Международной академии холода. 2013. № 3. С. 22–26.
8. *Кудрявцева И.В.* Асимметричное единое уравнение состояния аргона и хладагента R134a // Дис. на соискание уч. ст. канд. техн. наук. – СПб.: СПбГУНиПТ, 2007, – 143 с.
9. *Рыков А.В., Кудрявцев Д.А., Рыков В.А.* Метод расчета параметров масштабной функции свободной энергии // Научно-технический вестник Поволжья. 2013. № 5. С. 50–53.
10. *Tillner-Roth R., Yokozeki A.* J. Phys. Chem. Ref. Data. 1997, Vol. 26, No. 6, P. 1273–1328.
11. *Matsuguchi A., Yamaya K., Kagawa N.* Int. J. Thermophys. 2008, Vol. 29, P. 1929–1938.

01.04.14

С.В. Рыков, М.И. Полторацкий, В.А. Рыков, Е.Г. Селина

Университет ИТМО, Санкт-Петербург, togg1@yandex.ru

УРАВНЕНИЕ ЛИНИИ НАСЫЩЕНИЯ R236EA

На примере описания линии насыщения (ЛН) R236ea рассмотрены уравнения ЛН, которые в околокритической области удовлетворяют соответственно моделям Вегнера и Янга-Янга. Установлено, что и модель Вегнера, и модель Янга-Янга с малой погрешностью передают плотность и давление на линии фазового равновесия хладагента R236ea и могут успешно использоваться при описании ЛН в диапазоне температур от тройной точки до критической.

Ключевые слова: *линия насыщения, критические индексы, линия упругости, R236ea, модель Вегнера, модель Янга-Янга.*

Анализу структуры линии насыщения индивидуальных веществ в последнее время посвящен ряд работ [1–6], в которых при описании критической области используется как модель Вегнера:

$$\frac{\rho^+ + \rho^-}{2\rho_c} - 1 = A|\tau|^{1-\alpha} + o(|\tau|),\ \frac{\rho^+ - \rho^-}{2\rho_c} = B|\tau|^{\beta} + o\left(|\tau|^{\beta+\Delta}\right), \quad (1)$$

так и модель Янга-Янга:

$$\frac{\rho^+ + \rho^-}{2\rho_c} - 1 = A|\tau|^{2\beta} + o\left(|\tau|^{1-\alpha}\right),\ \frac{\rho^+ - \rho^-}{2\rho_c} = B|\tau|^{\beta} + o\left(|\tau|^{\beta+\Delta}\right), \quad (2)$$

где ρ^- и ρ^+ – плотность насыщенного пара и насыщенной жидкости, соответственно; $\tau = T/T_c - 1$; T – абсолютная температура; ρ_c и T_c – критические плотность и температура, соответственно; α и β – критические индексы изохорной теплоемкости и кривой сосуществования, соответственно; A и B – постоянные коэффициенты; Δ – неасимпотический критический индекс.

В данной работе на примере описания линии фазового равновесия R236ea проведен численный анализ модели Вегнера (1) и модели Янга-Янга (2).

С этой целью воспользуемся системой самосогласованных уравнений [7], в которую входит уравнение Клапейрона-Клаузиуса в форме:

$$\frac{1}{\rho^-} = \frac{r^*(t)}{T\left(dp_s(t)/dt\right)}, \quad (3)$$

где функция $r^*(t)$ имеет физический смысл «кажущейся» теплоты парообразования и описывается выражением [3]:

$$r^*(t) = \frac{p_c}{\rho_c}\left(d_0 + d_1|\tau|^{\beta} + d_2|\tau|^{\beta+\Delta} + d_3|\tau|^{1-\alpha} + \sum_{i=4}^{7} d_i \tau^{m(i)}\right), \quad (4)$$

в котором давление на линии упругости от тройной точки T_t до критической точки T_c рассчитывается по уравнению [8]:

$$p_s = p_c \exp\left(-a_0/t\tau^2\right)\left(1 + a_1\tau + a_2|\tau|^{2-\alpha} + a_3|\tau|^{2-\alpha+\Delta} + \sum_{i=4}^{6} a_i \tau^{n(i)}\right), \quad (5)$$

Здесь a_i – постоянные коэффициенты; p_c – критическое давление; Δ – «неасимптотический» критический индекс; $s(i)$ – массив из натуральных чисел.

Заметим, что если в соответствии с рекомендациями [3] выбрать структуру жидкостной ветви линии насыщения в виде зависимости:

$$\frac{\rho^+}{\rho_c} = 1 + \frac{d_1}{d_0}|\tau|^{\beta} + \frac{d_2}{d_0}|\tau|^{\beta+\Delta} - \left(\frac{d_1}{d_0}\right)^2 |\tau|^{2\beta} + A_3|\tau|^{1-\alpha} + A_4\tau + \sum_{i=5}^{6} A_i\tau^{s(i)}, \qquad (6)$$

то получим систему взаимосогласованных уравнений (2)–(6), которая передает линию фазового равновесия в диапазоне температур от тройной точки до критической точки, причем в критической области в этом случае выполняется равенства (1).

Если же в уравнение Клапейрона-Клаузиуса $r^*(T)$ выбрать в виде [9]:

$$\frac{p_c}{\rho_c}\cdot r^*(t) = d_0 + d_1|\tau|^{\beta} + \frac{d_1^2}{a_1}d_1^2|\tau|^{2\beta} + d_2|\tau|^{\beta+\Delta} + d_3|\tau|^{1-\alpha} - \frac{d_1^3}{a_1^2}|\tau|^{3\beta} + \sum_{i=4}^{6} d_i\tau^{i-2} \quad ,(7)$$

а уравнение жидкостной ветви линии насыщения в виде:

$$\frac{\rho^+}{\rho_c} = 1 + d_1|\tau|^{\beta} + d_2|\tau|^{\beta+\Delta} + A_3|\tau|^{1-\alpha} + A_4\tau + \sum_{i=5}^{10} A_i\tau^{i-3}. \qquad (8)$$

то в этом случае система уравнений (3), (5), (7) и (8) в околокритической области удовлетворяет модели Вегнера (1).

Так как уравнение в форме (5) качественно верно, то есть в соответствии с требованиями современной теории критических явлений, описывает линию упругости в окрестности критической точки:

$$p_s = p_c\left(1 + a_1\tau + a_2|\tau|^{2-\alpha} + a_3|\tau|^{2-\alpha+\Delta} + O\left(\tau^2\right)\right), \qquad (9)$$

то (5) используется как в случае (3)–(6), так и для модели (3), (5), (7) и (8).

Расчет параметров моделей Вегнера и Янга-Янга осуществлен на одном и том же массиве экспериментальной информации о плотности и давлении на линии фазового равновесия озонобезопасного холодильного агента R236ea. Оказалось, что среднеквадратические погрешности описания плотности насыщенного пара и жидкости по модели (3)–(6) и модели (3), (5), (7) и (8) составили соответственно 0,27%, 0.19% и 0,31%, 0,23%. В целом, обе рассмотренные модели с малой погрешностью передают экспериментальные данные. Однако, поскольку модель (3)–(6) с меньшей погрешностью описывает линию насыщения R236ea, то именно эту модель рассмотрим более подробно.

Параметрам модели (3)–(6) присвоены следующие значения: α = 0,11; β = 0,325; Δ = 0,51; $n(i)$ = 2, 3, 5; T_c = 412,44 К; p_c = 3,42 МПа; ρ_c = 565 кг/м^3; a_0 = 13,7; a_1 = 8,291002595; a_2 = 120,8160866; a_3 = 26,13851223; a_4 = – 129,6845684; a_5 = 22,99286986; a_6 = 20,00489647; $m(i)$ = 1, 2, 3, 4; d_0 = 13,0099775833; d_1 = – 4296,68287072; d_2 = 7254,76168827; d_3 = 5,05013722659; d_4 = 3091,15002467; d_5 = 251,73993854; d_6 = 115,906498767; $s(i)$ = 1, 2, 3, 5, 7, 9; 11; A_3 = – 798,901916192; A_4 = – 408,980645626; A_5 = – 175,443278677; A_6 = – 378.372188978; A_7 = 1561,02416776; A_8 = – 6538,78701173; A_9 = 15759,8365009; A_{10} = – 15669,5275296.

Как следует из анализа информации, представленной на рис. 1, 2, отклонения расчетных значений плотности ρ^+ и ρ^-, рассчитанные по модели (3)–(7) от данных [10, 11] лежат в пределах экспериментальной погрешности. Таким образом, полученные результаты позволяют уточнить термодинамические таблицы, разработанные в Национальном институте стандартов и технологий (США), как критической области, так и в области тройной точки.

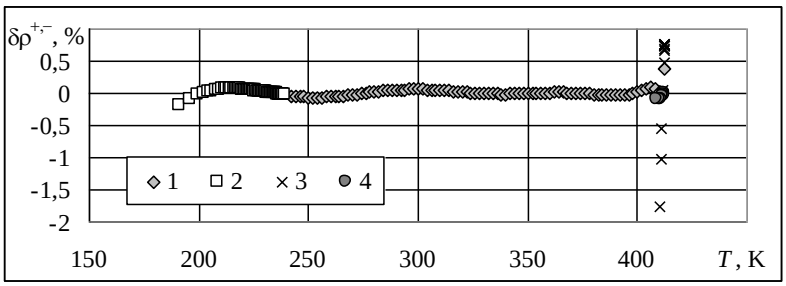


Рис. 1. Отклонения плотности на линии фазового равновесия от данных:
1 – [10]; 2 – REFPROP version 7; 3, 4 – [11]. 1, 2, 3, – паровая ветвь, 4 – жидкостная ветвь

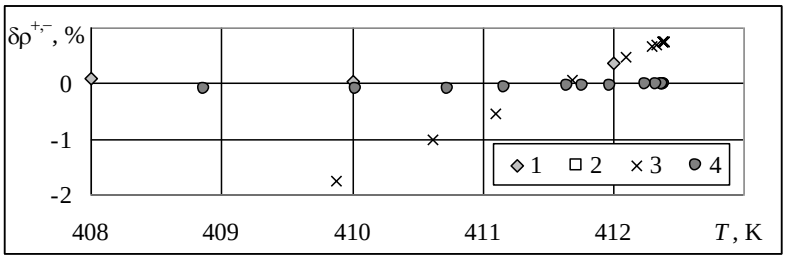


Рис. 2. Отклонения плотности на линии фазового равновесия от данных:
1 – [10]; 2 – REFPROP version 7; 3, 4 – [11]. 1, 2, 3, – паровая ветвь, 4 – жидкостная ветвь

В заключение заметим, что полученные результаты могут найти важное применение при построении как масштабных, так и широкодиапазонных уравнений состояния [12], в структуре которых линия насыщения выполняет роль опорной кривой.

Работа поддержана грантом РФФИ № 15-08-08503.

Список литературы.

1. *Рыков С.В.* Правило криволинейного диаметра и масштабное уравнение в переменных давление-температура // Вестник Международной академии холода. 2015. № 1. С. 65–68.

2. *Ustyuzhanin E.E., Shishakov V.V., Abdulagatov I.M., Popov P.V., Rykov V.A., Frenkel M.L.* Scaling Models of Thermodynamic Properties on the Coexistence Curve: Problems and Some Solutions// Russian Journal of Physical Chemistry B, 2012, Vol. 6, No. 8, P. 912–931.

3. *Рыков А.В., Кудрявцева И.В., Рыков С.В.* Уравнение линии насыщения, удовлетворяющее модифицированному правилу криволинейного диаметра // Холодильная техника и кондиционирование. 2013. № 2. С. 9.

4. *Рыков А.В., Кудрявцева И.В., Рыков С.В.* Уравнения линии насыщения и упругости хладона R218 // Вестник Международной академии холода. 2013. № 4. С. 54–57.

5. *Кудрявцева И.В., Рыков А.В., Рыков В.А.* Модифицированное уравнение линии насыщения, удовлетворяющее требованиям масштабной теории // Холодильная техника и кондиционирование. 2013. № 2. С. 3.

6. *Устюжанин Е.Е., Шишаков В.В., Абдулагатов И.М., Рыков В.А., Попов П.В.* Давление насыщения технически важных веществ: модели и расчеты для критической области // Вестник Московского энергетического института. 2012. № 2. С. 34–43.

7. *Рыков С.В., Кудрявцев Д.А., Рыков В.А.* Новое уравнение линии фазового равновесия R32 // Научно-технический вестник Поволжья. 2015. № 2. С. 27–29.

8. *Кудрявцев Д.А., Рыков В.А., Устюжанин Е.Е.* Расчет линии упругости перфторпропана в пакете MathCad // Холодильная техника и кондиционирование. 2014. № 3. С. 78–89.

9. *Кудрявцева И.В., Рыков А.В., Рыков В.А.* Новое уравнение для «кажущейся» теплоты парообразования // Процессы и аппараты пищевых производств. 2013. № 4. С. 10.

10. *Defibaugh D.R., Gillis K.A., Moldover M.R., Schmidt J.W., Weber L.A.* Fluid Phase Equilib. 1996. V.122. P. 131–155.

11. *Aoyama H., Kishizawa G., Sato H., Watanabe K.* J. Chem. Eng. Data. 1996. V. 41. P. 1046–1051.

12. *Кудрявцева И.В.* Асимметричное единое уравнение состояния аргона и хладагента R134a // Дис. на соискание уч. ст. канд. техн. наук. – СПб.: СПбГУНиПТ, 2007, – 143 с.

01.02.04

Э.С. Сибгатуллин, О.Г. Новоселов, К.Э. Сибгатуллин

Набережночелнинский институт Казанского (Приволжского) федерального университета, строительное отделение, кафедра технологии строительства и управление недвижимости, Набережные Челны, cibes@mail.ru, shi-set@mail.ru.

ПРЕДЕЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ ОБЪЕМНЫХ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ ТРЕХОСНЫХ НАПРЯЖЕННЫХ СОСТОЯНИЯХ

В работе рассмотрены изотропные тела, по-разному сопротивляющиеся растяжению и сжатию. С использованием жесткопластической модели деформируемого твердого тела, соотношений теории пластического течения и гипотез кинематического характера, получены параметрические уравнения предельной поверхности в 18-мерном пространстве (9-ти сил и 9-ти моментов) внутренних силовых факторов (ВСФ) для конечного элемента (КЭ) в форме прямоугольной призмы. Для КЭ в форме прямоугольных тетраэдров силы и моменты на их наклонных площадках определяются из уравнений равновесия.

Ключевые слова: *объемные конечные элементы, параметрические уравнения предельной поверхности, прочность, силы и моменты.*

Пространственные задачи механики деформируемого твердого тела имеют место, когда все три измерения тела (ширина, высота, длина) являются величинами одного порядка (например, при проектировании массивных фундаментов под тяжелое промышленное оборудование, при определении несущей способности грунтовых массивов и т.п.). Определение несущей способности массивных элементов конструкций, оставаясь при этом в пространствах напряжений $\sigma_{ik}\left(i,k=\overline{1,3}\right)$ и деформаций ε_{ik}, является трудной задачей даже при использовании современной мощной вычислительной техники. В настоящей работе предложено представить массивное тело как совокупность КЭ в виде прямоугольных призм и тетраэдров. Выведены уравнения для вычисления предельных комбинаций внутренних сил T_{ik} и моментов M_{ik}, действующих на грани этих элементов. Приведены примеры расчетов.

Вывод параметрических уравнений предельной поверхности для КЭ в форме прямоугольной призмы в пространстве T_{ik} и M_{ik}.

Параметрические уравнения предельной поверхности в пространстве T_{ik} и M_{ik} для изотропных оболочек впервые приведены в работе А.А. Ильюшина [1]. В дальнейшем этот подход был развит в работах Г.С. Шапиро [2], А. Савчука [3], И.Г. Терегулова, Э.С. Сибгатуллина, О.А. Маркина [4] и др. Для массивных элементов аналогичные уравнения приведены в работе Э.С. Сибгатуллина., К.Ф. Исламова [5].

Уравнение предельной поверхности для материала в пространстве σ_{ik} имеет вид:

$$\Phi(\vec{\sigma}) \equiv \left(\vec{\sigma}^T A\vec{\sigma} + 2\vec{B}^T\vec{\sigma} - 1\right) = 0. \quad (1)$$

Здесь $A = \|a_{ik}\|$ - симметрическая матрица$\left(i,k=\overline{1,6}\right)$, $\vec{B} = \{b_1,\dots,b_6\}^T$, $\vec{\sigma} = \{\sigma_1,\dots,\sigma_6\}^T$; индекс T означает транспонирование. Между одинарными и двойными индексациями здесь и далее установлены следующие зависимости: 11→1; 22→2; 33→3; 12→4; 23→5; 31→6. Критерий прочности (1) является частным случаем критерия Малмейстера [6].

Используя ассоциированный с условием (1) закон изменения скоростей деформаций $\dot{\varepsilon}_i$ [7], находим:

$$\dot{\varepsilon}_i = \dot{\lambda}\frac{\partial\Phi}{\partial\sigma_i} \equiv 2\dot{\lambda}\left(\vec{A}_i\vec{\sigma} + b_i\right),\ \ i=\overline{1,6}. \quad (2)$$

Здесь $\dot{\lambda}(\dot{\varepsilon}_i) \geq 0$; $\vec{A}_i$ – i-я строка матрицы А; b_i - i-й элемент вектора $\vec{B}$. Решая систему уравнений (2) относительно σ_i, находим:

$$\sigma_i = \left[\left(\frac{1}{2\dot{\lambda}}\right)\sum_{k=1}^{6}\delta_{ik}\dot{\varepsilon}_k - \Delta_i\right]/\Delta. \quad (3)$$

Здесь $\delta_{ik} = \delta_{ki}$ – алгебраические дополнения элемента a_{ik} матрицы A; Δ – детерминант матрицы A; Δ_i – детерминант, который получен при замене i-го столбца Δ на вектор $\vec{B}$. Подставляя (3) в (1),получаем:

$$\dot{\lambda}^2 = \sum_{i=1}^{6}\sum_{k=1}^{6} \delta_{ik}\dot{\varepsilon}_i\dot{\varepsilon}_k / S_\Delta. \tag{4}$$

Здесь $S_\Delta = 4\sum_{i=1}^{6} b_i\Delta_i + \Delta$.

Примем следующие гипотезы кинематического характера:

$$\begin{aligned} &\dot{\varepsilon}_{11} = \dot{e}_{11} + \dot{æ}_{21}\xi_2 - \dot{æ}_{31}\xi_3; \qquad \dot{\varepsilon}_{12} = 0.5(\dot{\gamma}_{12} - \dot{æ}_{11}\xi_3 + \dot{æ}_{22}\xi_3);\\ &\dot{\varepsilon}_{22} = \dot{e}_{22} - \dot{æ}_{12}\xi_3 + \dot{æ}_{32}\xi_1; \qquad \dot{\varepsilon}_{23} = 0.5(\dot{\gamma}_{23} - \dot{æ}_{22}\xi_1 + \dot{æ}_{33}\xi_1);\\ &\dot{\varepsilon}_{33} = \dot{e}_{33} + \dot{æ}_{13}\xi_2 - \dot{æ}_{23}\xi_1; \qquad \dot{\varepsilon}_{31} = 0.5(\dot{\gamma}_{31} - \dot{æ}_{33}\xi_2 + \dot{æ}_{11}\xi_2). \end{aligned} \tag{5}$$

Начало подвижной системы координат $O\xi_1\xi_2\xi_3$ располагается в центре рассматриваемой прямоугольной призмы, а оси ξ_1,ξ_2,ξ_3 параллельны соответствующим ребрам этой призмы. Скорости обобщенных перемещений $\dot{e}_{ik}, \dot{æ}_{ik}, \dot{\gamma}_{ik}$ остаются постоянными в пределах рассматриваемой грани призмы. В соответствии с (5) грани прямоугольной призмы перемещаются поступательно и поворачиваются относительно соответствующих осей ξ_1,ξ_2,ξ_3, а также испытывают сдвиги.

Подставив (5) в (3), получаем:

$$\begin{aligned} \sigma_i = \frac{1}{2\dot{\lambda}\Delta}\Bigg\{\sum_{k=1}^{6} \delta_{ik}\dot{e}_k &+ \xi_1\left[\delta_{i2}\dot{æ}_{32} - \delta_{i3}\dot{æ}_{23} + 0.5\delta_{i5}(\dot{æ}_{33} - \dot{æ}_{22})\right]\\ &+ \xi_2\left[\delta_{i1}\dot{æ}_{21} + \delta_{i3}\dot{æ}_{13} + 0.5\delta_{i6}(\dot{æ}_{11} - \dot{æ}_{33})\right]\\ &+ \xi_3\left[-\delta_{i1}\dot{æ}_{31} - \delta_{i2}\dot{æ}_{12} + 0.5\delta_{i4}(\dot{æ}_{22} - \dot{æ}_{11})\right]\Bigg\} - \frac{\Delta_i}{\Delta}. \end{aligned} \tag{6}$$

Здесь приняты обозначения:

$$i = \overline{1,6}\,;\ \dot{e}_1 \equiv \dot{e}_{11}; \dot{e}_2 \equiv \dot{e}_{22};\ \dot{e}_3 \equiv \dot{e}_{33}; \dot{e}_4 \equiv 0.5\dot{\gamma}_{12}; \dot{e}_5 \equiv 0.5\dot{\gamma}_{23};\ \dot{e}_6 \equiv 0.5\dot{\gamma}_{31}.$$

Подставив (5) в (4), получаем:

$$\begin{aligned} \dot{\lambda}^2 = \frac{1}{S_\Delta}\Big[P_e &+ 2\left(\xi_1 P_{eæ}^{\xi_1} + \xi_2 P_{eæ}^{\xi_2} + \xi_3 P_{eæ}^{\xi_3} + \xi_1\xi_2 P_{æ}^{\xi_1\xi_2} + \xi_2\xi_3 P_{æ}^{\xi_2\xi_3} + \xi_3\xi_1 P_{æ}^{\xi_3\xi_1}\right) + \xi_1^2 P_{æ}^{\xi_1}\\ &+ \xi_2^2 P_{æ}^{\xi_2} + \xi_3^2 P_{æ}^{\xi_3}\Big]. \end{aligned} \tag{7}$$

Для изотропных материалов, по-разному сопротивляющихся растяжению и сжатию, уравнение (1) можно записать в виде:

$$(\sigma_{11} + c)^2 + (\sigma_{22} + c)^2 + (\sigma_{33} + c)^2 + 3d(\sigma_{12}^2 + \sigma_{23}^2 + \sigma_{31}^2) = 1. \tag{8}$$

Здесь напряжения отнесены к σ_0, имеющей размерность напряжений. С учетом (8) имеем:

$$\begin{aligned} &\delta_{ii} = 27d^3\ \ (i = \overline{1,3});\ \delta_{ii} = 9d^2\ \ (i = \overline{4,6});\ \delta_{ik} = 0\ \ (i \neq k);\ \Delta = 27d^3;\\ &\Delta_i = 27cd^3\ \ (i = \overline{1,3});\ \Delta_i = 9cd^2\ \ (i = \overline{4,6}); S_\Delta = (144c^2 + 27)d^3. \end{aligned} \tag{9}$$

Тогда в (7) имеем:

$$\begin{aligned} P_e &= 27d^3(\dot{e}_{11}^2 + \dot{e}_{22}^2 + \dot{e}_{33}^2) + 2.25d^2(\dot{\gamma}_{12}^2 + \dot{\gamma}_{23}^2 + \dot{\gamma}_{31}^2);\\ P_{eæ}^{\xi_1} &= 27d^3(\dot{e}_{22}\dot{æ}_{32} - \dot{e}_{33}\dot{æ}_{23}) + 2.25\dot{\gamma}_{23}(\dot{æ}_{33} - \dot{æ}_{22});\\ P_{eæ}^{\xi_2} &= 27d^3(\dot{e}_{11}\dot{æ}_{21} + \dot{e}_{33}\dot{æ}_{13}) + 2.25\dot{\gamma}_{31}(\dot{æ}_{11} - \dot{æ}_{33});\\ P_{eæ}^{\xi_3} &= 27d^3(-\dot{e}_{11}\dot{æ}_{31} - \dot{e}_{22}\dot{æ}_{12}) + 2.25\dot{\gamma}_{12}(\dot{æ}_{22} - \dot{æ}_{11});\\ P_{æ}^{\xi_1\xi_2} &= -27d^3\dot{æ}_{13}\dot{æ}_{23};\\ P_{æ}^{\xi_2\xi_3} &= -27d^3\dot{æ}_{31}\dot{æ}_{21};\\ P_{æ}^{\xi_3\xi_1} &= -27d^3\dot{æ}_{12}\dot{æ}_{32};\\ P_{æ}^{\xi_1} &= 27d^3(\dot{æ}_{32}^2 + \dot{æ}_{23}^2) + 2.25d^2(\dot{æ}_{22} - \dot{æ}_{33})^2;\\ P_{æ}^{\xi_2} &= 27d^3(\dot{æ}_{21}^2 + \dot{æ}_{13}^2) + 2.25d^2(\dot{æ}_{11} - \dot{æ}_{33})^2;\\ P_{æ}^{\xi_3} &= 27d^3(\dot{æ}_{31}^2 + \dot{æ}_{12}^2) + 2.25d^2(\dot{æ}_{11} - \dot{æ}_{22})^2. \end{aligned} \tag{10}$$

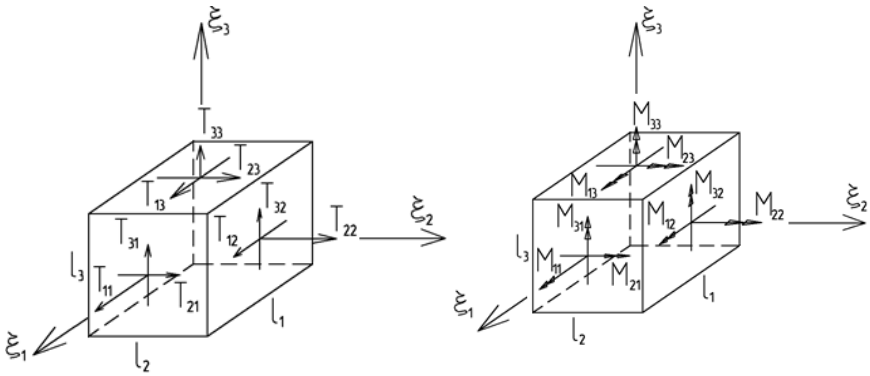


Рис. 1- ВСФ действующие на грани призмы

Внутренние силы и моменты, действующие на грани прямоугольной призмы, определяем по следующим формулам [8]:

$$
\begin{gathered}
T_{11} = \int_{A_1} \sigma_{11} dA;\ T_{21} = \int_{A_1} \sigma_{21} dA;\ T_{31} = \int_{A_1} \sigma_{31} dA;\\
T_{12} = \int_{A_2} \sigma_{12} dA;\ T_{22} = \int_{A_2} \sigma_{22} dA;\ T_{32} = \int_{A_2} \sigma_{32} dA;\\
T_{13} = \int_{A_3} \sigma_{13} dA;\ T_{23} = \int_{A_3} \sigma_{23} dA;\ T_{33} = \int_{A_3} \sigma_{33} dA;\\
M_{11} = \int_{A_1} (\sigma_{31}\xi_2 - \sigma_{21}\xi_3) dA; M_{21} = \int_{A_1} \sigma_{11}\xi_3 dA;\ M_{31} = -\int_{A_1} \sigma_{11}\xi_2 dA;\\
M_{12} = -\int_{A_2} \sigma_{22}\xi_3 dA; M_{22} = \int_{A_2} (\sigma_{12}\xi_3 - \sigma_{32}\xi_1) dA;\ M_{32} = \int_{A_2} \sigma_{22}\xi_1 dA;\\
M_{13} = \int_{A_3} \sigma_{33}\xi_2 dA;\ M_{23} = -\int_{A_3} \sigma_{33}\xi_1 dA;\ M_{33} = \int_{A_3} (\sigma_{23}\xi_1 - \sigma_{13}\xi_2) dA.
\end{gathered}
\tag{11}
$$

Здесь T_{ii} – нормальные силы, $T_{ik}(i \neq k)$ - касательные силы $\left(i, k = \overline{1,3}\right)$, M_{ii} – «крутящие» моменты, $M_{ik}(i \neq k)$ – «изгибающие» моменты (Рис. 1); $A_1 = l_2 \cdot l_3$, $A_2 = l_1 \cdot l_3$, $A_3 = l_1 \cdot l_2$ - площади граней призмы. Внутренние элементарные силы $\sigma_{ik} dA$ приводятся к центрам площадей соответствующих граней.

Подставив (6) в (11) при учете (9), получаем:

$$
\begin{gathered}
T_{11} = 0{,}5(I_{11}\dot{e}_{11} + I_{31}\dot{æ}_{21} - I_{41}\dot{æ}_{31} - 2cA_1);\\
T_{22} = 0{,}5(I_{12}\dot{e}_{22} + I_{22}\dot{æ}_{32} - I_{42}\dot{æ}_{12} - 2cA_2);\\
T_{33} = 0{,}5(I_{13}\dot{e}_{33} - I_{23}\dot{æ}_{23} + I_{33}\dot{æ}_{13} - 2cA_3);\\
T_{12} = \frac{1}{6d}\left[I_{12}\dot{e}_{12} + 0.5I_{42}(\dot{æ}_{22} - \dot{æ}_{11}) - 2cA_2\right];\\
T_{23} = \frac{1}{6d}\left[I_{13}\dot{e}_{23} + 0.5I_{23}(\dot{æ}_{33} - \dot{æ}_{22}) - 2cA_1\right];\\
T_{31} = \frac{1}{6d}\left[I_{11}\dot{e}_{31} + 0.5I_{31}(\dot{æ}_{11} - \dot{æ}_{33}) - 2cA_3\right];\\
T_{21} = \frac{1}{6d}\left[I_{11}\dot{e}_{12} + 0.5I_{41}(\dot{æ}_{22} - \dot{æ}_{11}) - 2cA_3\right];\\
T_{32} = \frac{1}{6d}\left[I_{12}\dot{e}_{23} + 0.5I_{22}(\dot{æ}_{33} - \dot{æ}_{22}) - 2cA_1\right];\\
T_{13} = \frac{1}{6d}\left[I_{13}\dot{e}_{31} + 0.5I_{33}(\dot{æ}_{11} - \dot{æ}_{33}) - 2cA_2\right];\\
M_{21} = 0.5(I_{41}\dot{e}_{11} + J_{31}\dot{æ}_{21} - J_{41}\dot{æ}_{31}) - \frac{2c}{9}\tilde{S}_1\ ;\\
M_{32} = 0.5(I_{22}\dot{e}_{22} + J_{22}\dot{æ}_{32} - J_{42}\dot{æ}_{12}) - \frac{2c}{9}\tilde{S}_2\ ;\\
M_{13} = 0.5(I_{33}\dot{e}_{33} - J_{23}\dot{æ}_{23} + J_{33}\dot{æ}_{13}) - \frac{2c}{9}\tilde{S}_3\ ;\\
M_{31} = -0.5(I_{31}\dot{e}_{11} + J_{74}\dot{æ}_{21} - J_{31}\dot{æ}_{31}) + \frac{2c}{9}\tilde{S}_1\ ;\\
M_{12} = -0.5(I_{42}\dot{e}_{22} + J_{42}\dot{æ}_{32} - J_{85}\dot{æ}_{12}) + \frac{2c}{9}\tilde{S}_2\ ;\\
M_{23} = -0.5(I_{23}\dot{e}_{33} - J_{66}\dot{æ}_{23} + J_{23}\dot{æ}_{13}) + \frac{2c}{9}\tilde{S}_3\ ;\\
M_{11} = \frac{1}{6d}\left[I_{31}\dot{e}_{31} - I_{41}\dot{e}_{12} + 0.5J_{74}(\dot{æ}_{11} - \dot{æ}_{33}) - 0.5J_{41}(\dot{æ}_{22} - \dot{æ}_{11})\right];\\
M_{22} = \frac{1}{6d}\left[I_{42}\dot{e}_{12} - I_{22}\dot{e}_{23} + 0.5J_{85}(\dot{æ}_{22} - \dot{æ}_{11}) - 0.5J_{22}(\dot{æ}_{33} - \dot{æ}_{22})\right];\\
M_{33} = \frac{1}{6d}\left[I_{23}\dot{e}_{23} - I_{33}\dot{e}_{31} + 0.5J_{66}(\dot{æ}_{33} - \dot{æ}_{22}) - 0.5J_{33}(\dot{æ}_{11} - \dot{æ}_{33})\right].
\end{gathered}
\tag{12}
$$

Если известны скорости обобщенных перемещений $\dot{e}_{11},\dots,\dot{æ}_{33}$, то, используя (12), можно вычислить соответствующие силы $T_{11},\dots,M_{33}$, которые соответствуют тому, что во всех точках граней КЭ в виде прямоугольной призмы удовлетворяется предельное условие (8) в (12) $I_{ik}, J_{ik}, \tilde{S}_{ik}$:

$$\begin{gathered} I_{11}=\int_{A_1}\frac{dA}{\dot{\lambda}};\ I_{12}=\int_{A_2}\frac{dA}{\dot{\lambda}};\ I_{13}=\int_{A_3}\frac{dA}{\dot{\lambda}};I_{22}=\int_{A_2}\frac{\xi_1 dA}{\dot{\lambda}};I_{23}=\int_{A_3}\frac{\xi_1 dA}{\dot{\lambda}};\ I_{31}=\int_{A_1}\frac{\xi_2 dA}{\dot{\lambda}};\\ I_{33}=\int_{A_3}\frac{\xi_2 dA}{\dot{\lambda}};I_{41}=\int_{A_1}\frac{\xi_3 dA}{\dot{\lambda}};\ I_{42}=\int_{A_2}\frac{\xi_3 dA}{\dot{\lambda}};J_{22}=\int_{A_2}\frac{\xi_1^2 dA}{\dot{\lambda}};J_{23}=\int_{A_3}\frac{\xi_1\xi_2 dA}{\dot{\lambda}};\\ J_{31}=\int_{A_1}\frac{\xi_2\xi_3 dA}{\dot{\lambda}};J_{33}=\int_{A_3}\frac{\xi_2^2 dA}{\dot{\lambda}};J_{41}=\int_{A_1}\frac{\xi_3^2 dA}{\dot{\lambda}};J_{42}=\int_{A_2}\frac{\xi_1\xi_3 dA}{\dot{\lambda}};J_{66}=\int_{A_3}\frac{\xi_1^2 dA}{\dot{\lambda}};J_{74}=\\ \int_{A_1}\frac{\xi_2^2 dA}{\dot{\lambda}};\ J_{85}=\int_{A_2}\frac{\xi_3^2 dA}{\dot{\lambda}};\tilde{S}_1=\int_{A_1}\xi_3 dA;\tilde{S}_2=\int_{A_2}\xi_1 dA;\tilde{S}_3=\int_{A_3}\xi_2 dA. \end{gathered} \tag{13}$$

Отметим, что, согласно (7), $\dot{\lambda}$ зависит от $\dot{e}_{11},\dots,\dot{æ}_{33}$.

Предельные комбинации ВСФ на наклонной грани тетраэдра.

Предельные комбинации ВСФ, приложенных в центре наклонной грани прямоугольного тетраэдра (Рис. 2), определяются из следующих уравнений статики:

$$\begin{gathered} P_{1\nu}=T_{11}+T_{12}+T_{13};M_{1\nu}=M_{11}+M_{12}+M_{13};\\ P_{2\nu}=T_{21}+T_{22}+T_{23};M_{2\nu}=M_{21}+M_{22}+M_{23};\\ P_{3\nu}=T_{31}+T_{32}+T_{33};M_{3\nu}=M_{31}+M_{32}+M_{33}. \end{gathered} \tag{14}$$

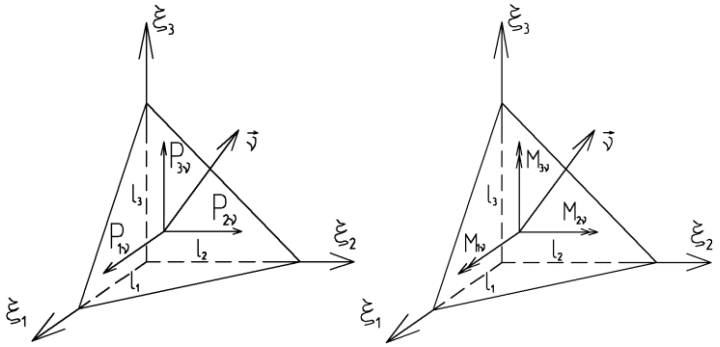


Рис. 2- ВСФ действующие на наклонные грани тетраэдра

Реализована программа для ЭВМ, позволяющая определять $T_{11},\dots,M_{33}$, согласно (12), для различных комбинаций $\dot{e}_{11},\dots,\dot{æ}_{33}$. Ниже приведены некоторые результаты, полученные с использованием этой программы.

Таблица 1 - Предельные комбинации сил при d = 1, c =0,5, æ11…æ31 = 0

№	Скорости обобщенных перемещений		T_{11}	T_{22}	T_{33}	$T_{12}=T_{21}$	$T_{23}=T_{32}$	$T_{31}=T_{13}$
1	$\dot{e}_{11}$=1	Остальные скорости обобщенных перемещений равны нулю.	0.50	-0.50	-0.50	-0.17	-0.17	-0.17
2	$\dot{e}_{22}$=1		-0.50	0.50	-0.50	-0.17	-0.17	-0.17
3	$\dot{e}_{33}$=1		-0.50	-0.50	0.50	-0.17	-0.17	-0.17
4	$\dot{\gamma}_{12}$=1		-0.50	-0.50	-0.50	0.41	-0.17	-0.17
5	$\dot{\gamma}_{23}$=1		-0.50	-0.50	-0.50	-0.17	0.41	-0.17
6	$\dot{\gamma}_{31}$=1		-0.50	-0.50	-0.50	-0.17	-0.17	0.41
7	$\dot{e}_{11}=\dot{e}_{22}=\dot{e}_{33}=$ $=\dot{\gamma}_{12}=\dot{\gamma}_{23}=\dot{\gamma}_{31}$=1		0.02	0.01	0.03	-0.07	-0.07	-0.07
8	$\dot{e}_{11}$=1		-1.50	-0.50	-0.50	-0.17	-0.17	-0.17
9	$\dot{e}_{22}$=1		-0.50	-1.50	-0.50	-0.17	-0.17	-0.17
10	$\dot{e}_{33}$=1		-0.50	-0.50	-1.50	-0.17	-0.17	-0.17
11	$\dot{\gamma}_{12}$=1		-0.50	-0.50	-0.50	-0.744	-0.167	-0.167
12	$\dot{\gamma}_{23}$=1		-0.50	-0.50	-0.50	-0.17	-0.74	-0.17
13	$\dot{\gamma}_{31}$=1		-0.50	-0.50	-0.50	-0.17	-0.17	-0.74
14	$\dot{e}_{11}=\dot{e}_{22}=\dot{e}_{33}=$ $=\dot{\gamma}_{12}=\dot{\gamma}_{23}=\dot{\gamma}_{31}$=-1		-1.02	-1.02	-1.02	-0.26	-0.26	-0.26

Таблица 2 - Предельные комбинации сил при d = 1, c =-0,5, æ11…æ31 = 0.

№	Скорости обобщенных перемещений		T_{11}	T_{22}	T_{33}	$T_{12}=T_{21}$	$T_{23}=T_{32}$	$T_{31}=T_{13}$
1	$\dot{e}_{11}$=1	Остальные скорости обобщенных перемещений равны нулю.	1.50	0.50	0.50	0.17	0.17	0.17
2	$\dot{e}_{22}$=1		0.50	1.50	0.50	0.17	0.17	0.17
3	$\dot{e}_{33}$=1		0.50	0.50	1.50	0.17	0.17	0.17
4	$\dot{\gamma}_{12}$=1		0.50	0.50	0.50	0.74	0.17	0.17
5	$\dot{\gamma}_{23}$=1		0.50	0.50	0.50	0.17	0.74	0.17
6	$\dot{\gamma}_{31}$=1		0.50	0.50	0.50	0.17	0.17	0.74
7	$\dot{e}_{11}=\dot{e}_{22}=\dot{e}_{33}=$ $=\dot{\gamma}_{12}=\dot{\gamma}_{23}=\dot{\gamma}_{31}=$ 1		1.02	1.03	1.03	0.26	0.26	0.26
8	$\dot{e}_{11}$=1		-0.50	0.50	0.50	0.17	0.17	0.17
9	$\dot{e}_{22}$=1		0.50	-0.50	0.50	0.17	0.17	0.17
10	$\dot{e}_{33}$=1		0.50	0.50	-0.50	0.17	0.17	0.17
11	$\dot{\gamma}_{12}$=1		0.50	0.50	0.50	-0.41	0.17	0.17
12	$\dot{\gamma}_{23}$=1		0.50	0.50	0.50	0.17	-0.41	0.17
13	$\dot{\gamma}_{31}$=1		0.50	0.50	0.50	0.17	0.17	-0.41
14	$\dot{e}_{11}=\dot{e}_{22}=\dot{e}_{33}=$ $=\dot{\gamma}_{12}=\dot{\gamma}_{23}=\dot{\gamma}_{31}=$-1		-0.02	-0.03	-0.03	0.07	0.07	0.07

Заключение. Уравнения (12) может занять центральное место в теории предельного равновесия массивных тел. Выше, для определенности, изложение велось применительно к прямоугольным призмам и тетраэдрам. Но приведенные здесь результаты могут быть использованы для вычисления предельных комбинаций ВСФ на любых плоских сечениях массивного тела, имеющих произвольные формы.

Список литературы

1. Ильюшин А.А. Пластичность. М. -Л.: Гостеортехиздат, 1948. –375 с.
2. Шапиро Г.С. О поверхностях текучести для идеально пластических оболочек // Проблемы механики сплошной среды. М., 1961. - С.504-507.
3. Савчук А. О теории пластических оболочек и пластин // Механика. Период. сб. перевод. иностр. статей. – 1961. – N3. С. 153-161.
4. Терегулов И.Г., Сибгатуллин Э.С., Маркин О.А. Предельное состояние многослойных композитных оболочек // Механика композитных материалов. -1988,-N4.-С.715-720.
5. Сибгатуллин, Э.С., Исламов К.Ф. Оценка прочности массивных элементов конструкций // Проектирование и исследование технический систем: межвузовский научный сборник ИНЭКА. Набережные Челны."– 2009. – №13. – С. 5-13.
6. Малмейстер А.К. Геометрия теорий прочности // Механика полимеров. 1966. №4. – С. 519-534.
7. Качанов Л.М. Основы теории пластичности.– М.: Наука, 1969.–420 с.
8. Терегулов И.Г. Сопротивление материалов и основы теории упругости и пластичности. – М.: Высшая школа, 1984. – 472 с.

01.02.04

А.Н. Углов, Г.А. Якупова

Набережночелнинский институт (филиал) К(П)ФУ, строительное отделение, кафедра математики, Набережные Челны, an.uglov@ mail.ru, vip.gulnara.1983@mail.ru

ОБ ОДНОЗНАЧНОЙ РАЗРЕШИМОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ НЕЛИНЕЙНЫХ КРАЕВЫХ ЗАДАЧ ДЛЯ ПРОИЗВОЛЬНОГО УПРУГОГО НЕОДНОРОДНОГО ИЗОТРОПНОГО ТЕЛА

В работе изучается разрешимость нелинейных краевых задач трехмерной теории упругости для произвольного неоднородного изотропного тела. Цель работы - доказательство теоремы существования решений. Задача сводится к системе трехмерных сингулярных интегральных уравнений, разрешимость которой устанавливается с использованием символа сингулярного оператора и принципа сжатых отображений.

Ключевые слова. *Упругое неоднородное изотропное тело, уравнения равновесия, краевая задача, трехмерные сингулярные интегральные уравнения, символ сингулярного оператора, теорема существования.*

В произвольной односвязной ограниченной области V, занятой упругим телом, рассматривается система нелинейных уравнений вида

$$\sigma_{,j}^{kj} + f_k + X_k = 0,\ k = \overline{1,3} \tag{1}$$

(здесь и далее по повторяющимся латинским индексам ведется суммирование от 1 до 3), в которой приняты обозначения:

$$f_1 = \frac{\partial}{\partial x_j}\left(\sigma^{j3}\omega_2 - \sigma^{j2}\omega_3\right),\ f_2 = \frac{\partial}{\partial x_j}\left(\sigma^{j1}\omega_3 - \sigma^{j3}\omega_1\right), f_3 = \frac{\partial}{\partial x_j}\left(\sigma^{j2}\omega_1 - \sigma^{j1}\omega_2\right);$$

$$\sigma^{jj} = 2\varepsilon_{jj} + \lambda\varepsilon, \sigma^{jk} \equiv \sigma^{kj} = \mu\varepsilon_{jk}, j \neq k;\ \varepsilon = \varepsilon_{11} + \varepsilon_{22} + \varepsilon_{33}; \tag{2}$$

$$\varepsilon_{kj} = e_{kj} + æ_{kj}, e_{jj} = u_{j,j}, e_{jk} = u_{j,k} + u_{k,j}, æ_{jj} = (\omega_1^2 + \omega_2^2 + \omega_3^2 - \omega_j^2)/2,$$

$$æ_{kj} = -\omega_k\omega_j, j \neq k, j,k = \overline{1,3}; \omega_1 = \left(u_{3,2} - u_{2,3}\right)/2,$$

$$\omega_2 = \left(u_{1,3} - u_{3,1}\right)/2,\ \omega_3 = \left(u_{2,1} - u_{1,2}\right)/2;\ \mu = \frac{E}{2(1+\nu)}, \lambda = \frac{\nu E}{(1+\nu)(1-2\nu)},$$

символ $\sigma_{,j}^{kj}$ в (1) означает частную производную $\sigma_{,j}^{kj} \equiv \partial\sigma^{kj}/\partial x_j$.

Система уравнений (1) совместно с соотношениями (2) описывает состояние равновесия упругого изотропного неоднородного тела [1, с.83-84]. При этом: $\sigma^{kj} = \sigma^{jk}$ - компоненты напряжений, $\varepsilon_{kj} = \varepsilon_{jk}$ - компоненты деформаций, ω_k – углы поворота элемента вокруг оси Ox_k, $u = (u_1, u_2, u_3)$ - вектор перемещений, $u_{j,k} \equiv \partial u_j/\partial x_k$, $j,k = \overline{1,3}$; $X_k(k = \overline{1,3})$ – компоненты объемных внешних сил, действующих на упругое тело; μ - модуль упругости при сдвиге, λ – параметр Ляме, $E = E(x)$- модуль упругости при растяжении, $\nu = \nu(x)$ – коэффициент Пуассона, $x = (x_1, x_2, x_3)$ - прямоугольные декартовы координаты точки тела в области V.

Если в системе (1) напряжения и деформации заменить их выражениями из (2), то получим систему уравнений равновесия в перемещениях:

$$\Delta u_k + \theta_{,k}/(1-2\nu) + l_k(u) + g_k(u) + X_k/\mu = 0, k = \overline{1,3}, \tag{3}$$

где

$$l_k(u) = \left[\mu_{,k}e_{kk} + \mu_{,j}e_{kj} + \lambda_{,k}(e_{11} + e_{22} + e_{33})\right]/\mu,$$

$$g_k(u) = \frac{1}{\mu}\left\{f_k(u) + \frac{\partial}{\partial x_k}\left[(\mu+\lambda)(\chi_{11} + \chi_{22} + \chi_{33})\right] + \frac{\partial}{\partial x_j}\left(\mu\chi_{jk}\right)\right\},\ \theta = div\, u;$$

Δ - оператор Лапласа.

Задача I. *Требуется найти решение* $u = (u_1, u_2, u_3)$ *системы (1) в области* V, *удовлетворяющее на его границе* ∂V *условию*

$$u = 0. \qquad (4)$$

Задачу I будем изучать в обобщенной постановке. Пусть выполнены следующие условия: (а) $E(x), \nu(x) \in W_p^{(1)}(V), p > 3$; (б) $X_k \in L_p(V), p > 3, k = \overline{1,3}$.

Определение. *Обобщенным решением задачи I назовем вектор перемещений* $u = (u_1, u_2, u_3) \in W_p^{(2)}(V),\ p > 3,$ *почти всюду (п.в.) удовлетворяющий системе (1) и граничному условию (4).*

Здесь $\mathrm{W}_\mathrm{p}^{(\mathrm{j})}(\mathrm{V})(\mathrm{j} = 1,2)$ - пространства Соболева. В силу теорем вложения для соболевских пространств $\mathrm{W}_\mathrm{p}^{(\mathrm{j})}(\mathrm{V})$ с $p > 3$ обощенное решение $u \in C_\alpha^1(\bar{V})$, а упругие характеристики $B^{jknm} \in C_\alpha(\bar{V}), \alpha = (p-3)/p, p > 3$.

Для исследования задачи I используется метод, развитый в работах [2-4], в которых изучались линейные пространственные задачи для однородного изотропного шара [2], произвольного анизотропного неоднородного тела [3], а также нелинейные краевые задачи для неоднородного изотропного шара [4].

Пусть $y = \varphi(x) = \big(\varphi_1(x), \varphi_2(x), \varphi_3(x)\big)(y = (y_1, y_2, y_3))$ - взаимно однозначное отображение области V на шар $S_R: y_1^2 + y_2^2 + y_3^2 \le R^2$. Через $x = \psi(y) = (\psi_1(y), \psi_2(y), \psi_3(y))$ обозначим отображение, обратное $y = \varphi(x)$. Будем считать, что

$$\varphi(x) \in W_p^{(2)}(V),\ \psi(y) \in W_p^{(2)}(S_R),\ p > 3. \qquad (5)$$

В (3) перейдем к новым переменным $y_j,\ j = \overline{1,3}$. Тогда в шаре S_R получим систему уравнений вида

$$a_{kj}^{nm} u_{jy_n y_m} + l_k(u) + g_k(u) + X_k = 0,\ k = \overline{1,3}, \qquad (6)$$

где

$$l_k(u) = \mu\left[u_{ky_n} 1^j \varphi_{nx_j x_j} + u_{jy_n} \varphi_{nx_k x_j}\right] + e_{kk}(x)\mu_{y_n}\varphi_{nx_k} + e_{kj}(x)\mu_{y_n}\varphi_{nx_j} + 1^j e_{jj}(x)\lambda_{y_n}\varphi_{nx_k},$$

$$g_k(u) = f_k(u) + \big(\mu_{y_n} + \lambda_{y_n}\big)\varphi_{nx_k} 1^j \chi_{jjy_n}(x)\varphi_{nx_k} + \mu_{y_n}\varphi_{nx_j}\chi_{jky_n}(x)\varphi_{nx_j}, x = \psi(y),$$

$$a_{kj}^{nm} \equiv a_{kj}^{nm}(y) = b_{kj}^{qs}(x)\varphi_{nx_q}(x)\varphi_{mx_s}(x),$$

$$b_{jj}^{jj} = 2\mu + \lambda \equiv \alpha, b_{jj}^{kk} = \mu\ (j \ne k), b_{nm}^{nm} = \mu + \lambda \equiv \beta, k, j, n, m = \overline{1,3}; \qquad (7)$$

символ $1^j \varphi_{nx_j x_j}$ означает суммирование по j: $1^j \varphi_{nx_j x_j} = \sum_{j=1}^3 \varphi_{nx_j x_j}$.

Заметим, что $l_k(u), g_k(u)$ - соответственно линейные вполне непрерывные и нелинейные ограниченные операторы в $L_p(S_R), p > 3$.

Решение системы (6) в шаре S_R, удовлетворяющее на его границе $\partial S_R: y_1^2 + y_2^2 + y_3^2 = R^2$ условию (4) будем искать в виде

$$u(y) = \iiint_{S_R} G(x, y)\rho(x)\, dx, \quad dx = dx_1\, dx_2 dx_3, \qquad (8)$$

где $\rho = (\rho_1, \rho_2, \rho_3)$ - произвольная вектор-функция, принадлежащая пространству $L_p(S_R), p > 3$; $G(x, y)$ - гармоническая функция Грина задачи Дирихле для шара S_R.

Соотношение (8) подставим в (6) и для определения функции $\rho = (\rho_1, \rho_2, \rho_3)$ придем к системе трехмерных нелинейных сингулярных интегральных уравнений вида

$$P_{kj}(\rho_j) + g_k(\rho) + X_k = 0,\ k = \overline{1,3}, \qquad (9)$$

где $P_{kj}(\rho_j) = -\frac{1}{3}\big(a_{kj}^{11} + a_{kj}^{22} + a_{kj}^{33}\big)\rho_j(x) + \frac{1}{4\pi} a_{kj}^{nm} \iiint_{E_3} \frac{f_{nm}(\theta)}{|x-y|^3}\rho_j^*(x)\, dx + l_k(\rho), f_{nm}(\theta) = 3\theta_n\theta_m - \delta_{nm}, \theta_j = \big(x_j - y_j\big)/|x - y|, \theta = (\theta_1, \theta_2, \theta_3), \delta_{nm} = 1$ при $n = m$ *и* $\delta_{nm} = 0$ при $n \ne m; n, m, k, j = \overline{1,3}$; $\rho_j^*(x) = \rho_j(x)$ при $x \in S_R$ и $\rho_j^*(x) = -(R^5/|x|^5)\rho_j(R^2/|x|^2)$ при $x \overline{\in} \overline{S_R}$, E_3 - трехмерное евклидово простраство.

Отметим, что $P_{kj}(\rho_j)$ суть линейные ограниченные операторы в $L_p(S_R), p > 3$.

При изучении разрешимости системы (9) будем следовать [5]. Через $\Phi_{kj}(y,\theta)$ обозначим символ сингулярного оператора $P_{kj}(\rho_j)$. Можно показать, что символ $\Phi_{kj}(y,\theta)$ дается формулой

$$\Phi_{kj}(y,\theta) = -b_{kj}^{nm}(x)\gamma_n\gamma_m, n,m,j,k = \overline{1,3}, \qquad (10)$$

где

$$\gamma_n = \varphi_{1x_n}(x)\theta_1 + \varphi_{2x_n}(x)\theta_2 + \varphi_{3x_n}(x)\theta_3, \;\; n = \overline{1,3}, x = \psi(y), y \in S_R, x \in V.$$

Внося (7) в (10), будем иметь

$$\Phi_{11}(y,\theta) = -\alpha\gamma_1^2 - \mu\gamma_2^2 - \mu\gamma_3^2, \Phi_{22}(y,\theta) = -\mu\gamma_1^2 - \alpha\gamma_2^2 - \mu\gamma_3^2,$$
$$\Phi_{33}(y,\theta) = -\mu\gamma_1^2 - \mu\gamma_2^2 - \alpha\gamma_3^2, \Phi_{jk}(y,\theta) = -2\beta\gamma_j\gamma_k, j \neq k, j,k = \overline{1,3}.$$

Введем определители $\Delta_1 = \Phi_{11}(y,\theta)$, $\Delta_2 = det\left(\Phi_{kj}(y,\theta)\right)_{2\times2}$, $\Delta_3 = det\left(\Phi_{kj}(y,\theta)\right)_{3\times3}$. Для них получаем следующие выражения:

$$\begin{gathered}\Delta_2 = \gamma_1^2[\mu\alpha\gamma_1^2 + \mu_0\gamma_2^2 + \mu(\mu+\alpha)\gamma_3^2/2] + \gamma_2^2[\mu_0\gamma_1^2 + \mu\alpha\gamma_2^2 + \mu(\mu+\alpha)\gamma_3^2/2] + \\ +\gamma_3^2[\mu(\mu+\alpha)(\gamma_1^2+\gamma_2^2)/2 + \mu^2\gamma_3^2], \\ \Delta_3 = -\{\gamma_1^4[\mu^2\alpha\gamma_1^2 + \alpha_0(\gamma_2^2+\gamma_3^2)] + \gamma_1^2\gamma_2^2[\alpha_0(\gamma_1^2+\gamma_2^2) + \beta_0\gamma_3^2] + \\ +\gamma_1^2\gamma_3^2[\alpha_0(\gamma_1^2+\gamma_3^2) + \beta_0\gamma_2^2] + \gamma_2^4[\mu^2\alpha\gamma_2^2 + \alpha_0(\gamma_1^2+\gamma_3^2)] + \\ +\gamma_2^2\gamma_3^2[\alpha_0(\gamma_2^2+\gamma_3^2) + \beta_0\gamma_1^2] + \gamma_3^4[\mu^2\alpha\gamma_3^2 + \alpha_0(\gamma_1^2+\gamma_2^2)]\},\end{gathered} \qquad (11)$$

где

$$\mu_0 = (\mu^2 + \alpha^2 - 4\beta^2)/2, \alpha_0 = \mu(\mu\alpha + \mu_0)/2, \beta_0 = 2(\mu^3 + 8\beta^3 - \alpha^3 + 3\alpha\mu_0)/3.$$

Пусть коэффициент Пуассона $\nu = \nu(x)$ удовлетворяет условию

$$-1 < \nu(x) \leq \nu_0 < 1/2, \forall x \in \bar{V}, \nu_0 = const. \qquad (12)$$

Тогда в условиях (а) и (12) функции $\alpha = \alpha(x)$, $\mu = \mu(x) \geq c > 0 \; \forall x \in \bar{V}$. Кроме того, непосредственным вычислением убеждаемся в том, что $\mu_0 = \mu_0(x)$, $\alpha_0 = \alpha_0(x)$, $\beta_0 = \beta_0(x) \geq c > 0 \; \forall x \in \bar{V}$. Тогда выражения в квадратных скобках в (11) представляют собой положительно определенные квадратичные формы относительно переменных $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$. Поэтому $|\Delta_j| \geq c > 0 \; (j = \overline{1,3}) \; \forall y \in \overline{S_R}, \forall\theta \in \partial S_1$. Следовательно, точные нижние границы модулей определителей Δ_j $(j = \overline{1,3})$ положительны. Тогда [5,с.192] индекс системы уравнений (9) равен нулю и к ней применима альтернатива Фредгольма. В результате система (9) сведется к эквивалентной системе вида

$$\rho - G\rho = 0, \qquad (13)$$

где $G\rho$ - нелинейный ограниченный оператор в $L_p(S_R), p > 3$, причем при любых $\rho^j (j = 1,2) \in L_p(S_R), p > 3$, принадлежащих шару $\|\rho^j\|_{L_p(S_R)} < r$, справедлива оценка $\|G(\rho^1) - G(\rho^2)\|_{L_p(S_R)} \leq (q_1 + q_2 r)r\|\rho^1 - \rho^2\|_{L_p(S_R)}$, где q_j $(j = 1,2)$ - известные постоянные, не зависящие от r.

Предположим, что радиус r шара и внешние силы, действующие на упругое тело, таковы, что выполняются условия

$$q = (q_1 + q_2 r)r < 1, \|G(0)\|_{L_p(S_R)} < (1-q)r. \qquad (14)$$

В этих условиях к уравнению (13) можно применить принцип сжатых отображений [6, с.146], согласно которому уравнение (13) в шаре $\|\rho\|_{L_p(S_R)} < r$ имеет единственное решение $\rho \in L_p(S_R), p > 3$. Зная $\rho = (\rho_1, \rho_2, \rho_3)$, по формуле (8) находим решение $u = (u_1, u_2, u_3) \in W_p^{(2)}(S_R), p > 3$ задачи I.

Таким образом, доказана следующая основная теорема.

Теорема. *Пусть выполнены условия* $(a), (б)$ *и (5), неравенство (14). Тогда задача I для произвольного упругого неоднородного изотропного тела имеет единственное обобщенное решение* $u = (u_1, u_2, u_3) \in W_p^{(2)}(V), p > 3$.

Список литературы

1. *Новожилов В.В.* Основы нелинейной теории упругости. – Л.- М.: Гостехиздат, 1948. – 576с.

2. *Тимергалиев С.Н., Углов А.Н., Якупова Г.А.* Исследование разрешимости пространственных краевых задач для шара линейной теории упругости // Научно-технический вестник Поволжья. – 2014. - №1.- С.41-44.

3. *Тимергалиев С.Н.* О разрешимости краевых задач для системы дифференциальных уравнений трехмерной теории упругости // Труды математического центра им.Н.И.Лобачевского: материалы Международной научной конференции «Краевые задачи для дифференциальных уравнений и аналитических функций-2014». – Казань: Изд-во Казан. Ун-та, 2014. – Т.49.-С.309-314.

4. *Тимергалиев С.Н., Якупова Г.А.* О существовании решений пространственных нелинейных краевых задач для упругого неоднородного шара // Сеточные методы для краевых задач и приложения. Материалы Десятой международной конференции (г.Казань, 24-29 сентября, 2014 г.).- Казань: Изд-во Казан.ун-та, 2014. – С.586-591.

5. *Михлин С.Г.* Многомерные сингулярные интегралы и интегральные уравнения. – Л.: Физматгиз, 1962. – 256 с.

6. *Красносельский М.А.* Тополигические методы в теории нелинейных интегральных уравнений. – М.: Гостехиздат, 1956. – 392 с.

01.02.04

Л.С. Харасова

Набережночелнинский институт (филиал) К(П)ФУ,
строительное отделение, кафедра математики, Набережные Челны, kharasova.liya@mail.ru

О РАЗРЕШИМОСТИ ОДНОЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКИ НЕЛИНЕЙНОЙ КРАЕВОЙ ЗАДАЧИ ДЛЯ ПОЛОГИХ ОБОЛОЧЕК ТИПА ТИМОШЕНКО С ШАРНИРНО ОПЕРТЫМИ КРАЯМИ

Работа посвящена исследованию разрешимости нелинейной краевой задачи для пологих изотропных однородных оболочек типа Тимошенко с шарнирно опертыми краями. Метод исследования заключается в сведении исходной задачи к одному нелинейному операторному уравнению, разрешимость которого устанавливается с помощью принципа сжатых отображений. Основу метода составляют интегральные представления для перемещений, которые строятся с привлечением общих решений неоднородного уравнения Коши-Римана.

Ключевые слова: *система уравнений равновесия, краевая задача, интегральные представления, теорема существования.*

Рассматривается следующая модель теории пологих оболочек типа Тимошенко:

1) соотношения деформации-перемещения [1, с. 168-170, 269]:

$$\gamma_{jj}^0 = w_{j\alpha^j} - k_j w_3 + w_{3\alpha^j}^2/2,\ j=1,2,\quad \gamma_{12}^0 = w_{1\alpha^2} + w_{2\alpha^1} + w_{3\alpha^1} w_{3\alpha^2},$$
$$\gamma_{jj}^1 = \psi_{j\alpha^j},\ j=1,2,\qquad \gamma_{12}^1 = \psi_{1\alpha^2} + \psi_{2\alpha^1}, \tag{1}$$
$$\gamma_{j3}^0 = w_{3\alpha^j} + \psi_j,\ j=1,2,\quad \gamma_{33}^0 = \gamma_{k3}^1 \equiv 0,\ k=\overline{1,3},$$

где $\gamma_{ij}^k (i,j=\overline{1,3}, k=0,1)-$ компоненты деформаций срединной поверхности S_0 оболочки, w_i и w_3 - тангенциальные и нормальное перемещения точек S_0, $\psi_i (i=1,2)$ - углы поворота нормальных сечений, α^1, α^2 - декартовы координаты точек плоской ограниченной области Ω, гомеоморфной S_0, Γ - граница области Ω;

2) определяющие соотношения: $\sigma^{ij} = B^{ijkn}\gamma_{kn}, i \le j, k \le n;\ i,j,k,n=\overline{1,3};$

здесь и далее по повторяющимся латинским индексам ведется суммирование от 1 до 3, по греческим индексам – от 1 до 2; $\gamma_{kn} = \gamma_{kn}^0 + \alpha^3 \gamma_{kn}^1$; B^{ijkn} - упругие характеристики оболочки: $B^{1111} = B^{2222} = E/(1-\mu^2), B^{1122} = \mu E/(1-\mu^2), B^{1212} = E/(2(1+\mu)),\ B^{1313} = B^{2323} = Ek^2/(2(1+\mu));$ остальные $B^{ijkn} = 0;$ $\mu = const-$ коэффициент Пуассона, $E = const-$ модуль Юнга, $k_1, k_2 = const-$ главные кривизны, $k^2 = const-$ коэффициент сдвига;

3) граничные условия на Г:

$$w_2 = w_3 = 0; \tag{2}$$

4) на оболочку действуют массовые $\vec{F}(\alpha^1, \alpha^2, \alpha^3)$ и поверхностные $\vec{F}^{\pm}(\alpha^1, \alpha^2)$ силы, а на границе оболочки приложены усилия $\vec{F}^0(s, \alpha^3)$.

В рамках модели 1)- 4) получаем уравнения равновесия

$$T^{i\lambda}_{\alpha^\lambda} + R^i = 0, i = 1,2,$$
$$T^{\lambda 3}_{\alpha^\lambda} + k_\lambda T^{\lambda\lambda} + \left(T^{\lambda\mu} w_{3\alpha^\mu}\right)_{\alpha^\lambda} + R^3 = 0, \qquad (3)$$
$$M^{i\lambda}_{\alpha^\lambda} - T^{i3} + L^i = 0, i = 1,2$$

и статические граничные условия на Γ:

$$T^{11}\, d\alpha^2/ds - T^{12}\, d\alpha^1/ds = P^1(s),$$
$$M^{j1}\, d\alpha^2/ds - M^{j2}\, d\alpha^1/ds = N^j(s), \qquad (4)$$

где T^{ij} - усилия, M^{ij} - моменты:

$$T^{ij} \equiv T^{ij}(a) = D_0^{ijkn}\gamma^0_{kn}, M^{ij} \equiv M^{ij}(a) = D_2^{ijkn}\gamma^1_{kn}, D^{ijkn}_m = \int_{-h/2}^{h/2} B^{ijkn}\left(\alpha^3\right)^m d\alpha^3;$$
$$R^j\left(\alpha^1,\alpha^2\right) = F^{+j}\left(\alpha^1,\alpha^2\right) + F^{-j}\left(\alpha^1,\alpha^2\right) + \int_{-h/2}^{h/2} F^j\left(\alpha^1,\alpha^2,\alpha^3\right) d\alpha^3, \qquad (5)$$
$$L^k\left(\alpha^1,\alpha^2\right) = [F^{+k}\left(\alpha^1,\alpha^2\right) - F^{-k}\left(\alpha^1,\alpha^2\right)]h/2 + \int_{-h/2}^{h/2} F^k\left(\alpha^1,\alpha^2,\alpha^3\right)\alpha^3 d\alpha^3,$$
$$P^j(s) = \int_{-h/2}^{h/2} F^{0j}\left(s,\alpha^3\right) d\alpha^3, N^k(s) = \int_{-h/2}^{h/2} F^{0k}\left(s,\alpha^3\right)\alpha^3 d\alpha^3, j = \overline{1,3}, k = 1,2,$$

$a = (w_1, w_2, w_3, \psi_1, \psi_2)$ – вектор обобщенных перемещений, $h = const$ - толщина оболочки.

Задача А. *Требуется найти решение системы (3), удовлетворяющее граничным условиям (2), (4).*

Краевую задачу А будем изучать в обобщенной постановке. Пусть выполнены следующие условия: (а) внешние силы $\vec{F} \in L_p(\Omega) \times L_1[-h/2, h/2]$, $\vec{F}^{\pm} \in L_p(\Omega), \vec{F}^0 \in C_\beta(\Gamma) \times L_1[-h/2, h/2]$; здесь и далее везде: $p > 2, 0 < \beta < 1$; (б) Ω – единичный круг с центром в начале координат.

В перемещениях уравнения равновесия (3) примут вид:

$$w_{1\alpha^1\alpha^1} + \mu_1 w_{1\alpha^2\alpha^2} + \mu_2 w_{2\alpha^1\alpha^2} = f_1,$$
$$\mu_1 w_{2\alpha^1\alpha^1} + w_{2\alpha^2\alpha^2} + \mu_2 w_{1\alpha^1\alpha^2} = f_2,$$
$$k^2\mu_1\left(w_{3\alpha^1\alpha^1} + w_{3\alpha^2\alpha^2} + \psi_{1\alpha^1} + \psi_{2\alpha^2}\right) + k_3 w_{1\alpha^1} + k_4 w_{2\alpha^2} - k_5 w_3 +$$
$$+ k_3 w^2_{3\alpha^1}/2 + k_4 w^2_{3\alpha^2}/2 + \beta_2\left[\left(T^{\lambda\mu} w_{3\alpha^\lambda}\right)_{\alpha^\mu} + R^3\right] = 0 \qquad (6)$$
$$\psi_{1\alpha^1\alpha^1} + \mu_1\psi_{1\alpha^2\alpha^2} + \mu_2\psi_{2\alpha^1\alpha^2} = g_1 + k_0\psi_1,$$
$$\mu_1\psi_{2\alpha^1\alpha^1} + \psi_{2\alpha^2\alpha^2} + \mu_2\psi_{1\alpha^1\alpha^2} = g_2 + k_0\psi_2,$$

при этом граничные условия (4) преобразуются к виду

$$\left(w_{1\alpha^1} + \mu w_{2\alpha^2}\right)(t)\, d\alpha^2/ds - \mu_1\left(w_{1\alpha^2} + w_{2\alpha^1}\right)(t)\, d\alpha^1/ds = \varphi_1(w_3)(t),$$
$$\left(\psi_{1\alpha^1} + \mu\psi_{2\alpha^2}\right)(t)\, d\alpha^2/ds - \mu_1\left(\psi_{1\alpha^2} + \psi_{2\alpha^1}\right)(t)\, d\alpha^1/ds = \tilde{\varphi}_1(w_3)(t), \qquad (7)$$
$$\mu_1\left(\psi_{1\alpha^2} + \psi_{2\alpha^1}\right)(t)\, d\alpha^2/ds - \left(\mu\psi_{1\alpha^1} + \psi_{2\alpha^2}\right)(t)\, d\alpha^1/ds = \tilde{\varphi}_2(w_3)(t),$$

где

$$f_1 \equiv f_1(w_3) = k_3 w_{3\alpha^1} - w_{3\alpha^1} w_{3\alpha^1\alpha^1} - \mu_2 w_{3\alpha^2} w_{3\alpha^1\alpha^2} - \mu_1 w_{3\alpha^1} w_{3\alpha^2\alpha^2} - \beta_2 R^1,$$
$$f_2 \equiv f_2(w_3) = k_4 w_{3\alpha^2} - w_{3\alpha^2} w_{3\alpha^2\alpha^2} - \mu_2 w_{3\alpha^1} w_{3\alpha^1\alpha^2} - \mu_1 w_{3\alpha^2} w_{3\alpha^1\alpha^1} - \beta_2 R^2, \qquad (8)$$

$$g_j \equiv g_j(w_3) = k_0 w_{3\alpha^j} - \beta_1 L^j,\ j = 1,2, \mu_1 = (1-\mu)/2, \mu_2 = (1+\mu)/2,$$

$$\varphi_1(w_3)(t) = \beta_2 P^1(s) - \left[w_{3\alpha^1}^2/2(t) + \mu w_{3\alpha^2}^2/2(t)\right] d\alpha^2/ds + \mu_1 w_{3\alpha^1}(t) w_{3\alpha^2}(t) d\alpha^1/ds,$$

$$\tilde{\varphi}_j(w_3)(t) = \beta_1 N^j(s),\ j = 1,2, k_3 = k_1 + \mu k_2, k_4 = k_2 + \mu k_1, k_5 = k_1^2 + k_2^2 + 2\mu k_1 k_2,$$

$$k_0 = 6k^2(1-\mu)/h^2, \beta_1 = 12(1-\mu^2)/(h^3 E), \beta_2 = (1-\mu^2)/(Eh).$$

Определение. *Обобщенным решением задачи А назовем вектор обобщенных перемещений* $a = (w_1, w_2, w_3, \psi_1, \psi_2) \in W_p^{(2)}(\Omega),\ p > 2,$ *почти всюду удовлетворяющий системе (6) и поточечно граничным условиям (2),(7)* ($W_p^{(2)}(\Omega)$ *- пространство Соболева).*

Для исследования задачи А используется метод работ [3], [4], в основе которого лежат интегральные представления для тангенциальных перемещений и углов поворота, удовлетворяющих заданным граничным условиям. Для тангенциальных перемещений эти интегральные представления имеют вид:

$$\omega_0 = w_2 + i w_1 = \mathrm{H}_0 w_3 + i c_0, \tag{9}$$

где c_0 – произвольная действительная постоянная;

$$H_0 w_3 \equiv H_0[f(w_3); \varphi_1(w_3)] = \Phi_2[f;\varphi_1](z) + iTd[\Phi_1[f;\varphi_1] + Tf](z), \tag{10}$$

$$\Phi_2[f;\varphi_1](z) = -\frac{1}{2\pi i}\int_\Gamma \left\{\mathrm{Re}(iTd[\Phi_1]) + \tilde{T}f(t)\right\}\frac{t+z}{t-z}\frac{dt}{t}, \Phi_1[f;\varphi_1](z) = \frac{1}{\pi i}\int_\Gamma \frac{h[f;\varphi_1]}{t-z}\frac{dt}{t}, z \in \Omega,$$

$$h[f;\varphi_1](t) = (1-\mu)\left[h_1 f(t) - 2\,\mathrm{Re}\left\{it\left(S_\Gamma \tilde{T}f\right)^+(t)\right\}\right] + \varphi_1(w_3)(t),$$

$$h_j f(t) = (-1)^j\ \mathrm{Im}\left\{i^{2-j} tSd[Tf]^+(t)\right\} + (-1)^j \mu_3\, d\alpha^{3-j}/ds\,\mathrm{Re}\,Tf(t), j = 1,2,$$

$$Tf = -\frac{1}{\pi}\iint_\Omega \frac{f(\zeta)}{\zeta - z} d\xi d\eta, Sf = -\frac{1}{\pi}\iint_\Omega \frac{f(\zeta)}{(\zeta - z)^2} d\xi d\eta, \zeta = \xi + i\eta,$$

$$S_\Gamma f(z) = \frac{1}{2\pi i}\int_\Gamma \frac{f(t)}{(t-z)^2} dt, \tilde{T}f(z) = \mathrm{Re}\{iTd[Tf](z)\}, f = (f_1 + f_2)/2,$$

$$d[g] \equiv d_1 g + d_2 \bar{g}, d_j = \left(\mu_1 + (-1)^j\right)/(4\mu_1), j = 1,2;$$

символ $\psi^+(t)$ означает предел функции $\psi(t)$ при $z \to t \in \Gamma$ изнутри области Ω.

При этом должно выполняться необходимое и достаточное условие

$$\int_\Gamma P^1(s) ds + \iint_\Omega R^1 d\alpha^1 d\alpha^2 = 0. \tag{11}$$

Аналогично для углов поворота ψ_1, ψ_2 из последних двух уравнений в (6), удовлетворяющих на Г условиям в (7), получаем

$$\psi = \psi_2 + i\psi_1 = (I - K_0)^{-1} H_0\left[g(w_3); \tilde{l}(w_3)\right], \tag{12}$$

$$\tilde{\psi} = k_0(\psi_1 + i\psi_2)/2, g \equiv g(w_3) = (g_1 + i g_2)/2, g_j \equiv g_j(w_3);$$

$$\tilde{l}(w_3) = \tilde{l}_1(w_3) + i\tilde{l}_2(w_3), \tilde{l}_j(w_3)(t) = \tilde{\varphi}_j(t)/(1-\mu) + h_j g,\ j = 1,2,$$

$K_0\psi = H_0[\tilde{\psi}; h_j\tilde{\psi}]$ – линейный вполне непрерывный оператор в $W_p^{(2)}(\Omega), 2 < p < 2/(1-\beta)$; операторы $H_0[f,g]$, $h_j g$ определены в (10).

Теперь, если выражения тангенциальных перемещений и углов поворота из (9) и (12) подставить в третье уравнение системы (6), то задача А сведется к одному нелинейному операторному уравнению вида

$$w_3 + G_* w_3 = 0, \tag{13}$$

где $G_* w_3$ – нелинейный ограниченный оператор в $W_p^{(2)}(\Omega), 2<p<2/(1-\beta)$, причем для любых $w_3^j(j=1,2)\in W_p^{(2)}(\Omega)$, принадлежащих шару $\|w_3\|_{W_p^{(2)}}<r$, справедлива оценка $\|G_* w_3^1 - G_* w_3^2\|_{W_p^{(2)}} \le q_* \|w_3^1 - w_3^2\|_{W_p^{(2)}}$, где постоянная q_* зависит от радиуса r шара и внешних сил.

Предположим, что радиус r шара и внешние силы, действующие на оболочку, таковы, что выполняются условия

$$q_* < 1, \qquad \|G_*(0)\|_{W_p^{(2)}(\Omega)} < (1-q_*)r. \tag{14}$$

Тогда к уравнению (13) можно применить принцип сжатых отображений [4, с. 146], согласно которому уравнение (13) в шаре $\|w_3\|_{W_p^{(2)}}<r$ имеет единственное решение $w_3 \in W_p^{(2)}(\Omega), 2<p<2/(1-\beta)$.

Зная прогиб w_3, по формулам (9), (12) однозначно определяем w_2, w_3, ψ_1, ψ_2, а w_1 – с точностью до постоянного слагаемого c_0 .

Теорема. *Пусть выполнены условия (а), (б), неравенства (14). Тогда для разрешимости геометрически нелинейной задачи равновесия для пологих упругих оболочек типа Тимошенко при граничных условиях (2) необходимо и достаточно, чтобы выполнялось условие (11). В случае его выполнения задача имеет обобщенное решение* $a=(w_1,w_2,w_3,\psi_1,\psi_2)\in W_p^{(2)}(\Omega), 2<p<2/(1-\beta)$, *у которого компоненты* w_2, w_3, ψ_1, ψ_2 *определяются однозначно, а компонента* w_1 – *с точностью до постоянного слагаемого* c_0.

Список литературы

1. *Галимов К.З.* Основы нелинейной теории тонких оболочек (Изд-во Казанск. ун-та, Казань, 1975).
2. *Тимергалиев С.Н.* Доказательство существования решения системы дифференциальных уравнений с частными производными нелинейной теории пологих оболочек типа Тимошенко, Дифференц. Уравнения 48 (3), 450-454 (2012).
3. *Тимергалиев С.Н.* О существовании решений геометрически нелинейных задач для пологих оболочек типа Тимошенко со свободными краями, Изв. вузов. Матем. № 3, 40-56 (2014).
4. *Красносельский М.А.* Топологические методы в теории нелинейных интегральных уравнений (Гостехиздат, М., 1956).

01.04.07

А.М.А. Хинайш, Д.М. Спиридонов, А.С. Вохминцев, И.А. Вайнштейн

Уральский федеральный университет, физико-технологический институт,
кафедра «Физические методы и приборы контроля качества»,
Екатеринбург, ph_atomic@yahoo.com

ТУШЕНИЕ ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ В МИКРОПОРОШКЕ h-BN ПРИ ТЕМПЕРАТУРАХ ВЫШЕ КОМНАТНОЙ

Исследованы закономерности температурного тушения фотолюминесценции в микропорошках гексагонального нитрида бора. Обнаружено, что при увеличении температуры образцов от 300 до 750 К интегральная интенсивность полосы 3.56 эВ уменьшается до фоновых значений. Полученные результаты описаны с использованием соотношений Мотта-Зейтца и Стрита, для которых определены соответствующие параметры. Показано, что наблюдаемая температурная зависимость свечения может быть обусловлена двумя безызлучательными каналами релаксации эмиссионно-активных центров.

Ключевые слова: *гексагональный нитрид бора, закон Мотта-Зейтца, соотношение Стрита, безызлучательная релаксация.*

Радиационно-оптические свойства гексагонального нитрида бора, которые определяют перспективы его применений в оптоэлектронике, лазерных технологиях, люминесцентной дозиметрии и др. [1 – 3], обусловлены активностью как собственных, так и примесных дефектных комплексов. Определяющими факторами при разработке термолюминесцентных детекторов излучений на основе h-BN являются понимание механизмов взаимосвязи между рекомбинационными центрами и ловушками заряда, а также трансформация эмиссионной эффективности при температурах выше комнатной. В этой связи цель работы заключалась в изучении процессов температурного тушения фотолюминесценции (ФЛ) в микрокристаллическом порошке h-BN в диапазоне RT – 750 K.

Объектом исследований являлся микропорошок гексагонального h-BN со средним размером частиц < 1 мкм, синтезированный по плазмо-химической технологии [4]. Для проведения измерений использовался спектрометр Perkin Elmer LS 55 с разработанной высокотемпературной приставкой [5]. Изучение температурного тушения проводилось при температурах 300 – 750 К. Регистрация свечения проводилась в области 290 – 650 нм при скорости сканирования 120 нм/мин.

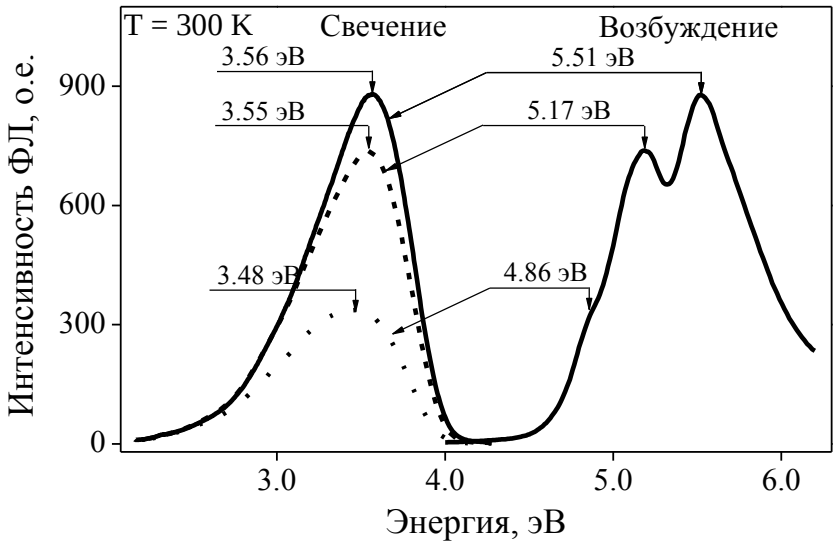


Рис. 1 – Спектры возбуждения и свечения ФЛ в микропорошках h-BN

Спектр возбуждения фотолюминесценции в полосе 3.56 эВ приведен на рисунке 1. В полученной спектральной зависимости можно выделить три особенности: два максимума 5.17 и 5.51 эВ, а также небольшое плечо в области 4.86 эВ. Для указанных полос были измерены спектры свечения. Результаты представлены на рисунке 1. Видно, что при возбуждении ФЛ фотонами указанных энергий в образцах h-BN регистрируются спектры свечении похожей формы, отличающиеся по интенсивности максимума. При этом максимумы расположены в 3.48, 3.55 и 3.56 эВ соответственно.

На рисунке 2 представлены экспериментальные спектры ФЛ порошка h-BN, измеренные для различных температур при возбуждении в полосе 5.51 эВ (225 нм). Видно, что с нагревом интенсивность свечения уменьшается, но при этом форма кривых не изменяется. Для спектров ФЛ, полученных при комнатной температуре, характерны энергия максимума $E_{макс}$ = 3.56 ± 0.01 эВ и полуширина ω = 0.68 ± 0.02 эВ. Указанное свечение регистрировалось ранее в работах [6 – 9] и было отнесено к излучательным процессам с участием кислород-связанных комплексов.

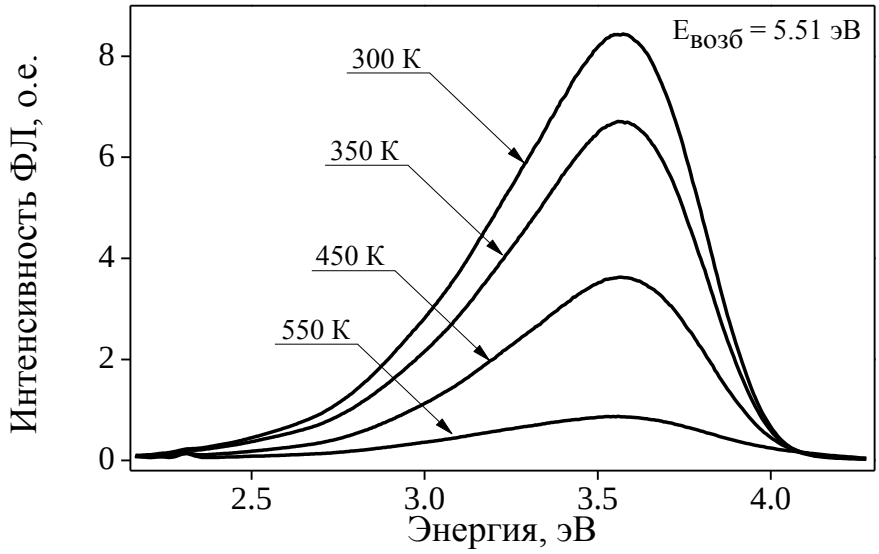


Рис. 2 – Спектры свечения ФЛ при различных температурах для h-BN

На рисунке 3 приведена зависимость (символы) интегральной интенсивности от температуры порошка, которая характеризует наблюдаемые процессы тушения ФЛ. Видно, что в диапазоне RT – 770 К люминесцентный отклик постепенно уменьшается до фоновых значений.

Количественный анализ наблюдаемой температурной зависимости может быть проведен в рамках соотношения Мотта-Зейтца, см. например [10]. Ранее нами [11] было показано, что тушение ФЛ в исследуемом микропорошке h-BN характеризуется двумя безызлучательным каналами. С учетом этого предположения запишем соотношение Мотта-Зейтца в следующем виде:

$$I(T) = I_o\left[1+\sum_{i=1}^{2} p_{mi} e^{-\frac{E_{qi}}{k_B T}}\right]^{-1}, \qquad (1)$$

где I_o – интенсивность при T → 0 К, о.е.; p_{m1} и p_{m2} – предэкспоненциальные множители, k_B – постоянная Больцмана, эВ/К; E_{q1}, E_{q2}– энергии активации тушения для двух независимых каналов, эВ.

В случае доминирования статического вклада в общее атомное разупорядочение кристаллической решетки, когда преобладают процессы безызлучательного туннелирования между состояниями, температурная зависимость ФЛ отклика описывается полуэмпирическим выражением Стрита [12]. Для двух независимых каналов тушения запишем соотношение Стрита в следующем виде:

$$I(T) = I_o\left[1+\sum_{i=1}^{2} p_{si} e^{\frac{T}{T_{si}}}\right]^{-1}, \qquad (2)$$

где p_{s1} и p_{s2} – предэкспоненциальные множители, T_{si} – характеристическая температурная константа для i-го безызлучательного канала, К.

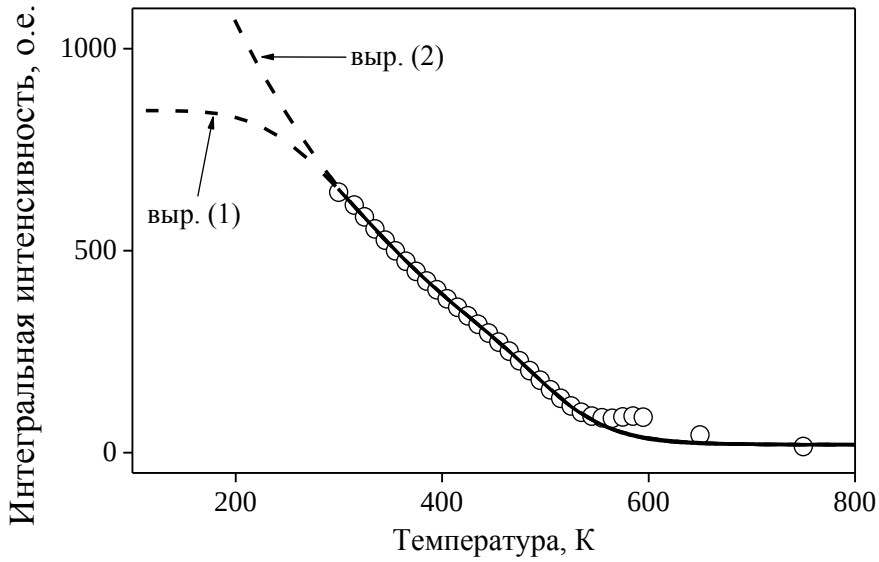


Рис. 3 – Кривые температурного тушения фотолюминесценции: символы – эксперимент, сплошная и штриховые линии – расчет

Видно, что аппроксимация экспериментальных данных уравнениями (1) и (2) в исследуемом диапазоне температур имеет высокую точность (R^2 = 0.999) (Рис. 2, сплошная линия). Значения рассчитанных параметров для обеих моделей тушения приведены в Таблице.

Таблица – Параметры температурного тушения

Соотношение Мотта-Зейтца				
I_o, о.е.	p_{m1}	p_{m2}	E_{q1} ±0.004, эВ	E_{q2} ±0.04, эВ
828	70.06	2.89×10^{8}	0.14	0.83
Соотношение Стрита				
I_o, о.е.	p_{s1}	p_{s2}	T_{s1} ±0.7, К	T_{s2} ±24, К
88625	1.77×10^{-5}	30.70	31	199

Анализ экспериментальных данных с использованием двух известных законов температурного тушения показывает, что и соотношение Мотта-Зейтца, и соотношение Стрита хорошо описывают наблюдаемую зависимость в предположении двух каналов безызлучательной релаксации. На данном этапе исследований нельзя отдать предпочтение какому-либо из двух законов. Для выбора наиболее адекватной модели и, соответственно, детального анализа механизмов температурной поведения люминесцентного отклика в микропорошке h-BN необходимы измерения спектров ФЛ в диапазоне LHT – 200 К.

Список литературы

1. *K. Watanabe, T. Taniguchi, H. Kanda* Direct-bandgap properties and evidence for ultraviolet lasing of hexagonal boron nitride single crystal // Nature Materials, 2004. V. 3. P. 404.
2. *Y. Kubota, K. Watanabe, O. Tsuda, and T. Taniguchi* Deep ultraviolet light-emitting hexagonal boron nitride synthesized at atmospheric pressure // Science 317, 2007. V. 5840, P. 932.
3. *I.A. Weinstein, A.S. Vokhmintsev, M.G. Minin et al.* Spectral and kinetic features of thermoluminescence in hexagonal boron nitride powder after UV-irradiation // Radiation Measurements, 2013. V. 56. P. 236.
4. *Краснокутский Ю.И., Верещак В.Г.* Получение тугоплавких соединений в плазме. // Киев: Вища школа, 1987. 200 с.
5. *А.С. Вохминцев, М.Г. Минин, Д.В. Чайкин и др.* Высокотемпературная приставка для измерения спектральных характеристик термо-люминесценции// Приборы и техника эксперимента. 2014. № 3. С. 139.
6. *T. Chengchun, B. Yoshio, Z. Chunyi et al.* Boron-oxygen luminescence centres in boron-nitrogen systems // Chemical Communications. 2007. № 44. P. 4599.
7. *V. Korsaks, B. Berzina, L. Trinklere* Low-temperature 450 nm luminescence of hexagonal boron nitride // Latvian Journal of Physics and Technical Sciences. 2011. № 1. P. 55.
8. *C.A. Taylor, S.W. Brown, V. Subramaniam et al.* Observation of near-band-gap luminescence from boron nitride films // Applied Physics Letters. 1994. V. 65, № 10. P. 1251.
9. *A. Katzir, J.T. Suss, A. Zunger et al.* Point defects in hexagonal boron nitride. I. EPR, thermoluminescence, and thermally-stimulated-current measurements// Physcal Review B. 1975. V. 11, № 6. P. 2370.
10. *А.М. Гурвич* Введение в физическую химию кристаллофосфоров // Учебное пособие для втузов. М. «Высшая школа», 1971. 336 с.
11. *A.M.A. Henaish, А.С Вохминцев, И.А. Вайнштейн* Температурное тушение люминесценции 3.6 эВ гексагонального нитрида бора // Проблемы спектроскопии и спектрометрии: вузовско-академический сборник научных трудов. – Екатеринбург: УрФУ, 2015. вып. 34., С. 154
12. *Street R.A.* Luminescence in Amorphous Semiconductors // Advances in Physics 1976. V. 25, № 4. P. 397.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ МК-5729.2015.2.

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

02.00.21

К.Г. Белова*, А.В. Обрубова, С.С. Нохрин, И.Е. Анимица

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина,
Институт естественных наук, департамент «Химический факультет»,
кафедра неорганической химии, Екатеринбург, *ksenia.belova@urfu.ru

ПРОВОДИМОСТЬ ПЕРОВСКИТОПОДОБНЫХ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ $Ba_4Ca_2Nb_{2-x}P_xO_{11}$

В работе рассмотрена принципиальная возможность оксоанионного допирования сложного оксида $Ba_4Ca_2Nb_2O_{11}$ *с разупорядоченным вакансиями кислорода. Впервые получены твердые растворы* $Ba_4Ca_2Nb_{2-x}P_xO_{11}$ *x=0.0−0.5, определены их параметры ячейки. Исследованы температурные зависимости проводимости полученных твердых растворов. Показано, что введение малых количеств фосфора повышает общую проводимость системы* $Ba_4Ca_2Nb_{2-x}P_xO_{11}$*, кроме того введение фосфора повышает температуру отклика системы на влажность до 800°С.*

Ключевые слова: *перовскит, оксоанионное допирование, изовалентное допирование, протонная проводимость.*

Введение. Сложный оксид $Ba_4Ca_2Nb_2O_{11}$ широко известен как кислород-ионный и протонный проводник [1-2]. Данный оксид обладает структурой двойного перовскита (пр.гр. *Fm3m*), в которой кислородные полиэдры ниобия и кальция расположены в шахматном порядке, что способствует статистическому расположению вакансий кислорода. В атмосфере с повышенной влажностью происходит диссоциативное поглощение воды и образование OH^--групп, за счет чего реализуется протонная проводимость. Использование различных методов модифицирования состава перовскитоподобных сложных оксидов позволяет увеличить протонную проводимость. В последнее время появился ряд работ [3-4], в которых реализовано допирование браунмиллеритов $Ba_2M_2O_5$ (M=In, Sc) (производной от перовскита структуре) ионами неметаллической природы (P^{+5}, Si^{+4}). При таком замещении в решетку встраивается группа $[PO_4]$ или $[SiO_4]$, что способствует статистическому расположению вакансий кислорода, вследствие чего повышается симметрия решетки, и увеличивает проводимость системы. Этот метод введения в решетку группы атомов (тетраэдрической группировки) можно назвать методом *оксанионного* допирования.

В настоящей работе впервые реализован метод оксанионного допирования для структуры кислород-дефицитного двойного перовскита на примере ниобата бария-кальция $Ba_4Ca_2Nb_2O_{11}$.

Экспериментальная часть. Образцы состава $Ba_4Ca_2Nb_{2-x}P_xO_{11}$ в интервале x=0.0−1.0 синтезированы по керамической технологии из $BaCO_3$, $CaCO_3$, Nb_2O_5 и $NH_4H_2PO_4$. Синтез осуществлялся при ступенчатом повышении температуры от 700°С до 1350°С с изотермическими выдержками 24ч и промежуточными перетираниями в среде этилового спирта. Образцы аттестованы методом РФА. Съёмку осуществляли на дифрактометре Bruker D8 Advance в Cu Kα - излучении в интервале углов 2θ = 10°– 80°.

Электропроводность измерена двухконтактным методом на компактированных образцах с воженными платиновыми электродами. Измерения проводились при температурах 300-1000°С методом электрохимического импеданса на приборе Elins Impedancemeter Z-1000P в интервале частот 100-$2\cdot10^6$ Гц. Измерения выполнены при контролируемом pH_2O. Объемное сопротивление определялось с помощью программы EQUIVCRT.

Влажная атмосфера ($pH_2O=2\cdot10^{-2}$ атм.) задавалась путем барботирования воздуха через насыщенный раствор бромида калия (KBr). Сухая атмосфера ($pH_2O=3.5\cdot10^{-5}$ атм.) циркуляцией газа через порошок P_2O_5 (оксид фосфора). Циркулирующий в системе воздух

предварительно очищался от углекислого газа с помощью реактива АСКАРИТ, содержащего твердую щелочь.

Результаты и обсуждения. *Структура.* При введении фосфора в структуру сложного оксида $Ba_4Ca_2Nb_2O_{11}$ образуются твердые растворы $Ba_4Ca_2Nb_{2-x}P_xO_{11}$ с областью гомогенности $0.0 \leq x \leq 0.5$ и характеризующиеся кубической структурой двойного перовскита с пространственной группой *Fm3m*.

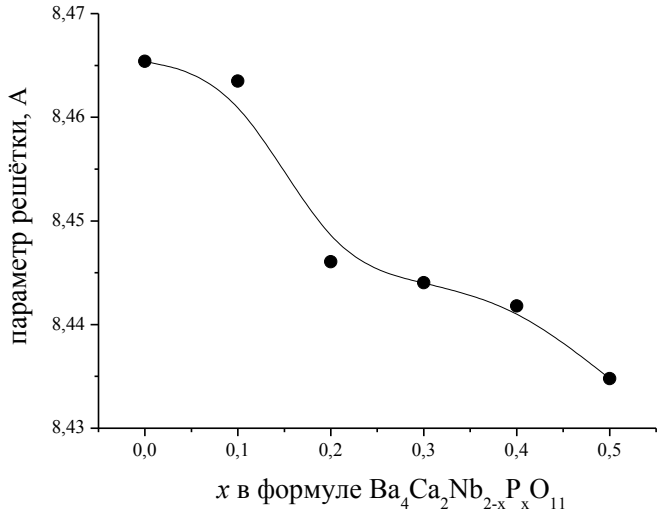


Рис. 1− Концентрационная зависимость параметра решетки твердых растворов $Ba_4Ca_2Nb_{2-x}P_xO_{11}$

Параметры решетки (рисунок 1) уменьшаются с при введении фосфора. Подобная зависимость может быть объяснена тем, что при введении фосфора происходит замещение больших по размеру полиэдров $[NbO_4]$ на малые тетраэдрические – $[PO_4]$.

Электрические свойства. На рисунке 2 представлены политермы объемной проводимости, полученные в атмосферах с различной влажностью. Объемная составляющая проводимости была получена при обработке годографов импеданса.

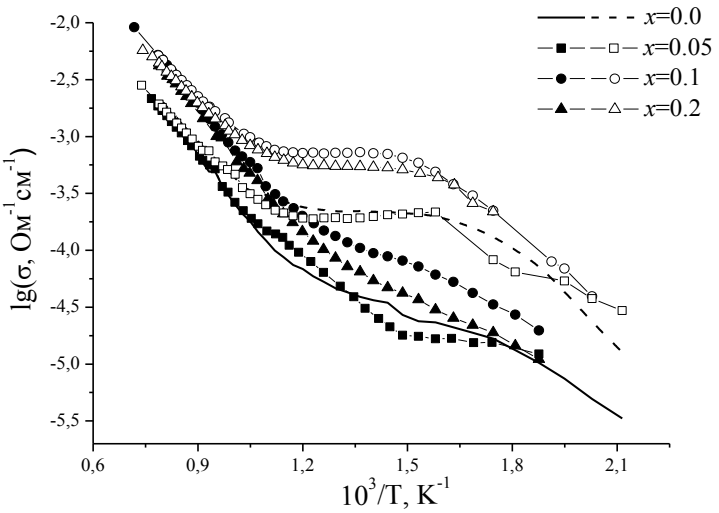


Рис. 2− Политермы проводимости твердых растворов $Ba_4Ca_2Nb_{2-x}P_xO_{11}$ в сухом (закрытые знаки) и влажном (открытые знаки) воздухе.

По виду зависимостей политерм проводимости следует отметить схожий характер поведения допированных образцов с составом, несодержащим фосфор $Ba_4Ca_2Nb_2O_{11}$. Так как ниобат бария-кальция в сухой атмосфере является кислород-ионным проводником [1], можно предполагать, что для твердых растворах на его основе природа ионного переноса будет такой же. Энергия активации высокотемпературного участка (выше 800°С), составила ~0.8 эВ, что подтверждает предположение о наличии высокого уровня кислород-ионного

транспорта в твердых растворах, подобно $Ba_4Ca_2Nb_2O_{11}$. Также на зависимостях проводимости образцов заметен отклик на присутствие паров воды (ниже 700-800°С), связанный с появлением протонного вклада. Рассчитанные энергии активации ~0.5 эВ соответствуют переносу протона по прыжковому механизму Гроттгуса. Следует отметить, что введение фосфора повышает температуру отклика на изменение влажности в системе. При допировании фосфором система реагирует на присутствие паров воды уже при 800°С, что на 100° выше, чем для $Ba_4Ca_2Nb_2O_{11}$. То есть, можно сделать вывод, что для P^{+5}-замещенных составов расширятся температурный интервал доминирующей протонной проводимости. Важным является также факт значительного увеличения проводимости у допированных составов. Максимальные значения проводимости реализовались для фазы $Ba_4Ca_2Nb_{1.9}P_{0.1}O_{11}$.

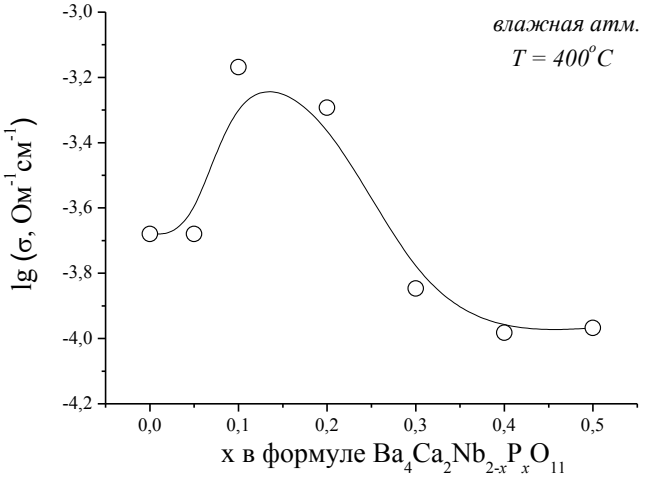


Рис. 3− Концентрационная зависимость проводимости твердых растворов $Ba_4Ca_2Nb_{2-x}P_xO_{11}$ во влажном воздухе при температуре 400°С

Концентрационная зависимость проводимости представлена на рисунке 3. Как видно, электропроводность меняется немонотонно и проходит через максимум: при малых добавках фосфора проводимость повышается на 0,5 порядка величины (для x=0.1), с увеличением концентрации допанта проводимость падает. Во влажной атмосфере для состава x=0.5 введение фосфора на 0.5 порядка понижает величину проводимости по сравнению с $Ba_4Ca_2Nb_2O_{11}$. Поскольку данный вид замещения заключается во введении на место вакансии целой структурной единицы [PO_4], то увеличение проводимости в малых концентрациях, вероятно, может быть связанно с увеличением подвижности ионных носителей тока, а падение проводимости в высоких концентрациях фосфора, очевидно, обусловлено снижением концентрации вакансий кислорода.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта фундаментальных и поисковых научных исследований, выполняемых в рамках соглашения о сотрудничестве УрФУ и УрО РАН.

Список литературы

1. *Animitsa I., Neiman A., Kochetova N., Melekh B., Sharafutdinov A.* Proton and oxygen-ion conductivity of $Ba_4Ca_2Nb_2O_{11}$ // Solid State Ionics. – 2003. – V. 162-163. – P. 63-71.
2. *Кочетова Н.А, Анимица И.Е., Нейман А.Я.* Синтез и свойства твердых растворов на основе $Ba_4Ca_2Nb_2O_{11}$ // Журн. физ. химии. – 2009. – Т.83, №2. – С. 203–208.
3. *Shin J.F., Joubel K., Apperley D.C. and Slater P.R.* Synthesis and characterization of proton conducting oxyanion doped $Ba_2Sc_2O_5$ // Dalton Transactions. – 2012. – V.41. – P. 261-266.
4. *Shin J.F., Hussey L., Orera A., Slater P.R.* Enhancement of the conductivity of $Ba_2In_2O_5$ through phosphate doping // Chemistry Communication. Birmingham. – 2010. – V. 46. – P. 4613.

02.00.04

В.В. Шмидт, И.Г. Жихарева, А.А. Ракашов

Тюменский государственный нефтегазовый университет,
shmidt_vadim@mail.ru

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ФАЗОВОГО СОСТАВА И КОНЦЕНТРАЦИОННЫХ ГРАНИЦ СУЩЕСТВОВАНИЯ ФАЗ ДЛЯ ТРОЙНЫХ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИХ СПЛАВОВ ZN-NI-CO

На основании четырех критериев фазообразования, предложенных для гальванопокрытий, теоретически рассчитан фазовый состав, соотношение ионов металлов в электролите осаждения и определены границы существования интерметаллидов: γ-фаза (Ni_5Zn_{21}) и γ'-фаза ($NiZn_3$) в тройном сплаве Zn-Ni-Co.

Ключевые слова: *электролитические сплавы, интерметаллиды, прогнозирование фазового состава.*

Важнейшим параметром структуры, определяющим основные функциональные свойства, является фазовый состав, причём наилучшими эксплуатационными свойствами обладают сплавы с общей кристаллической решеткой: твердые растворы и интерметаллиды.

Для управления фазовым составом тройных сплавов необходимо иметь надежные критерии фазообразования.

За исключением некоторых работ [1, 2], критерии фазообразования, определяющие появление общей кристаллической решетки (твердых растворов и интерметаллидов), отсутствуют.

Для оценки условий образования бинарных смешанных кристаллов используются два фактора: размеры атомов (Юм-Розери [3], Мотт [4] и электронная структура Горди [5]).

Для расчета фазового состава тройных сплавов в работе [6] предложены четыре критерия фазообразования [1]:

1) энтропийный фактор n_s, характеризующий степень различия химической связи:

$$n_s = \frac{\Delta S^T_{Me,1}}{\Delta S^T_{cn}},$$

где $\Delta S^T_{Me,1} = (\Delta S^Г_{Me,1} - \Delta S^K_{Me,1}) - 0{,}005R(T - 298)$

Для сплава используется аналогичное уравнение, но вводится поправка на энтропию смешения:

$$S^г_{сп}=S^г_1x_1+S^г_2x_2+S^г_3x_3-R[x_1\ln x_1+x_2\ln x_2+x_3\ln x_3]$$
$$S^к_{сп}=S^k_1y_1+S^k_2y_2+S^k_3y_3-R\,[y_1\ln y_1+y_2\ln y_2+ y_3\ln y_3]$$

где, $S^г_{сп}$, $S^к_{сп}$ – энтропия металла-растворителя;

x_i, y_i – мольные доли компонента в газовой и в кристаллической фазах.

2) размерный фактор (n_v), характеризующий величину возникающих искажений кристаллической решетки компонентов:

$$n_v=[(d_1/d_{сп})^3 - 1] + [(V_1/V_{сп}) - 1],$$

где $d_{сп}$ и $V_{сп}$ – усредненный диаметр и объем атома сплава;

3) энергетический фактор (n_e), характеризующий возможность перераспределения электронов внешних оболочек и изменение конфигурации электронных оболочек:

$$n_e=0{,}75(U_1-U_{сп})\cdot(1-n_v)\ ,$$

где U_1, $U_{сп}$ – безразмерный первый относительный потенциал ионизации металла-растворителя и сплава;

4) полный объемный фактор (n_o):

$$n_o = n_d + n_e$$

Критерий n_s позволяет количественно, а критерии n_v, n_e, n_o – качественно судить о наличии фаз твердых растворов, но не позволяют прогнозировать появление электронных соединений и судить о границах их существования.

Целью данной работы является прогнозирование фазового состава электрохимического сплава Zn-Ni-Co с учетом соотношения ионов металлов в растворе электролита и определение концентрационных границ существования интерметаллида Ni_5Zn_{21} (γ-фаза).

Все особые физические свойства металлов и сплавов связаны с присутствием электронной проводимости.

Большое внимание уделяется наличию электронных соединений, которые обеспечивают повышенные полупроводниковые, магнитные и др. свойства.

В случае сплавов Zn-Ni и Zn-Ni-Co эти соединения играют решающую роль в повышении антикоррозионных свойств.

Поскольку фаза Ni_5Zn_{21} образуется в очень узкой области содержания Zn в сплаве, важно уметь прогнозировать условия образования этой фазы (γ-фаза).

Расчет γ-фазы в сплаве Zn-Ni был проведён И.Г. Жихаревой и М.А. Шестаковым [7].

При прогнозировании возможности образования этой фазы в тройном сплаве Zn-Ni-Co воспользовались критериями фазообразования, приведенными в работе [1], но вместо объемного фактора нами предлагается уточненный размерный критерий фазообразования n_d:

$$n_d=[(d_1/d_{cn})^3 - 1+y_1\ln(y_1)+y_2\ln(y_2)+y_3\ln(y_3)]+[(V_1/V_{сп}) -1] \qquad (1)$$

и полный (общий) фактор n_o согласно уравнения:

$$n_o=[(d_1/d_{cn})^3 -1+y_1\ln(y_1)+y_2\ln(y_2)+y_3\ln(y_3)]+[(V_1/V_{сп})-1]+0{,}75(U_1-U_{cn})\cdot(1-n_v) \qquad (2)$$

Полный фактор состоит из трех составляющих: два относятся к различию геометрических размеров (d_1/d_{cn}) и плотности вещества и третье слагаемое (n_e) характеризует искажения электронных оболочек.

Ранее было показано [8], что при расчете фазового состава необходимо учитывать соотношение ионов металлов в растворе электролита.

Для этого сначала был спрогнозирован состав электролита (соотношение ионов металлов), при котором ожидается максимальная протяженность границ γ-фазы.

Самая широкая область существования γ-фазы ожидается при соотношении Zn:Ni:Co = 0,6:0,3:0,1.

Результаты расчета, проведенные для этого соотношения по четырем критериям фазообразования (табл. 1), подтверждают возможность образования γ-фазы в сплаве Zn-Ni-Co.

Таблица 1

Расчет фазового состава Zn-Ni-Co по критериям фазообразования

№	Молярная доля компонентов в сплаве			Критерии фазообразования				Прогнозируемая фаза
	y_1	y_2	y_3	n_s	n_d	n_e	n_o	
	Zn	Ni	Co					
1	0,550	0,280	0,170	0,8737	-0,7583	0,9903	0,2320	β-фаза+ α-Co (β-Co)*
2	0,600	0,230	0,170	0,8754	-0,7461	0,8684	0,1224	γ'** +α-Co (β-Co)
3	0,700	0,210	0,090	0,8747	-0,6465	0,6249	-0,0216	γ'+α-Co (β-Co)
4	**0,790**	0,190	0,020	**0,8697**	-0,4772	0,4034	-0,0737	**γ**>> α-Co (β-Co)
5	**0,800**	0,180	0,020	**0,8697**	-0,4678	0,3815	-0,0862	**γ**>> α-Co (β-Co)
6	**0,810**	0,170	0,020	**0,8696**	-0,4576	0,3597	-0,0979	**γ**>> α-Co (β-Co)
7	**0,820**	0,160	0,020	**0,8695**	-0,4468	0,3380	-0,1088	**γ**>> α-Co (β-Co)

*О наличии той или иной фазы Co в теоретических расчетах можно судить только при сравнении величин работ зародышеобразования A^{α} и A^{β}[10]

**Фаза γ' – интерметаллид $NiZn_3$

8	**0,830**	0,147	0,023	0,8697	-0,4410	0,3169	-0,1241	**γ>>** α-Co (β-Co)
9	0,840	0,145	0,015	0,8686	-0,4120	0,2939	-0,1181	γ>α-Co (β-Co)
10	0,850	0,130	0,020	0,8689	-0,4094	0,2736	-0,1358	γ>α-Co (β-Co)
11	0,860	0,120	0,020	0,8686	-0,3952	0,2524	-0,1427	γ+α-Co (β-Co)
12	0,870	0,110	0,020	0,8683	-0,3800	0,2315	-0,1485	γ+α-Co (β-Co)
13	0,880	0,100	0,020	0,8679	-0,3637	0,2108	-0,1529	γ+α-Co (β-Co)
14	0,890	0,090	0,020	0,8674	-0,3464	0,1904	-0,1560	γ+α-Co (β-Co)
15	0,900	0,080	0,020	0,8669	-0,3277	0,1703	-0,1575	γ+α-Co (β-Co)
16	0,910	0,070	0,020	0,8663	-0,3077	0,1505	-0,1572	γ+α-Co (β-Co)
17	0,920	0,060	0,020	0,8656	-0,2861	0,1311	-0,1551	γ+α-Co (β-Co)
18	0,930	0,050	0,020	0,8648	-0,2628	0,1120	-0,1507	η-Zn+α-Co (β-Co)

О возможности существования интерметаллида свидетельствует постоянство энтропийного фактора (n_s = const = 0,8697) (табл.1).

Последний фактор позволяет оценить границы преимущественного существования γ-фазы со стороны цинка ($Zn_{0.79-0.83}$), что значительно уже, чем для бинарных сплавов ($Zn_{0.76-0.86}$) [9].

Сопоставление области гомогенности интерметаллида Ni_5Zn_{21}, полученной на основании расчетных данных (рис. 1) по n_s (а) и по уточненным факторам n_d (б) и n_o (в), позволило определить (а) и уточнить (б, в) границы области существования γ-фазы (рис.1), и сделать вывод, что большее влияние на фазовый состав оказывает величина искажений кристаллической решетки компонентов, по сравнению с различием химической связи.

а) б) в)

Рис. 1. Расчетная зависимость энтропийного (а), размерного (б) и общего (полного) (в) фактора от мольной доли цинка в сплаве Zn-Ni-Co

Следует отметить, что границы области гомогенности γ-фазы по всем критериям очень близки друг к другу со стороны цинка. Отклонения между ними составляет всего 1,2%, соответственно: по n_s $Zn_{(0,79-0,82)}$, а по n_d и n_o $Zn_{(0,79-0,83)}$, что существенно ниже, чем для бинарного сплава.

Энергетический фактор позволил определить лишь нижнюю границу содержания Zn в сплаве Zn-Ni-Co.

Таким образом, можно сказать, что большую роль в появлении той или иной фазы играют структурные и энергетические факторы, по сравнению с относительным различием химической связи.

Для проверки справедливости полученных теоретических результатов фаз состава сплава Zn-Ni-Co была проведена экспериментальная проверка.

Рентгенофазовый анализ (РФА) проводили на дифрактометрах ДРОН-6 (Co-Kα–излучение, Fe-фильтр). Параметры элементарных ячеек кубических решеток определяли с точностью ± (0,0001 – 0,0002) нм, а для гексагональных сингоний с точностью ± 0,002 нм при помощи комплекса PDWin 4.0 [11 –13].

Для определения химического состава сплавов использовался фотоэлектроколориметрический метод. Погрешность измерений 5 – 10%.

Химический состав и элементный состав подповерхностных слоёв оценивали с помощью растрового электронного микроскопа JEOL JSM–6510LV с рентгеноспектральным

анализатором. Погрешность измерения в определении содержания элементов ± 0,2 вес. % [14].

Согласно проведенному ранее расчету фазового состава тройного сплава, следовало ожидать существование γ-фазы при содержании цинка в осадке 79 – 83 вес. % (табл. 1).

О существовании промежуточных соединений экспериментально судили на основании карт базы данных PCPDFWIN2007.

Экспериментально определенный фазовый состав согласуется с расчетными данными, погрешность в определении границ существования γ-фазы сплава Zn-Ni-Co находилась в пределах ±2%, относительная погрешность отклонения экспериментальных критериев фазообразования от теоретических составила в среднем не более ±8%, причем относительная погрешность в определении γ-фазы для сплавов в присутствии добавок находилась в пределах 1,27 – 7,7% (табл. 2).

Таблица 2

Сравнительные данные по фазовому составу сплава Zn-Ni-Co

№	Добавка	Химический состав сплава, %			Фазовый состав		Отклонение эксп. критериев фазообразования от теор. границ γ-фазы		Содержание цинка в $\gamma^{э}$-фазе/$\gamma^{т}$-фазе, %*
		Zn	Ni	Co	Расчет.	Эксп.	Отн. погреш-ность, %	Точность измерения, %	
1	п-АСК*	75	17	8	γ+α-Co	γ>>α-Co	±5,06	98,193	81,5/83
2	п-АСК	78	18	4	γ+α-Co	γ>>α-Co	±1,27	97,892	81,25/83
3	п-АСК	77	14	9	γ+α-Co	γ>>α-Co	±2,53	97,468	84,62/83
4	о-АСК	74	21	5	γ+α-Co+β-Co	γ>>α-Co+β-Co	±6,33	98,595	77,89/79
5	о-АСК	73,7	19,3	7	γ+α-Co+β-Co	γ>>α-Co+β-Co	±7,72	100,316	79,25/79
* АСК – аминосульфокислота									

Сопоставление экспериментально определенных фаз в сплаве Zn-Ni-Co с расчетными показало высокую степень достоверности прогнозируемого фазового состава.

Таким образом, расчетные фазы совпали во всех случаях с экспериментальными.

Выводы:

1. Теоретически рассчитан фазовый состав тройных сплавов Zn-Ni-Co на основании четырех критериев фазообразования.

Предложены усовершенствованные размерный и полный критерий фазообразования (n_d и n_o), позволившие уточнить границы преимущественного существования интерметаллида Ni_5Zn_{21} и описать область протяженности твердых растворов в сплаве Zn-Ni-Co.

2. Показано, что для экспериментально полученных сплавов Zn-Ni-Co относительная погрешность в определении фазового состава по сравнению с прогнозируемым не превышает 5-7%. Точность определения области химического содержания цинка в γ-фазе составляет не менее 98%.

*$\gamma^{э}$, $\gamma^{т}$ – экспериментально и теоретически определенная γ-фаза

Список литературы

1. *Шмидт В.В., Жихарева И.Г.* Прогнозирование структуры и свойств тройных электролитических сплавов. LAMBERT Academic Publishing, 2012. 226 с.
2. *Жихарева И.Г., Шмидт В.В.* Прогнозирование макроструктуры тройного электроосажденного сплава Ni-Fe-Cr // Изв. вузов. Химия и химич. технол. 2003. Т.46. №3. С. 100 – 103.
3. *Юм-Розери В.* Расчет диаграмм состояния // Успехи физич. наук. 1966. Т.88. №1. С. 125-128.
4. *Воздвиженский В.М.* В кн.: Общие закономерности в строении диаграмм состояния металлических систем. М.: Наука. 1973. С. 103-109.
5. *Gordy W., Thomas W.* The Nature of Chemical Bond // J. Chem. Phys. 1956. V.124. P. 439 – 443.
6. *Шмидт В.В.* Применение моделирования при прогнозировании структуры и физико-механических свойств тройных электроосажденных сплавов Ni-Fe-Cr, Ni-Co-Cr и Fe-Ni-Co.Дис. … к.х.н. Тюмень: Тюменский гос. нефтегазовый университет. 2005. 170 с.
7. *Жихарева И.Г., Шестаков М.А., Щипанов В.П.* Прогнозирование условий образования интерметаллида Ni_5Zn_{21} // Изв. вузов. Химия и хим. технология. 2006. Т. 49. Вып. 12. С. 62 – 66.
8. *Жихарев А.И., Жихарева И.Г.* Ориентированная электрокристаллизация. Тюмень: ТГНГУ. 1994. 290 с.
9. *Жихарева И.Г., Шмидт В.В.* Критерии фазообразования тройных электроосажденных сплавов Ni-Co-Zn // Сб. Менделеевские чтения. Тюмень. 2005. С. 145 – 146.
10. *Жихарева И.Г., Жихарев А.И.* К вопросу формирования структуры электролитического кобальта // Электрохимия. 1994. Т. 30. Вып. 8. С. 977 – 981.
11. Американская картотека PDF-2 (Powder Diffraction Files).
12. Программа «Уточнение методом Ритвельда» // Программный комплекс PDWin–4.0. НПО «Буревестник». СПб. 2007. 152 с.
13. *Кларк Э.Р., Эберхардт К.Н.* Микроскопические методы исследования материалов: пер. с англ. / РАН, Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова. М.: Техносфера. 2007. 376 с.
14. *Криштал М.М.* Сканирующая электронная микроскопия и рентгеноспектральный микроанализ в примерах практического применения. М.: Техносфера. 2009. 208 с.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

05.22.10

В.В. Аникеев, В.Д. Ильиных

Тюменский государственный нефтегазовый университет,
кафедра сервиса автомобилей и технологических машин,
г. Тюмень, satm_tsogu@mail.ru

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА НА РЕСУРС ДВИГАТЕЛЕЙ АВТОМОБИЛЯ КАМАЗ-4310

В статье рассматривается проблема влияние среднегодовой температуры воздуха на интенсивность расходования ресурса автомобильных двигателей. Проанализированы подходы к решению этой задачи. Предложена методика корректирования нормативов ресурса двигателей.

Ключевые слова: *формирование ресурса, цилиндро-поршневая группа (ЦПГ), температура воздуха, климатические условия.*

Быстрое наращивание парка автомобилей и весьма значительные объемы автомобильных перевозок грузов и пассажиров характеризуют период массовой автомобилизации страны. Значительную долю и себестоимости перевозок составляют затраты на их техническое обслуживание и ремонт, среди которых до 40 % приходится на двигатель.

Работа двигателя на чрезмерно низком или высоком температурном режимах по воде и маслу снижает надежность двигатели и увеличивает изнашивание его деталей. При пониженном тепловом режиме износ деталей цилиндро-поршневой группы увеличивается в результате ухудшения их смазки (из-за недостаточной подачи масла повышенной вязкости, смывании его топливом и наличия воды в масле) и появления процессов электрохимической коррозии от сконденсировавшихся агрессивных продуктов сгорания топлива в цилиндре.

Были проведены исследования и установлены закономерности влияния температуры на интенсивность изнашивания отдельных элементов, а также на динамику расходования ресурса двигателя в целом.

Влияние среднегодовой температуры воздуха на интенсивность расходования ресурса автомобильных двигателей описывается квадратичной моделью. Эта модель лежит в основе методики корректирования нормативов в зависимости от климатических условий. [6]

При разработке модели были приняты два ограничения:

- закон распределения температуры воздуха - нормальный;
- интенсивность эксплуатации автомобилей постоянна.

Однако на практике часто эти условия не соблюдаются. Отклонения расчетных значений от фактических тем больше, чем выше вариация интенсивности и условий эксплуатации в течение года.

Для устранения указанного недостатка была использована установленная закономерность формирования ресурса двигателей автомобилей с учетом сезонной вариации интенсивности и условий эксплуатации. Это позволило процесс формирования ресурса рассмотреть в свете концепции формирования качества автомобилей, разработанной в Тюменском государственном нефтегазовом университете (ТюмГНГУ). Такой подход дал возможность разработать математическую модель. [3,7]

К важнейшим элементам двигателя, лимитирующим его ресурс, относится цилиндро-поршевая группа. Для оценки её состояния использовали ряд показателей. Наиболее информативным из них, на наш взгляд, является расход картерных газов. Для оценки его влияния были проведены экспериментальные исследования. Расход картерных газов

измерялся индикатором модели КИ 13671-ГОСНИТИ. Интенсивность изменения технического состояния оценивалась как разница между двумя последовательными измерениями, отнесенная к пробегу автомобиля за период между ними.

Анализ данных показывает, что закономерность влияния наработки на интенсивность изменения расхода картерных газов по наработке описывается моделью

$$q = 0{,}16 \cdot e^{0{,}0042 \cdot L}$$

Для проверки гипотезы о виде математической модели влияния температуры воздуха на интенсивность изменения расхода картерных газов и определения численного значения ее параметров измерялся расход картерных газов при различных температурах воздуха (рисунок 4). [4]

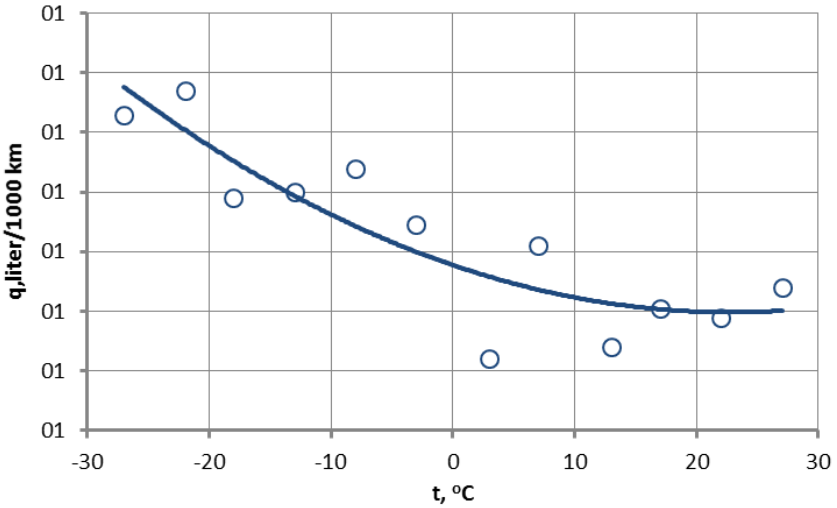


Рис. 4. Зависимость интенсивности изменения расхода картерных газов двигателями автомобилей КамАЗ-4310 от температуры воздуха.

Полученные данные обрабатывались на компьютере с использованием программы «REGRESS 2.5» Результаты статистической обработки данных позволили получить уравнение:

$$q = 0{,}69 + 0{,}00014 \cdot (t - 23{,}9)^2$$

Анализ результатов имитационного эксперимента показал, что различие расчетных и фактических средних ресурсов двигателей не превышает 10 % и в среднем составляет 7,3%, что свидетельствует о достаточной адекватности модели, которая может использоваться для прогнозной инженерной оценки работы двигателя. Фрагмент результатов моделирования представлен на рисунке 5.

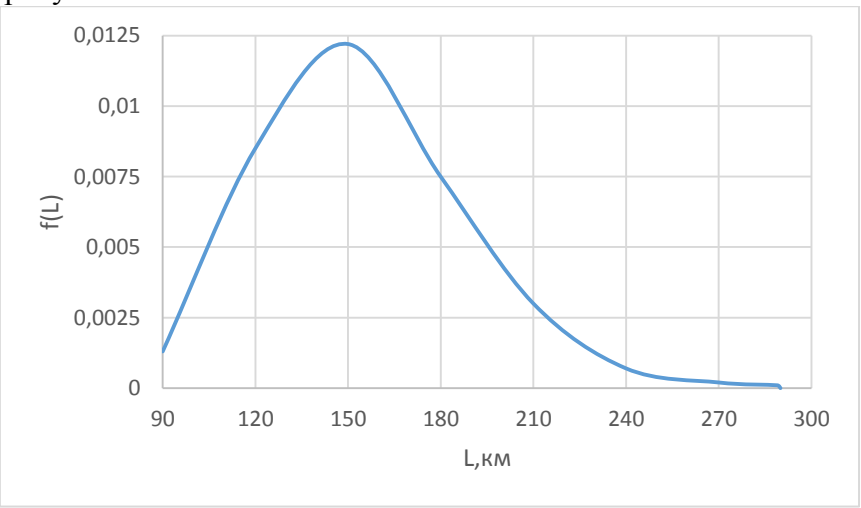


Рис.5. Результат моделирования. Распределение реализаций наработок двигателя до предельного состояния.

Для оценки степени влияния доли пробега автомобиля в зимний период на ресурс двигателей проведен имитационный эксперимент для 34-х вариантов изменения интенсивности эксплуатации по времени, характеризуемых различными значениями Δw (в пределах от 0,0 до 1,0) (рисунок 6).

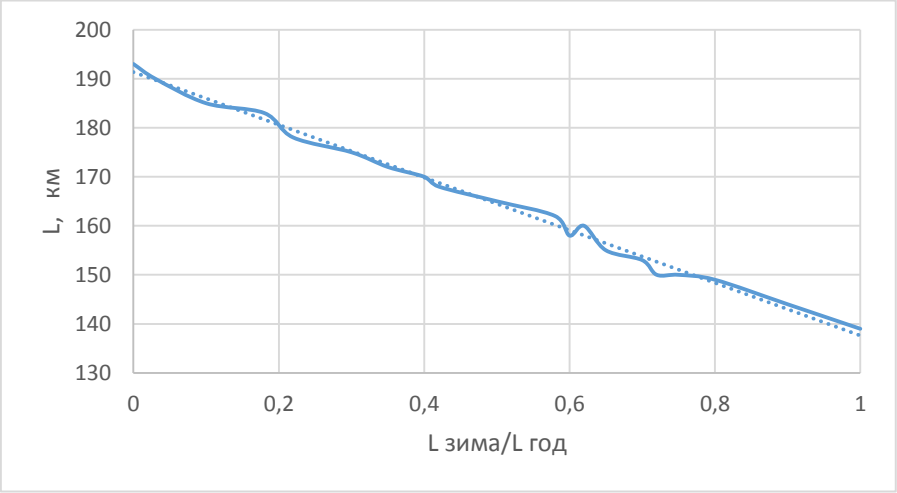


Рис.6. Влияние доли пробега автомобиля в зимний период на ресурс двигателей

Таким образом, результаты проведенных экспериментальных исследований дали возможность сделать следующий вывод:

закономерность формирования ресурса двигателей автомобилей с учетом сезонной вариации интенсивности и условий эксплуатации, подтверждают гипотезы о виде математических моделей с учетом влияния температуры воздуха на расход картерных газов двигателей автомобилей.

Список литературы

1. ГОСТ Р 27.002-2009. Надежность в технике. Термины и определения. – М.: Изд-во стандартов, 2011.

2. Захаров, Н.С. Влияние сезонной вариации факторов на интенсивность расходования ресурсов при эксплуатации транспортно-технологических машин [Текст] / Н.С. Захаров, Г.В. Абакумов, А.В. Вознесенский, Л.В. Бачинин, А.Н. Ракитин // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2006. – № 1. – С. 75-79.

3. Захаров, Н.С. Оценка надежности автомобилей с учетом вариации фактической периодичности технического обслуживания [Текст] / Н.С. Захаров, В.Г. Логачев, А.Н. Макарова // Известия Тульского государственного университета. Серия: Математика. Механика. Информатика. – 2012. – № 12-2. – С. 186–191.

4. Захаров Н.С. Программа «REGRESS». Руководство пользователя. – Тюмень: ТюмГНГУ, 1999. – 40 с.

5. Захаров Н.С., Ракитин А.Н. Влияние сезонных условий на параметр потока отказов автомобилей КамАЗ // Эксплуатация технологического транспорта и специальной автомобильной и тракторной техники в отраслях топливно-энергетического комплекса: Межвуз. сб. науч. тр. – Тюмень: ТюмГНГУ, 1998. – С. 63-66.5. ИСО 8402. Управление качеством и обеспечение качества. – М.: Изд-во стандартов, 1994.

6. Положение о техническом обслуживании и ремонте подвижного состава автомобильного транспорта. Часть вторая (нормативная). Автомобили семейства КамАЗ. – М.: Транспорт, 1987. – 93 с.

7. Техническая эксплуатация автомобилей / Е.С. Кузнецов, А.П. Болдин, В.М. Власов и др. – М.: Наука, 2001. – 535 с.

05.09.03

А.Ф. Анчугова, Р.М. Галиев, Н.С. Галимов, Р.Т. Насибуллин, И.М. Нуриев, А.Н. Сущикова

Набережночелнинский институт КФУ, кафедра «Электроэнергетика и электротехника», Набережные Челны, nasibullin.ramil@mail.ru

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ГЕНЕРАТОРОВ В ПЕРСПЕКТИВНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ ВЕТРОЭНЕРГОУСТАНОВОК

Представлены условия повышения энергоотдачи ветрогенераторов и способы использования автомобильных генераторов в конструкциях ветроэнергоустановок. Показаны пути повышения эффективности использования ветроэнергоустановок.

Ключевые слова: *ветроэнергоустановка, автомобильный генератор, модульный ветрогенератор.*

Из-за удаленности объектов народного хозяйства и плохих транспортных связей затраты на топливо возрастают на 50-80%, в труднодоступных районах до 200% и более. Строительство только одного километра линии электропередачи стоит ориентировочно 15-25 тыс. долларов. Внедрение ветроэнергоустановок (ВЭУ) может вытеснить до 30-50%, а в наиболее ветренных районах до 60-70% дефицитного органического топлива. Однако, проектируемые ВЭУ пока неконкурентоспособны с традиционными невозобновляемыми источниками энергии применяемых в народном хозяйстве. Недостаточно исследованы также теоретические и практические аспекты преобразования механической энергии ветрогенераторами в электрическую, как в автономном режиме работы, так и совместно с энергетической сетью большой мощности. Поэтому разработка более эффективных, безопасных и простых по конструкции ВЭУ с простой и надежной системой управления является актуальной задачей.

Энергия ветра может быть преобразована в поступательное, вращательное или колебательные механические движения. Полученная механическая энергия может быть использована для преобразования в электрическую, непосредственно в тепловую или накопления газов (воздуха) и жидкостей (воды).

Среди способов преобразований энергии ветра наиболее привлекательным является преобразование в электрическую энергию ветрогенераторами различного типа. Условия работы ВЭУ можно разделить на два варианта: работа ВЭУ изолированно от энергосистемы (автономный вариант) и работа ВЭУ совместно с энергоситемой.

В настоящее время при автономном варианте работы ВЭУ применяются три основные схемы.

1. Генератор постоянного тока – зарядное устройство – аккумуляторная батарея.
2. Генератор переменного или постоянного тока.
3. Генератор переменного тока – выпрямитель – буферный накопитель – инвертор.

В первом варианте в качестве потребителей могут быть преимущественно двигатели постоянного тока, различные нагреватели, осветительные устройства. Второй вариант применяется только для получения тепла и его последующего аккумулирования. При третьем варианте возможно получение электроэнергии с промышленными характеристиками.

Все эти схемы не нуждаются в поддержании постоянной скорости вращения ротора. Использование этих трех схем наиболее перспективны в районах, располагающих повышенным потенциалом ветровой энергии и испытывающих недостаток в традиционных топливных ресурсах.

Одной из проблем, возникающих при проектировании ветрогенераторов, является выбор электрогенератора. Ветроколесо в основном относится к тихоходным устройствам, а электрогенераторы, как правило, относятся к быстроходным. Для согласования тихоходного

ветроколеса и быстроходного электрогенератора обычно используют мультипликаторы. Мультипликаторы приводят к уменьшению коэффициента полезного действия ВЭУ. При отказе от мультипликатора ветрогенератор необходимо укомплектовать тихоходным электрогенератором. Тихоходные электрогенераторы, как правило, бывают многополюсными. Это в свою очередь приводит к увеличению габаритных размеров и массы, и как следствие – к повышению стоимости генератора.

Сравнивая условия работы электрогенераторов в ВЭУ и в автомобилях, можно увидеть много сходного: широкий диапазон частоты вращения, возникновение кратковременных перегрузок (порывы ветра – разгон двигателя автомобиля; затишье ветра – переход двигателя в режим холостого хода), изменение температуры окружающей среды, часто при высокой относительной влажности и т.д. Однако, есть и отличия, в частности, средняя скорость вращения вала генератора ВЭУ гораздо меньше средней скорости вращения вала генератора на автомобиле, соответственно и получаемая мощность.

Тем не менее, учитывая, что автомобильные генераторы, выпускаемые серийно и большими партиями, недороги, применение их для комплектации ВЭУ повышает надежность, большой срок службы и снижение стоимости ВЭУ.

Для решения вопроса о возможности использования автомобильных генераторов в ВЭУ малых мощностей, исследованы нагрузочные и регулировочные характеристики генераторов в широком диапазоне скоростей вращения вала и меняющейся нагрузке, то есть, применительно к условиям работы ВЭУ. Получены зависимости ЭДС развиваемый генератором от тока возбуждения для разных скоростей вращения вала генератора.

Наиболее рациональным сочетанием при использовании автомобильных генераторов в ВЭУ является использование следующей схемы: ветроколесо – автомобильный генератор – аккумуляторная батарея – инвертор – нагрузка (рис. 1).

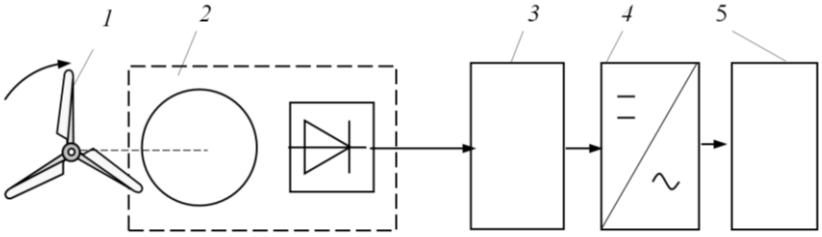


Рис. 1 – Структурная схема ВЭУ с автомобильным генератором
1 - ветроколесо; 2 - автомобильный генератор; 3 - аккумуляторная батарея;
4 - инвертор; 5 - нагрузка

Аккумуляторные батареи и автомобильные генераторы выпускаются в основном на напряжения 12 В и 24 В. Следует учесть, что при уменьшении частоты вращения вала генератора для получения напряжения для зарядки аккумуляторной батареи на 12 В или 24 В, ток возбуждения приходится увеличить. При этом требуемая мощность возбуждения становится сравнимой с полезной выходной мощностью и использование автомобильных генераторов в ВЭУ становится нерациональным.

Для выхода из этой ситуации предлагаются следующие решения:

1. Применение многоступенчатого мультипликатора.

2. Применение генератора на напряжение 24 В для зарядки аккумуляторной батареи на 12 В. Для этого ротор генератора на 24 В необходимо заменить на ротор генератора на 12 В. Статорная обмотка полученного генератора будет на 24 В, а обмотка возбуждения на 12 В. Такая компоновка генератора позволяет получить достаточный ток возбуждения при напряжении 12 В, так как сопротивление обмотки возбуждения генератора на 12 В меньше сопротивления обмотки возбуждения генератора на 24 В.

3. Установка двух генераторов, которые приводятся во вращение от одного выходного вала мультипликатора, а выходные клеммы соединены последовательно (рис. 2). При этом даже при выходном напряжении каждого из них по 7 В можно заряжать аккумуляторную батарею на 12 В.

4. При установлении двух генераторов как в пункте 3 с использованием сочетании статора и ротора по пункту 2, могут заряжать аккумуляторную батарею на 24 В одновременно.

Рис. 2 – Конструкция ВЭУ с двумя электрогенераторами

Анализируя результаты экспериментальных исследований можно сделать следующие выводы: автомобильные генераторы вполне могут быть использованы для проектирования ВЭУ малой мощности, при условии поддержания скоростей вращения вала генератора не менее 2000 об/мин, но и не более 7000 об/мин из условий механической прочности. [1].

Другой немаловажной задачей проектирования ВЭУ является увеличение потребностей в вырабатываемой мощности. Возможность потребления большой электрической мощности зависит от инвертора, преобразующего напряжение аккумуляторной батареи в переменное напряжение 220 В частотой 50 Гц. С повышением выходной мощности входная мощность также должна возрастать. По этой причине приходится применять электрогенераторы с более высоким выходным напряжением.

Повышение мощности для разных видов ВЭУ производится по-разному.

Для ВЭУ с горизонтальной осью ветроколеса:

1. Удлинение длины лопастей.
2. Применение различных концентраторов воздушного потока.
3. Подбор местности с бóльшим ветроэнергопотенциалом.

Для ВЭУ с вертикальной осью ветроколеса:

1. Применение модульного принципа сборки роторов ветрогенераторов (рис. 3).
2. Входное параллельное соединение роторов и последовательное соединение выходов электрогенераторов. [2]

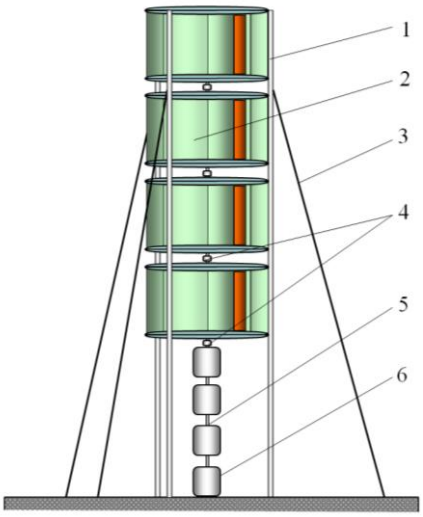


Рис. 3 – Модульная конструкция ВЭУ

1 - стойка, 2 - модуль, 3 - растяжка, 4 - муфты, 5 - вал привода генераторов, 6 - генераторы

Ещё одной проблемой проектирования ВЭУ является использование специальной мачты, на которой крепится ветрогенератор. Разработка конструкции специальной мачты увеличивает затраты на создание ветрогенератора, усложняет его конструкцию. Установка ветрогенератора требует выделения специальных площадей, что, естественно, наносит вред экологии.

Возможным решением данной проблемы является разработка конструкции ветрогенератора, который возможно установить на высотном инженерном сооружении без необходимости разработки специальной мачты. Реализация данного решения дает следующие положительные результаты: уменьшение затрат на разработку конструкции; уменьшение затрат на изготовление, уменьшение вредного воздействия на окружающую среду.

Подобная конструкция ветрогенератора содержит ветроколесо с вертикальной осью. В отличие от классических конструкций, такой ветрогенератор использует цилиндрические направляющие расположенные вокруг высотного сооружения, по которым вращаются лопасти ветроколеса [3]. Ветроколесо окаймлено по внешней окружности двумя кольцами, одно сверху, другое – снизу, между которыми установлены вертикальные направляющие воздушного потока. В нижней части ветроколеса предусмотрено зубчатое звено передачи, посредством которого вращение передается на электрогенератор. Чтобы не создавать избыточные нагрузки на конструкцию электрогенератор закрепляется вблизи центра высотного сооружения. При этом вертикальные направляющие воздушного потока подвижны в своих осях и имеют тяги дистанционного автоматического управления поворотом вокруг своих осей для регулирования направлением воздушного потока.

Недостатком разрабатанной конструкции является усложнение способа крепления ветрогенератора на несущую конструкцию, в качестве которой используется высотное инженерное сооружение.

Список литературы

1. *Ильясов Р.Ш., Сущикова А Н.* Оптимизация систем управления ВЭС // Проектирование и исследование технических систем: Набережные Челны. №11. 2007.-С. 28-32.

2. *Галимов Н.С., Иванов В.А., Фатыхов К.З.* Автоматическое управление включением обмотки возбуждения генератора переменного тока ветродвигателя // Научно-технический вестник Поволжья: Казань. №2 2014.-С. 124-126.

3. *Ахметшин Р.С., Насибуллин Р.Т., Галиев Р.М.* Ветрогенератор для высотных сооружений // Международная научно-практическая конференция «Информационные технологии. Автоматизация. Актуализация и решение проблем подготовки высококвалифицированных кадров (ИТАП-2014)», сборник трудов – Наб. Челны: Изд-во Набережночелнинского института КФУ, 2014. – с. 59-62

05.13.19

М.К. Бойдало, Г.П. Жигулин

Университет Информационных Технологий Механики и Оптики,
кафедра Мониторинга и Прогнозирования Информационных Угроз,
Санкт-Петербург, MikhailBojdalo@yandex.ru, ikvo@grv.ifmo.ru.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ПРОВЕРКА МЕТОДА И МОДЕЛИ ОЦЕНКИ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО СООТВЕТСТВИЯ ПЕРСОНАЛА В ВОПРОСАХ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

В статье описывается практический эксперимент, проведенный для проверки модели оценки профессионального соответствия персонала в вопросах обеспечения информационной безопасности. Рассматриваются результаты эксперимента и возможность применения метода и модели для решения практических вопросов.

Ключевые слова: *информационная безопасность, математическое моделирование, персонал, инсайдер, организационная приверженность.*

Введение

Для ранее предложенной модели оценки описанной в опубликованной ранее статье [1] было проведено исследование в одной из крупных российских компаний. К сожалению, из-за политики внутренней безопасности, проверка модели оценки специфических факторов учитывающих информационный обмен оказалась невозможной. Поэтому в исследовании рассматривались две других группы факторов: объективные и субъективные.

Всего в опросе приняли участие пятьдесят человек (в том числе 30 мужчин и 20 женщин), среди них присутствовали рабочие, инженеры и руководящий состав до начальников отделов.

Среди участников были следующие возрастные группы:

младше 30 лет — 15 человек;

от 30 до 45 лет — 10 человек;

старше 45 лет — 25 человек.

Девятнадцать человек имели среднее или среднее специальное образование, тридцать один — высшее. Сотрудники имеющие неоконченное высшее образование, то есть совмещающие работу с обучением в ВУЗе также были отнесены ко второй категории.

Оценка субъективных факторов

Оценка субъективных факторов производилась с использованием шкалы организационной приверженности Мейер-Аллен в переводе В.И. Доминяка, адаптированной с учетом работы И.А. Германова и Е.Б. Плотниковой. Для оценки модели был рассчитан коэффициент альфы Кронбаха, как для отдельных шкал, так и для модели в целом.

Таблица 1. Согласованность теста

Шкала	Альфа Кронбаха
Аффективная	0.790
Нормативная	0.820
Продолженная	0.655
Суммарная	0.896

Уровень согласованности шкалы продолженной приверженности несколько ниже желаемого уровня в 0.7, что может быть следствием ограниченного числа респондентов. В тоже время шкалы аффективной и нормативной приверженности показывают хороший уровень внутренней согласованности. Значение альфы Кронбаха общей шкалы имеет

высокий уровень в 0.9. На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что применяемый метод оценки субъективных факторов достаточно надежен для дальнейшего использования.

Оценка объективных факторов.

Оценка составлялась на основе следующих восьми факторов:

- Относительная заработная платы, по организации;
- Относительная заработная плата, по отрасли;
- Относительный вклад сотрудника в деятельность организации;
- Рейтинг поощрений и взысканий;
- Относительный рейтинг поощрений и взысканий;
- Фактор изменения должности;
- Стаж сотрудника в организации;
- Средний стаж сотрудника по всем местам работы;

На основании собранных данных, в соответствии с методикой, были построены оценки приверженности сотрудников. Построенная модель была рассмотрена с двумя вариантами весовых коэффициентов:

Базовый вариант — все параметры факторы рассматриваются как равнозначные, и нормируются умножением на 0.125.

Улучшенный вариант. Весовые коэффициенты факторов, рассчитываются с помощью программного комплекса MathCAD. Для этого введем матрицы D и S, которые содержат рассчитанные значения факторов и оценки приверженности персонала на основании субъективных факторов соответственно.

Введем функцию f(x) представленную ниже (1).

$$f(x)=|Dx-S| \qquad (1)$$

где x – вектор-столбец весовых коэффициентов. В качестве исходного значения каждого из коэффициентов примем 0.125, для расчета коэффициентов используются встроенные функции Given и Minimize.

Функция Minimize применяется в режиме использования метода сопряженных градиентов. Результат вычисления представлен ниже (2).

$$Minimize(f\ ,x)=\begin{pmatrix}0.036\\0.113\\0.202\\0.418\\0.014\\0.152\\0.018\\0.198\end{pmatrix} \qquad (2)$$

Таблица 2. Сравнение вариантов обработки оценки

Вариант	Базовый	Улучшенный
Альфа Кронбаха оценки объективных факторов	0.836	0.625
Коэффициент корреляции между оценками	0.984	0.99
Сумма квадратов отклонений между оценками	1.17	0.41
Среднее арифметическое отклонений	0.152	0.09
Сумма квадратов отклонений для смещенной оценки	0.0177	0.01

Результаты сравнения двух вариантов весовых коэффициентов приведены в Таблице 1, а также на графике (Рис. 1), где вертикальная шкала показывает уровень организационной приверженности респондента, а горизонтальная номер респондента, респонденты упорядочены по возрастанию оценки субъективных факторов. На графике, оценки, для большей наглядности, приведены в смещенном виде — к оценкам объективных факторов добавлены соответствующие значения их среднего арифметического отклонения от оценки субъективных факторов.

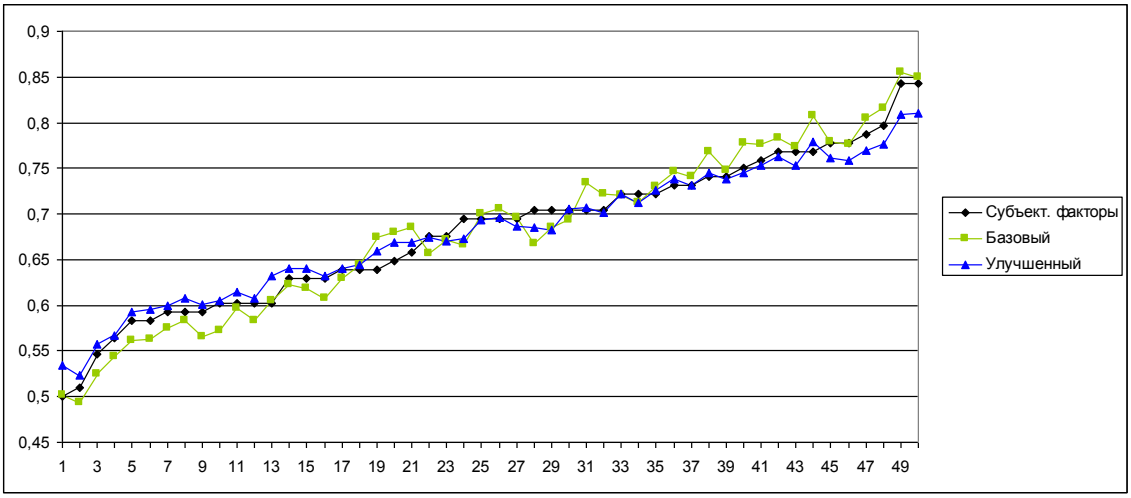


Рис. 1 Графики оценки приверженности персонала.

Общие выводы

Рассчитанные весовые коэффициенты обеспечивают значительно лучшее соответствие двух оценок, чем базовые коэффициенты. Что позволяет, в дальнейшем реже проводить тестирования и оценивать уровень приверженности сотрудников исходя из объективных факторов, также данная модель позволяет прогнозировать изменение приверженности сотрудника исходя из изменения объективных факторов.

Данная модель может быть полезна как службе безопасности для оценки сотрудников и определения тех из них кто представляет собой наибольшую потенциальную угрозу информационной безопасности организации, так и службе персонала при разработке методов симулирования сотрудников.

Список литературы

1. *Бойдало М.К., Жигулин Г.П.* Метод и модель оценки профессионального соответствия персонала в вопросах обеспечения информационной безопасности // Научно-технический вестник Поволжья. - 2014. - №3. - С. 66-71.

2. *Баранская С.С.* Методика измерения лояльности [Электронный ресурс] // Психологические исследования: электрон. науч. Журн. - 2011. - N 1(15). - URL: http://psystudy.ru (дата обращения: 25.02.2015).

3. *Доминяк В.И.* Измерение лояльности: действующая модель. // Персонал-Мик. - 2004. - №2. - С. 114-119.

4. *Доминяк В.И.* Измерение лояльности: действующая модель. // Персонал-Мик. - 2004. - №3. - С. 105-108.

5. *Доминяк В.И.* Организационная лояльность: основные подходы. // Менеджер по персоналу. - 2006, №4. - С. 34-40.

05.13.19

М.К. Бойдало, Г.П. Жигулин

Университет Информационных Технологий Механики и Оптики,
кафедра Мониторинга и Прогнозирования Информационных Угроз,
Санкт-Петербург, MikhailBojdalo@yandex.ru, ikvo@grv.ifmo.ru.

ПЕРСОНАЛ ОРГАНИЗАЦИИ КАК УЯЗВИМОСТЬ В СИСТЕМЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ: АТАКИ И ПРОТИВОДЕЙСТВИЕ ИМ

В статье рассматривается роль персонала организации в обеспечении её безопасности. Проводится анализ угроз безопасности реализуемых через атаку на персонал организации и методы противодействия им.

Ключевые слова: *информационная безопасность, персонал, инсайдер, организационная приверженность.*

Введение

Практика показывает [2,3], что как во многих, как зарубежных, так и отечественных компаниях пренебрегают подготовкой персонала в вопросах обеспечения информационной безопасности. Как следствие, даже при наличии мощной системы технической и программной защиты информационной системы, в системе безопасности остается огромная не прикрытая дыра – персонал организации. Аудит информационной безопасности показывает, что успешность проникновения в информационную систему организации через воздействие на её сотрудников (т.е. методами социальной инженерии) достигает 60-70%.

Рассмотрим угрозы виды атак на информационную систему организации, через воздействие на персонал, и методы противодействия им.

Атаки без применения технических средств:

Наиболее старый и «заслуженный» вид мошенничества. В данном случае злоумышленник использует различные методы манипулирования людьми в отношении сотрудника организации, без применения дополнительных технических средств.

Территориально данный вид атак может быть разделен на две группы:

- На территории организации;
- За пределами территории организации;

К первой группе относятся:

- Инсайдерские атаки;
- Анализ мусора – злоумышленник проводит сбор информации посредством анализа выброшенных документов, черновиков, отходв производства etc;
- Подбрасывание на территорию организации информационного носителя с вредоносным ПО, таким образом, чтобы данный носитель информации заинтересовал сотрудника;

Вторая группа:

- Убеждение;
- Использование доверительных отношений;
- Шантаж и угрозы;

Меры противодействия:

- Разработать и внедрить четкие и понятные протоколы и политики безопасности;
- Проводить регулярное обучение сотрудников соблюдению протоколов и политик безопасности;
- Непрерывно контролировать выполнение протоколов и политик безопасности;
- Пресекать все попытки злоупотребления полномочиями;

- Информировать всех сотрудников о случаях нарушения протоколов и политик безопасности;
- Обеспечить надлежащий программно-технический комплекс средств защиты в составе системы безопасности;

Атаки с использованием телефонной связи:

Т.е. телефонное мошенничество или атаки на информационную систему путем манипулирования сотрудниками посредством телефонной связи. Данный вид атак значительно моложе предыдущего и остается актуальным, не смотря на появление компьютерных сетей. Деловой партнер, заказчик, сотрудник, родственник, сотрудник силового ведомства или органа государственной власти, вот далеко не полный список образов которые может использовать злоумышленник.

Виды телефонных атак:

- Обращение злоумышленника в качестве технического специалиста, заказчика или делового партнера по корпоративному телефону;
- Создание обратимой проблемы, для решения которой жертва обратится к нему за помощью;
- Обращение к конкретному сотруднику с использованием заранее разработанного плана атаки;
- Использование заранее записанных голосовых сообщений, для имитации официальных звонков или запросов, от различных структур (банки, органы гос. власти etc);
- Шантаж и угрозы по телефону.

Меры противодействия:

- Разработать и внедрить регламенты передачи информации по телефону;
- Разработать и внедрить процедуру идентификации сотрудников компании по телефону;
- Также возможно техническое разграничение внутренней корпоративной телефонной сети и внешней.

Атаки с использованием сети Интернет:

Самое молодое и бурно развивающееся направление. Злоумышленник использует возможности предоставляемее современными информационными технологиями и всемирной сетью Интернет, для манипулирования сотрудником организации.

Виды интернет атак:

- Обман сотрудника для побуждения его скачать вредоносное ПО;
- Создание доверительных отношений с сотрудником посредством общения через электронную почту, социальные сети и другие сервисы массового общения;
- Использование фишинговых сайтов для получения логинов, паролей и другой конфиденциальной информации;
- Шантаж и запугивание сотрудников посредством общения через электронную почту, социальные сети и другие сервисы массового общения.

Меры противодействия:

- Разработка, внедрение и поддержание на должном уровне многоуровневой системы программно-аппаратной защиты корпоративной информационной системы;
- Информирование персонала о существующих методах мошенничества в глобальной сети, и методах противодействия им;
- Не всегда возможный, но эффективный метод защиты от интернет-мошеничества – физическая изоляция корпоративной компьютерной сети от глобальной сети Интернет;

Выводы:

Все рассмотренные виды атак на информационную систему построены на манипулировании сотрудниками организации. для противодействия им необходимо принимать следующие меры:

- Должное обучение персонала в области обеспечения информационной безопасности, и, в частности, противодействия мошенническим атакам;

- Стимулирование персонала к постоянному применению знаний и умений полученных в ходе обучения;
- Контроль выполнения персоналом положений протоколов и политик безопасности;
- Поддержание высокого уровня организационной приверженности персонала – чем более лоялен сотрудник к своей организации, тем ниже вероятность того, что он решит стать сообщником злоумышленнику.

Итого, работа с персоналом является одним из краеугольных камней системы информационной безопасности. Некомпетентный в информационной безопасности, халатный, плохо мотивированный сотрудник – серьёзнейшая угроза для информационной безопасности. Тогда как обученный и мотивированный сотрудник – надежный помощник службы безопасности и основа обеспечения информационной безопасности организации.

Список литературы

1. *Бойдало М.К., Жигулин Г.П.* Метод и модель оценки профессионального соответствия персонала в вопросах обеспечения информационной безопасности // Научно-технический вестник Поволжья. - 2014. - №3. - С. 66-71.
2. Статистика компании «Информзащита». – 2013. – Internet URL: http://infosec.ru/, дата последнего обращения 20.05.2015.
3. *Capelli D., Moore A., Trzeciak R.* The CERT Guide to Insider Threats. // USA, January 2012. – 389 pages.
4. *Flynn L., Hurth C., Trzeciak R., Buttles P.* Best Practies Against Insider Threats in All Nations [Электронный ресурс] - Technical Note CMU/SEI-2013-TN-023: Software Engineering Institute, August 2013, 16 pages. Internet URL: http://resources.sei.cmu.edu/asset_files/TechnicalNote/2013_004_001_59084.pdf (дата обращения: 20.05.2015).
5. *Mowday R.T., Porter L.W., Steers R.M.* Employee-organization linkages. // New York: Academic Press. - 1982.

05.07.05

[1]С.А. Бондаренко, [1]А.Н. Ефремов, [1]С.Н. Мерзляков,
[2]Ю.В. Соколкин, [2]В.Я. Модорский, [2]А.В. Козлова

[1]ОАО НПО «Искра», iskra@iskra.perm.ru
[2]ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», modorsky@pstu.ru

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В КАНАЛАХ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ

Целью исследования является адаптация комплекса ANSYS CFX для проведения расчетов газодинамических процессов в каналах сложной формы с сопряженным теплообменом. В рамках задачи рассчитывались параметры течения, параметры теплообмена между газом и ограждающей конструкцией. Расчетные исследования проводились применительно к тракту, содержащим области с дозвуковым, трансзвуковым и сверхзвуковым течением.

Ключевые слова: *газодинамические параметры, канал сложной формы, сопряженный теплообмен, инженерная методика*.

Вычисленные эксперименты проведены в ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» с использованием вычислительных ресурсов Центра высокопроизводительных вычислительных систем. В качестве прикладного программного обеспечения для проведения вычислительных экспериментов является система инженерного анализа *ANSYS CFX*.

В проточном тракте модельной конструкции осуществляются следующие процессы: дозвуковой поток горячих газов поступает в камеру двигателя, достигает критического сечения, где приобретает сверхзвуковую скорость. Модельный тракт отличается тем, что в нем присутствуют пять характерных зон, где газ движется с различными параметрами: 1 зона, сразу после входа в тракт (скорость газа меньше 0.1 Маха); 2 зона, сужение тракта (возрастание скорости до 0.3 Маха); 3 зона, газоход (скорость газа 0.3 Маха); 4 зона, критическое сечение (переход от дозвукового течения к сверхзвуковому); 5 зона, раструб (течение со сверхзвуковой скоростью).

Физическая модель: процессы рассматриваются в трехмерной постановке; рассматривается течение идеального газа постоянного состава с заданными свойствами; химические процессы не учитываются; поток однофазный; расчеты проведены без учета гравитации.

Математическая модель базируется на законах сохранения массы, импульса, энергии и замыкается уравнениями состояния идеального сжимаемого газа и турбулентности, а также начальными и граничными условиями.

В данном случае для решения газодинамической задачи требуется использовать систему из четырех независимых уравнений – систему уравнений Навье-Стокса [1-3].

Уравнение неразрывности (сохранения массы)

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \bullet \left(\rho \vec{V}\right) = 0, \qquad (1)$$

где ρ – плотность газа; t – время; $\vec{V}$ – вектор скорости газа.

Уравнение количества движения (сохранения импульса)

$$\frac{\partial\left(\rho \vec{V}\right)}{\partial t} + \nabla \bullet \left(\rho \vec{V} \otimes \vec{V}\right) = -\nabla p + \nabla \bullet \vec{\tau} + \vec{S}_M, \qquad (2)$$

где $\vec{\tau}$ – тензор напряжений, записываемый в виде

$$\vec{\tau} = \mu\left[\nabla \vec{V} + \left(\nabla \vec{V}\right)^T - \frac{2}{3}\delta \nabla \bullet \vec{V}\right];$$

δ – дельта-функция Кронекера

$$\delta = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix};$$

p – давление; $\vec{S}_{\mathrm{M}}$ – источниковый член для импульса.

Уравнение сохранения энергии газа:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho H) + \bar{\nabla}\cdot(\rho \boldsymbol{V} H) = \frac{\partial P}{\partial t} + \bar{\nabla}\cdot\left(\left(\frac{\lambda}{c_p} + \mu\right)\bar{\nabla} H\right) + S_E, \quad (3)$$

где H – полная энтальпия газа; λ – коэффициент теплопроводности газа; c_p – теплоемкость газа; S_E – источниковый член для энергии;

$$H = h_i^0(298.15) + c_p(T - 298.15) + \frac{1}{2}V^2,$$

где $h_i^0 = h_i\,(T_0)$ – теплота образования при $T_0 = 298.15^{\mathrm{o}}$ К.

Уравнение состояния

$$\rho = \rho(T, p). \quad (4)$$

Система уравнений Навье-Стокса (1-4) образуют законченную математическую модель поведения газа. Однако к ней необходимо добавить уравнения для модели турбулентности, чтобы система в целом могла быть решена. При проведении вычислительных экспериментов применялись *k-ε* и *SST* модели турбулентности.

На первом этапе исследований проведена апробация газодинамических расчетов с сопряженным теплообменом без расчета температурных полей в ограждающих конструкциях. Результатов расчета модельного тракта в системе инженерного анализа *ANSYS CFX* сравнивались с результатами физического модельного эксперимента.

Опишем подготовительную процедуру вычислительных экспериментов. Для создания расчетной области использовался геометрический препроцессор *Solid Works*. В расчетной области решаются уравнения математической модели и задаются границы объема, на которых определены граничные условия. Рассчитывался сектор конструкции (20°).

При моделировании вязкого течения вблизи поверхности стенки образуется тонкий пограничный слой, имеющий сложную структуру. Взаимодействие потока со стенкой происходит через пограничный слой. Поэтому важно правильно описать все явления, происходящие по толщине подслоя. Сетка вблизи стенки, с учетом применения *SST* модели турбулентности, адаптирована. На расчетной сетке по толщине слоя имеется 20 слоев. Данное количество достаточно для описания пограничного слоя. При построении сетки для расчетов с моделью турбулентности *SST* стремились обеспечить безразмерное расстояние от стенки до первого узла y+=1.

Модель турбулентности *k-ε* требует меньших вычислительных затрат и меньшее количество элементов для описания пограничного слоя (рекомендации по y+ от 30 и выше). Расчеты проводились также и для этой модели турбулентности. Результаты вычислительных экспериментов в данной статье представлены для *SST* модели турбулентности.

Граничные условия (ГУ) задавались по всей расчетной области (рис.1). В качестве рабочего тело выбран идеальный газ постоянного состава с заданными свойствами – модель *AirIdealGas*. На ГУ «Вход» задавалось условие типа *Inlet* (дозвуковой вход): температура торможения воздуха на входе в модельную установку и давление на входе. На ГУ «Выход» – условие *Supersonic* (Сверхзвуковой поток). Данное условие предполагает, что при проведении расчетов поток хорошо разгоняется и отсутствует влияние параметров на срезе сопла вверх по сверхзвуковому потоку. На ГУ «Симметрия» – условие симметрии *Symmetry* (Симметрия). Особых условий не задавалось. На ГУ «Стенка» устанавливалось различное

значение температуры стенки: адиабатическая стенка, $0.3T_o$, $0.7T_o$, $0.9T_o$, где T_o – температура газа на входе в установку. ГУ «Окружающая среда» условия типа *Opening* с заданием температуры и давления окружающего пространства.

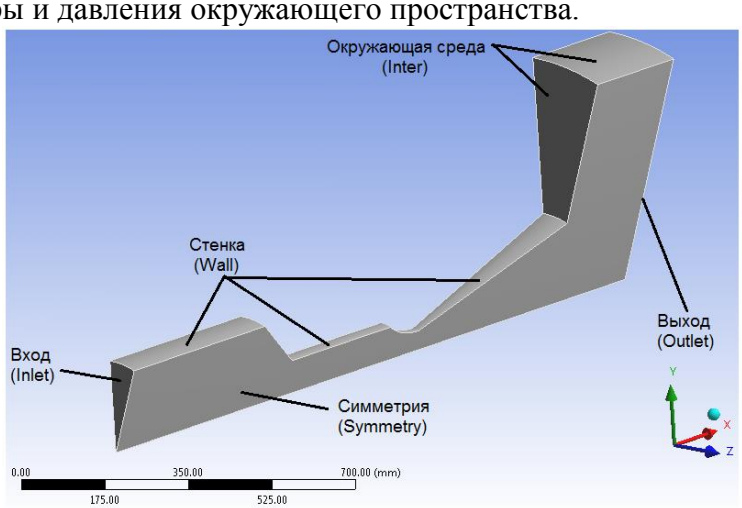


Рис. 1– Задание граничных условий

Расчеты проводились для стационарной и нестационарной постановок при шаге интегрирования *Physical Timescale* от $5{\cdot}10^{-5}$с до $5{\cdot}10^{-2}$с, со схемой дискретизации *High Resolution.* В качестве критерия сходимости выбрана среднеквадратичная невязка по всем контрольным объемам (*Root Mean Square RMS*). Задача считалась сошедшейся при достижении уровня невязок RMS= $1{\cdot}10^{-6}$.

Далее проводилось сравнение результатов вычислительного эксперимента с результатами, полученными с помощью инженерной методики, апробированной для расчета подобных задач на ОАО «НПО «Искра» (далее по тексту инженерная методика). Получено удовлетворительное совпадение результатов.

Общая картина течения (распределение числа Маха) представлена на рис.2. По результатам расчетов получены графические зависимости изменения относительной температуры потока вдоль стенки установки при различных граничных условиях на стенке (рис.3). Можно отметить, что при задании адиабатической стенки, значение температуры потока вблизи стенки в 5-й зоне уменьшается. При установлении на поверхности стенки значения определенной температуры можно отметить, что температура потока вблизи стенки в 5-й зоне имеет постоянное значение.

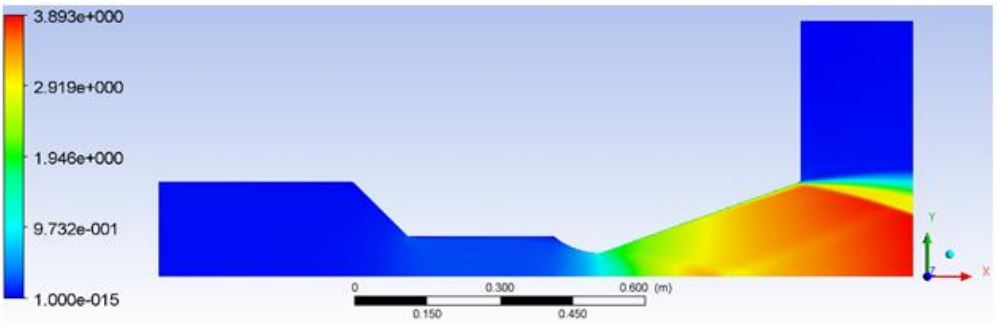


Рис. 2– Распределение Числа Маха по длине установки

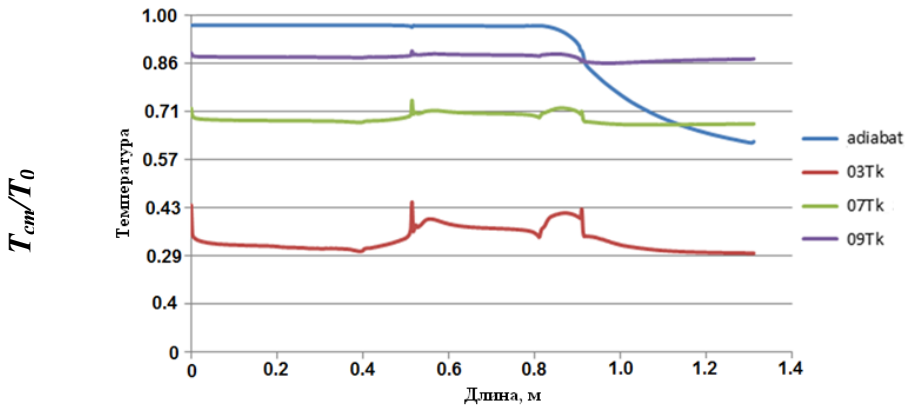


Рис.3– Изменение температуры потока вдоль стенки

На рис. 4 представлены графические зависимости коэффициента теплоотдачи вдоль стенки установки при различных граничных условиях на стенке. Сплошными линиями на графике отмечены результаты, полученные при проведении вычислительных экспериментов. Точками на графике отмечены результаты, полученные по инженерной методике. При вычислении коэффициента теплоотдачи по инженерной методике использовалось либо значение температуры потока в пограничном слое (T), либо значение температуры потока на входе в установку (T_o). Коэффициент теплоотдачи (при $T_{ст}$=0.9T_o) имеет отрицательные значения, ввиду того, что температура стенки имеет постоянное значение, а температура потока в сверхзвуковой части тракта уменьшается.

На втором этапе исследований проводился нестационарный расчет газодинамических параметров теплообмена между газом и ограждающей конструкцией. На границе между стенкой и потоком задавалось ГУ типа *Conservative Interface Flux* без дополнительных параметров. Толщина стенки 20мм. На внешней стенке значение температуры T=300К, коэффициент теплоотдачи α=10Вт/м^{2}К. По результатам расчета были получены значения относительной температуры потока вдоль стенки и коэффициент теплоотдачи (рис.5,6).

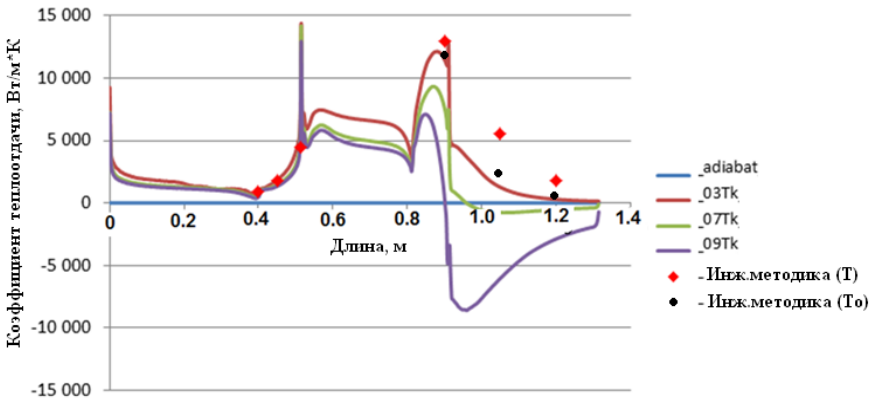


Рис. 4– Сравнение коэффициента теплоотдачи вдоль стенки, Вт/м^2·К

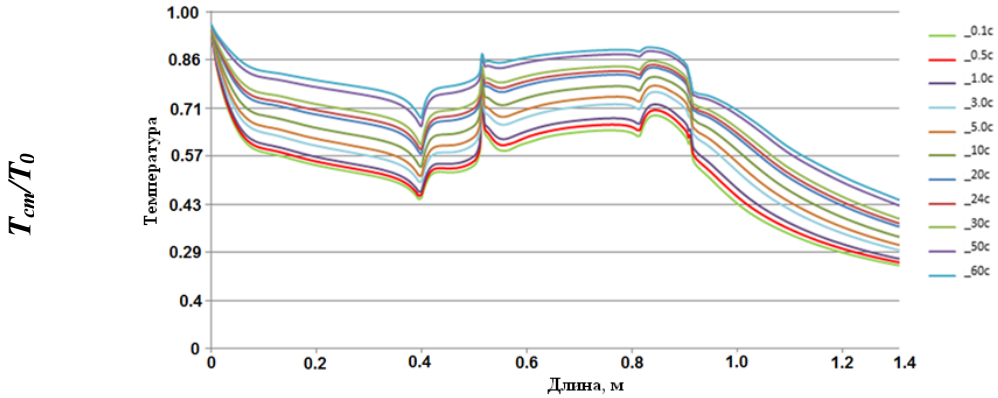


Рис. 5– Изменение температуры потока вдоль стенки

Проведено сравнение вычислительного эксперимента с результатами, полученными по инженерной методике. Сплошными линиями на графике отмечены результаты, полученные при проведении вычислительных экспериментов. Точками на графике отмечены результаты, полученные по инженерной методике. Следует отметить, что по расчету в *ANSYS CFX* получается более медленный прогрев стеки сверхзвуковой части тракта по сравнению с инженерной методикой. Тем не менее, результаты расчетов выполненных в *ANSYS CFX* и по инженерной методике, удовлетворительно согласуются друг с другом.

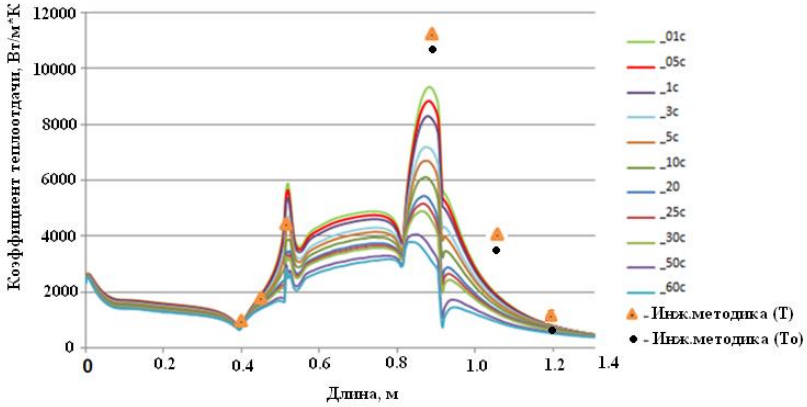


Рис. 6– Изменение коэффициента теплоотдачи вдоль стенки, Вт/м^2·К

Выполненная работа показала возможности, комплекса *ANSYS CFX* для проведения расчетов газодинамических процессов в каналах сложной формы с сопряженным теплообменом. При определении параметров теплообмена необходимо учитывать, что, задавая температуру стенки, в расчет вносится методическая погрешность, так как температура стенки оказывает обратное влияние на температурное состояние пограничного слоя. Следовательно, пограничный слой вниз по потоку подвержен существенному влиянию от способа задания граничного условия. Коэффициент теплообмена из вычислительного эксперимента удовлетворительно согласуется с расчетами по инженерной методике для дозвуковой части тракта. Что касается сверхзвуковой части тракта, то вследствие того, что коэффициент теплообмена рассчитывается по температуре потока на входе в расчетную область (а в сверхзвуковой части тракта ядро потока охлаждается), его значения методически занижены. Этот факт следует обязательно учитывать при интерпретации результатов расчетов.

Выводы по работе. В ходе вычислительных экспериментов выявлены возможности комплекса *ANSYS CFX* для проведения газодинамических расчетов с сопряженным теплообменом. Сопоставление результатов расчетов вычислительного эксперимента и результатов, полученных по инженерной методике, дают хорошее согласование друг с другом. Наиболее целесообразным и перспективным представляется применение пакета *ANSYS CFX* для оценки теплового состояния сложных конструкций ограждающих нетривиальные виды течения, в тех областях, где надежные экспериментальные данные по параметрам теплообмена (между конструкцией и газом/жидкостью) отсутствуют.

Список литературы

1. *Патанкар С.В.* Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 152 с.
2. *Роуч П.* Вычислительная гидродинамика. – М.: Мир, 1980. – 616 с.
3. Руководство пользователя ANSYS CFD.

05.22.07

А.П. Буйносов д.т.н., Д.Ю. Козаков

Уральский государственный университет путей сообщения, кафедра «Электрическая тяга», Екатеринбург, byinosov@mail.ru, mozdokskaya18@mail

РАЗРАБОТКА МОБИЛЬНОГО СТАНКА ДЛЯ ОБТОЧКИ КОЛЕСНЫХ ПАР ЭЛЕКТРОПОЕЗДА

В статье приводятся технические характеристики и элементы разработанного опытного образца мобильного токарного станка для обточки колесных пар без выкатки из под вагона электропоезда.

Ключевые слова: *электропоезд, колесная пара, обточка, станок, мобильный, разработка.*

Колесные пары моторных, головных и прицепных вагонов электропоезда имеют разную конструкцию. Колесная пара моторного вагона, как и на электровозе, состоит из колесных центров, на которые насаживают бандажи. Колесная пара головного и прицепного вагонов состоит из двух цельнокатаных колес. В процессе эксплуатации на колесных парах электропоезда возникают различные дефекты, которые должны быть своевременно выявлены и устранены.

Частые остановки электропоезда увеличивают вероятность появления дефектов на поверхности катания (ползуны, навары, выщербины и др.), кроме того, по причине больших динамических нагрузок, возникающих при движении, изнашивается гребень бандажей или цельнокатаных колес, образуется прокат. Для устранения этих дефектов предусматривается обточка бандажей (колес), которая выполняется в условиях ремонтного моторвагонного депо на специальных стационарных колесно-фрезерных или колесно-токарных станках с выкаткой или без выкатки колесных пар.

При обнаружении на станции, на которой нет ремонтных моторвагонного или локомотивного депо, колесной пары с ползуном (рис. 1) более допустимого размера (12 мм) принимаются меры для прохода путеизмерителя и принимается решение о возможности следования поездов по данному перегону [1]. В этом случае вагон электропоезда с неисправной колесной парой должен быть отцеплен или колесная пара должна быть вывешена для исключения возможности вращения колесной пары и контакта с рельсовой колеей. При величине ползуна соответственно свыше 6 до 12 мм такой электропоезд со скоростью 10 км/ч должен проследовать в ближайшее ремонтное моторвагонное депо [2].

Рис. 1. Колесо вагона электропоезда с ползуном до обточки

Согласно требований программы «Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года», утвержденной распоряжением Министерства транспорта Российской Федерации №1032-р от 11 июня 2014 г. «Внедрение ресурсосберегающих технологий на

железнодорожном транспорте направлено на снижение энергопотребления, экономию материальных ресурсов, применение более долговечных материалов с улучшенными эксплуатационными характеристиками, использование импортозамещающих изделий и технических средств» встала задача разработать мобильный станок с возможностью обточки колесных пар вагонов электропоезда на станции.

В отличие от аналогов (низкопольный станок WTL 8100 Американской компании Delta Manufacturing и мобильное устройство 1AK200-ZIP Эстонской компании ENDORFIN Ltd.) разработанный мобильный станок не требует специально оборудованной площади для обточки колесных пар, устранение дефектов бандажей (колес), появляющихся в процессе эксплуатации, производится без выкатки из-под вагона электропоезда. Мобильный станок может использоваться везде, где имеется асфальтированная или бетонированная площадка на уровне головки рельса.

Разработанный опытный образец мобильного станка состоит из семи основных элементов: переносной станины, суппорта, привода, реостата, источника питания и двух гидравлических домкратов (рис. 2).

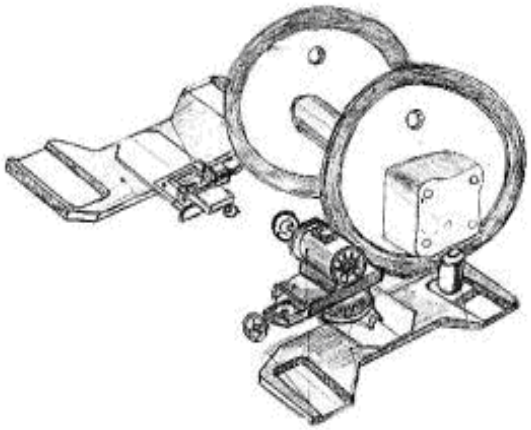


Рис. 2. Общий вид мобильного станка с колесной парой

Суппорт состоит из двух салазок, обеспечивающих подачу резца с резцедержателем параллельно и перпендикулярно оси обтачиваемой колесной пары и станины. Привод состоит из электродвигателя постоянного тока мощностью 5 кВт и скоростью вращения n = 1400 об/мин., передающего вращательный момент на бандаж (колесо) и механизм для регулировки силы сцепления валика с колесом и станины. Реостат состоит из набора активных сопротивлений и шести рубильников, мощность реостата – 10 кВт. Источник питания состоит из трансформатора напряжения, диодного моста и измерительных приборов тока и напряжения. Все элементы станка мобильны и просты в использовании.

Вращение колесной пары моторного вагона обеспечивается от тягового электродвигателя, который, как известно, получает питание от контактной сети. В качестве источника питания при обточке колес и использовании станка можно использовать аккумуляторную батарею электропоезда. Напряжение 40–60 вольт снимается с батареи переносным медным кабелем сечением 40 мм^2 и подводится к клеммам реостата. Для обеспечения бесступенчатого регулирования и стабилизации оборотов колесной пары при обточке, предлагается использовать частотный преобразователь. После подачи напряжения колесная пара начинает вращаться со скоростью 200–240 об/мин.

Для обточки колесных пар необмоторенных осей головных и прицепных вагонов электропоезда предусматривается использование привода, состоящего из электродвигателя постоянного тока, передающего вращательный момент на колесо и механизм для регулировки силы сцепления валика с колесом и станины.

Процесс обточки проходит следующим образом (см. рис. 2–5): обтачиваемая поверхность контролируется профильным абсолютным шаблоном; колесная пара предварительно вывешивается гидравлическими домкратами относительно головки рельса на 15–25 мм; под

обтачиваемое колесо устанавливается суппорт; один домкрат устанавливается на поверхности станины суппорта и служит для его фиксации относительно обтачиваемого колеса, второй – на уровне поверхности станины привода; резцедержатель с резцом подводится к обтачиваемой поверхности, и начинается процесс обточки. Обтачиваемая поверхность контролируется шаблоном [3].

Рис. 3. Обточка. Этап 1

Рис. 4. Обточка. Этап 2

Рис. 5. Обточка. Этап 3

Рис. 6. Колесная пара после обточки

Домкраты являются основным фиксирующим звеном суппорта и валика привода относительно обтачиваемой колесной пары.

При помощи реостата устанавливается минимальная скорость вращения валика привода – 100 об/мин. Валик привода подводится в сцепление с поверхностью катания бандажа (колеса) вагона и с помощью реостата увеличивается скорость вращения валика привода, скорость вращения обтачиваемого бандажа (колеса) доводится до 200–240 об/мин.

При обточке имеется возможность регулировки глубины резки, после обточки за один проход диаметр бандажа (колеса) может быть уменьшен на величину от 0,5 до 2 мм [4].

Разработанным мобильным станком обточка и (или) устранение дефектов вагонных бандажей (колес), появляющихся в процессе эксплуатации, производится непосредственно под электропоездом, без выкатки колесной пары.

Использование разработанного в УрГУПС мобильного станка позволит снизить себестоимость при обточках колесных пар электропоезда. Восстановление профиля поверхности катания бандажей (колес) у одной колесной пары займет от 2 до 4 часов в зависимости от их степени износа (в настоящее время ведутся работы по увеличению производительности мобильного станка и уменьшению времени для обточки и (или) устранения дефектов). Так как оборудование мобильное, то восстановление профиля может быть произведено в прямом смысле этого слова в поле, что в свою очередь, уменьшает

степень негативного воздействия на путь и стрелочные переводы на пути следования электропоезда к месту ремонта.

Список литературы

1. *Буйносов А.П., Козаков Д.Ю.* Анализ отказов узлов электропоездов постоянного тока на основе закона Парето // Научно-технический вестник Поволжья. 2013. № 4. С. 120-123.
2. *Буйносов А.П., Козаков Д.Ю.* Повышение ресурса бандажей колесных пар электровозов и электропоездов за счет применения наноматериала // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2012. № 2. С. 186-188.
3. *Буйносов А.П., Козаков Д.Ю.* Анализ процессов эксплуатационного износа гребней бандажей колесных пар электровозов // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 3. С. 79-84.
4. *Шепелева И.О.* Влияние рекуперативного торможения на износ бандажей колесных пар электровозов // В сборнике: Технологическое обеспечение ремонта и повышение динамических качеств железнодорожного подвижного состава: Омский государственный университет путей сообщения. 2013. С. 48-53.

05.22.07

А.П. Буйносов д.т.н., И.В. Умылин

Уральский государственный университет путей сообщения, кафедра «Электрическая тяга», Екатеринбург, byinosov@mail.ru, uvil333@mail.ru

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ОБТОЧКИ БАНДАЖЕЙ КОЛЕСНЫХ ПАР ЛОКОМОТИВОВ

В статье приведены результаты оптимизации процесса обточки бандажей по предложенной методике за счет выбора наилучшего профиля поверхности катания колесных пар исходя из критерия минимума технологического износа.

Ключевые слова: *локомотив, колесная пара, бандаж, процесс, обточка, оптимизация*.

На сети железных дорог общего и необщего пользования имеет место повышенный износ колес, бандажей и рельсов. Под износом бандажей колесных пар железнодорожного подвижного состава принято считать изменение профиля под воздействием сил, возникающих между бандажом и рельсом во время движения [1]. Величина износа бандажа оценивается в практике размером выработки по кругу катания его, называемое «прокатом», а также уменьшением толщины гребня и толщины бандажа.

Для решения задачи снижения интенсивности износа гребней бандажей колесных пар локомотивов необходимы новые научные исследования и решения [2]. И в первую очередь, разработка комплекса мероприятий, позволяющих исходя из конкретных условий эксплуатации, определить и устранить причины износа бандажей [3, 4]. Установить долю влияния каждой причины износа нельзя, так как преобладающее значение той или иной в их сумме изменяется во времени их участия. Только постоянное наблюдение, анализ технического состояния локомотивов и пути может установить причины и уменьшить их влияние на износ [5].

Для восстановления профиля гребня, имеющего предельный износ, необходимо снимать определенный объем металла по кругу катания бандажа. Схема определения технологического износа локомотивного бандажа и подреза гребня с последующим восстановлением полного профиля по ГОСТ 11018–2011 приведена на рис. 1.

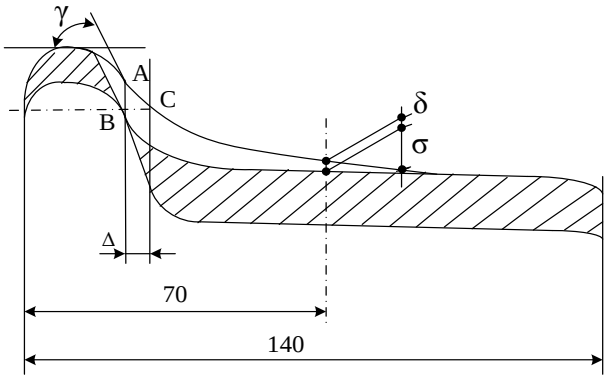


Рис. 1. Схема определения технологического износа при восстановлении профиля бандажа колесной пары

При большом износе гребня приходится снимать по кругу катания колеса большой объем металла и наоборот, при полномерном гребне и наличии проката дополнительный съем металла с поверхности катания не требуется.

Обозначив угол наклона гребня через γ, величину проката – δ, а толщину снимаемого металла σ с поверхности катания и износ гребня через Δ, рассмотрим треугольник ABC: $|AB| = |BC| \operatorname{tg} \gamma$. Это соотношение показывает, что чем больше износ $|BC| = \Delta$, тем больше должна быть толщина снимаемого металла σ, так как величина $|AB|$ представляет собой сумму

фактического проката и подлежащей снятию стружки, то есть |AB| = δ + σ. Тогда δ + σ = |BC| tg γ, σ = Δ tg γ – δ.

Чем меньше толщина снимаемого металла с поверхности катания, тем ближе это соотношение к условию экономичной обточки, когда σ = 0, то есть Δtgγ = δ. В эксплуатации бандажи колесных пар электровозов ВЛ11, приписанных к эксплуатационному локомотивному депо Пермь-Сортировочная имеют различные профили (в том числе различные γ). Обозначив отношение Δ/δ через *K*, можно определить его оптимум для бандажей, обточенных по одному из профилей: ГОСТ 11018-2011, рис. 5, где оптимальное значение K_0 = 0,466, или ДМетИ ЛР, где K_0 = 0,364.

Таким образом, если в эксплуатации отношение износа гребня к величине проката близко или равно K_0, то технологический износ бандажа будет или минимален, или равен нулю. Таким образом, если в эксплуатации отношение износа гребня к величине проката близко или равно K_0, то технологический износ бандажа будет или минимален, или равен нулю.

Отсюда следует, что при выборе того или иного профиля достаточно найти зависимость износа гребня от величины проката и в случае минимума разности *K* и тангенса угла наклона полученной зависимости, то есть коэффициента *A* функции вида $\delta = A\Delta + B$, меньшая стружка снимается с поверхности катания при восстановлении полной конфигурации профиля. Это значит, что условие $K - A = \min$ – есть главное при выборе оптимального профиля бандажей колесных пар электровозов ВЛ11, приписанных к эксплуатационному локомотивному депо Пермь-Сортировочная.

После обработки полученного статистического материала были рассчитаны зависимости износа гребня от величины проката при различной начальной толщине бандажа (оставляемой после обточки) и различной конфигурации профиля поверхности катания колесной пары. В качестве примера рис. 2 и 3 приведены полученные зависимости для электровозов серии ВЛ11 депо Пермь-Сортировочная при средней начальной толщине бандажа 70 и 90 мм и обточенных по профилю ДМетИ (ЛР).

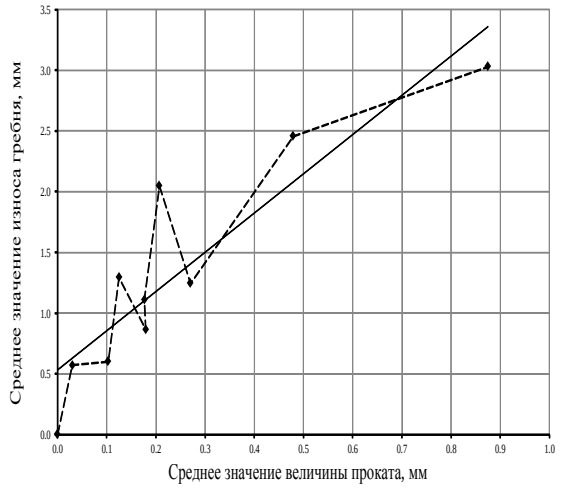


Рис. 2. Зависимость среднего износа гребня от проката колесных пар при начальной толщине бандажа 70 мм

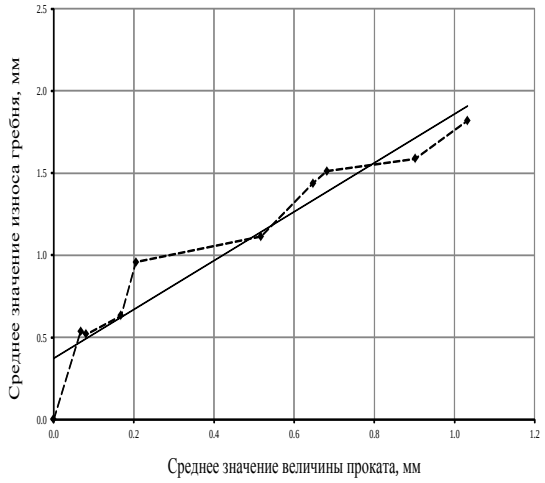


Рис. 3. Зависимость среднего износа гребня от проката колесных пар при начальной толщине бандажа 90 мм

Значения коэффициентов *K*, определенные в результате расчета, приведены в таблице.

Таблица. Значения коэффициентов отношения износа гребня к прокату бандажей колесных пар электровозов ВЛ11

Тип профиля	Начальная толщина бандажа, мм	Значение K	
		оптимальное K_0	фактическое $K_Ф$
ГОСТ 11018–2011, рис. 5	90	0,466	0,709
ДМетИ (ЛР)	90	0,364	0,577
ДМетИ (ЛР)	80	0,364	0,446
ДМетИ (ЛР)	70		
ДМетИ (ЛР)	60		

Из таблицы следует, что при начальной толщине бандажа 90 мм разница между оптимальным и фактическим значениями коэффициента K наблюдается у колесных пар электровозов ВЛ11, имеющих конфигурацию профиля поверхности катания ДМетИ (ЛР) и составляет 0,213 (0,577–0,364), тогда как значение $K_Ф - K_0$ для профиля ГОСТ 11018–2011, рис. 3 составляет 0,243 (0,709–0,466). Поэтому при средней начальной толщине бандажа 90 мм и выше целесообразно применение профиля бандажа по ДМетИ (ЛР), при этом технологический износ бандажа будет минимален.

При начальной толщине бандажа 80 мм и ниже разность оптимальной и фактической величины K для профиля ДМетИ (ЛР) равняется 0,102 (0,466–0,364), в то же время для профиля ГОСТ 11018–2011, рис. 5 значение этой величины составляет 0,020 (0,466–0,446). Таким образом, при толщине бандажа от 80 мм до минимально допустимой (45 мм) применение профиля бандажа по ГОСТ 11018–2011, рис. 5 более эффективно с точки зрения экономичности проведения обточки (снижение величины технологического износа).

Кроме того, минимум отличия $K_Ф$ и K_0 наблюдается на электровозах ЧС7 эксплуатационного локомотивного депо Челябинск, бандажи колесных пар которых были обточены по ГОСТ 11018–2011, а на ВЛ10 в депо Курган и Златоуст – обточенных по профилю ДМетИ (ЛР).

Используя критерий минимума технологического износа можно сделать вывод: на электровозах ЧС7 эффективно применение профиля бандажа, соответствующего ГОСТ 11018–2011, черт. 5, а для бандажей колесных пар электровозов ВЛ10 целесообразно использовать профиль ДМетИ (ЛР).

Анализ полученных данных показывает, что фактическая толщина снимаемого металла с поверхности катания в три раза превышает среднюю величину проката, при котором обтачивают бандажи независимо от типа профиля. То есть технологический износ бандажа в несколько раз превышает естественный, а ресурс при существующей системе технического содержания и ремонта бандажа недоиспользуется. При оптимальной величине остаточного проката бандаж и рельс имеют одноточечный контакт; гребень бандажа меньше изнашивается (степень износа меньше). При интенсивном износе гребня, опережающем нарастание проката, сохраняется двухточечный контакт бандажа с рельсом, поэтому для таких условий работы колес необходимо при полном гребне иметь начальный (остаточный) прокат. Во время восстановления полного профиля бандажа с небольшим прокатом с поверхности катания удаляется упрочненный во время эксплуатации износостойкий слой металла. Такая технология обточки недопустима. Выбор наилучшего профиля поверхности катания бандажей должен базироваться на критерии минимального износа гребней колесных пар.

Результаты обработки данных по рассмотренной методике указывают на то, что ориентироваться на технологию обточки, восстанавливающей гребень до полной его толщины (33 мм), нецелесообразно, так как при этих величинах и происходит наивысшая интенсивность износа. Установлено также, что с уменьшением толщины бандажа увеличивается интенсивность его изнашивания, особенно гребней.

Список литературы

1. *Буйносов А.П., Денисов Д.С.* О разработке прибора неразрушающего метода контроля бандажей колесных пар локомотивов // Научно-технический вестник Поволжья. 2014. № 4. С. 69-72.

2. *Мишин Я.А.* Причины выхода из строя роликовых подшипников электровозов // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. Т. 3. № 1(12). С. 251-256.

3. *Буйносов А.П., Шепелева И.О.* Увеличение ресурса колесных пар электровозов за счет плазменного упрочнения гребней бандажей // Научно-технический вестник Поволжья. 2013. № 6. С. 182-185.

4. *Шепелева И.О.* Влияние рекуперативного торможения на износ бандажей колесных пар электровозов // В сборнике: Технологическое обеспечение ремонта и повышение динамических качеств железнодорожного подвижного состава: Омский государственный университет путей сообщения. 2013. С. 48-53.

5. *Буйносов А.П.* Оценка эффективности снижения износа бандажей колесных пар электровозов, обточенных по различным профилям // Транспорт: наука, техника, управление. 2010. № 12. С. 40-42.

05.11.16

А.М. Васильев, В.К. Гарипов, М.А. Костромин

Московский государственный университет приборостроения и информатики,
кафедра «Информационные технологии и приборостроение»,
Москва, amvrf@yandex.com

ВОПРОСЫ ПРИМЕНЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ МАРШРУТИЗАЦИИ В РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

В статье рассмотрены вопросы управления информационным потоком в распределенных информационно-измерительных системах. Показано, что сложность заключается в многофакторности и неопределенности. Представлена модель и алгоритм маршрутизации, показана эффективность их работы.

Ключевые слова: *распределенные системы, маршрутизация, информационные потоки, управление, буфер, параметры маршрута, имитационная модель.*

Существует ряд методов задачи управления распределением информационных потоков, одним из которых является динамическая маршрутизация [1].

Алгоритмы динамической маршрутизации распределяют поступающие в систему запросы, опираясь на текущие характеристики загруженности обслуживающих приборов, в соответствии с избранным способом маршрутизации. Выбор способа маршрутизации зависит от специфики решаемой задачи (рис. 1).

Сложность проблемы маршрутизации заключается в ее многофакторности. Учет множества факторов, влияющих на выбор маршрута, позволяет рассматривать эту проблему как динамическую оптимизацию распределения сетевых ресурсов. Проблема оптимального распределения ресурсов в процессах маршрутизации характеризуется нестационарностью этих процессов и априорной неопределенностью разнородных управляющих факторов [2]: объемы очередей, количество транзитных узлов, надежность каналов и т. п.

Для решения задач маршрутизации в условиях априорной неопределенности перспективным представляется использование аппарата нечеткой логики [3].

Использование нечеткой логики для конструирования алгоритмов выбора маршрута позволяет на строго систематизированной основе определять метрические отношения в топологии распределенных информационно-измерительных систем (РИИС) и эффективно решать задачи управления информационным потоком.

Задача маршрутизации решается при условии, что кратчайший маршрут, обеспечивающий передачу потока за минимальное время, зависит от топологии системы, пропускной способности линий связи, нагрузки на линии связи.

Топология системы изменяется в результате отказов узлов и линий связи и отчасти при развитии системы (подключении новых узлов и линий связи). Пропускная способность линий связи определяется типом передающей среды и зависит от уровня шумов и параметров аппаратуры, обслуживающей линии.

Обобщенная схема управления информационным потоком представлена на рис. 2.

Здесь комбинированная метрика вычисляется с учетом величины загруженности буфера и параметров маршрута.

M - метрика;

K_{mem} - коэффициент загруженности буфера;

SW - блок выбора маршрутов.

Рисунок 1 - Классификация методов маршрутизации

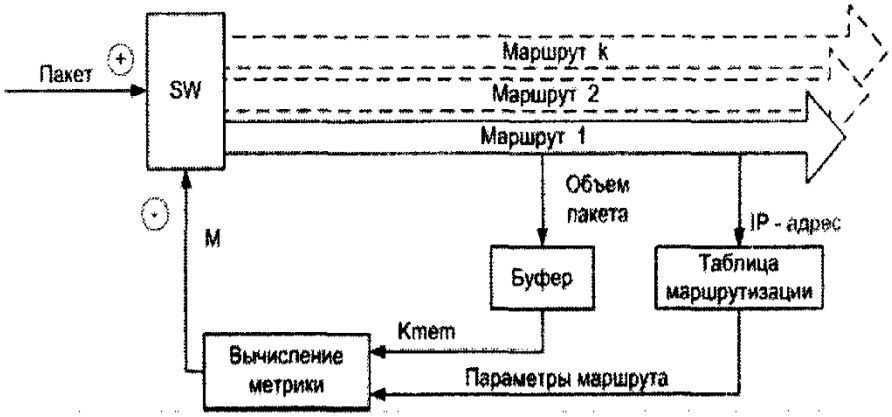


Рисунок 2 - Схема управления информационным потоком

Формирование базы нечетких правил производится на основе известного шаблона [3]:

ПРАВИЛО X: ЕСЛИ "Условие_X", ТО "Заключение_X" (F_x),

F_x - весовой коэффициент соответствующего правила.

На основе лингвистических переменных был проведен вычислительный эксперимент в системе MatLab по построению поверхности метрики маршрутизации (рис. 3) [3].

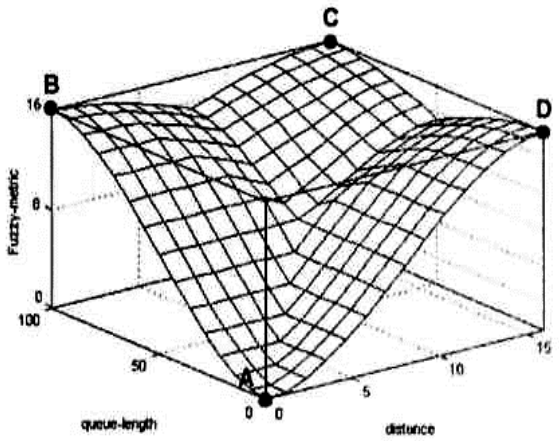


Рисунок 3 - Поверхность метрики маршрутизации

Излом поверхности определяет точку наибольшей неопределенности в выборе маршрута. Точка А определяет положительное тривиальное решение по выбору маршрута, точки В, С, D - отрицательные тривиальные решения (приемлемые маршруты отсутствуют).

Четкая метрика такого алгоритма определяется эвристическим выражением [3]:

$$M = \left(\frac{K_1}{B} + K_2 \cdot D \right) \cdot R \qquad (1)$$

K_1, K_2 - коэффициенты;

B - ширина полосы пропускания канала связи, связанного с выбранным интерфейсом [Кбит/с];

D - время задержки [с];

R - надежность (отношение числа пакетов, успешно переданных следующему узлу, к общему числу переданных пакетов).

Определяя диапазоны значений параметров B, D и M и используя логарифмические шкалы, в вычислительном эксперименте была построена поверхность нечеткой метрики M (B, D, K_{mem}).

Для оценки эффективности метода нечеткой маршрутизации был проведен качественный сравнительный анализ четкой и нечеткой поверхностей метрик. Рассматривались два возможных события А и В:

• событие А - маршрутизация пакета производится через Сеть А;

• событие В - маршрутизация пакета производится через Сеть В.

Вероятности правильного выбора маршрута и ошибки определяются:

P_A, P_B - вероятности, определяющие выбор маршрута;

$$P_{\text{ПВ}} = P_{\text{А}}\left(M_{\text{А}} < M_{\text{В}} \middle| A\right) P(A) + P_{\text{В}}\left(M_{\text{В}} < M_{\text{А}} \middle| B\right) P(B)$$

$$P_{\text{ОШ}} = P_{\text{А}}\left(M_{\text{А}} < M_{\text{В}} \middle| B\right) P(B) + P_{\text{В}}\left(M_{\text{В}} < M_{\text{А}} \middle| A\right) P(A)$$

M_A, M_B - метрики соответствующих маршрутов.

Аналитическое определение P_A и P_B весьма проблематично, однако для наших целей достаточно подчеркнуть, что величины P_A и P_B пропорциональны разностям метрик (M_A - M_B).

Для анализа эффективности маршрутизации, основанной на нечетком алгоритме, была построена имитационная модель, представленная на рис. 4 [3]:

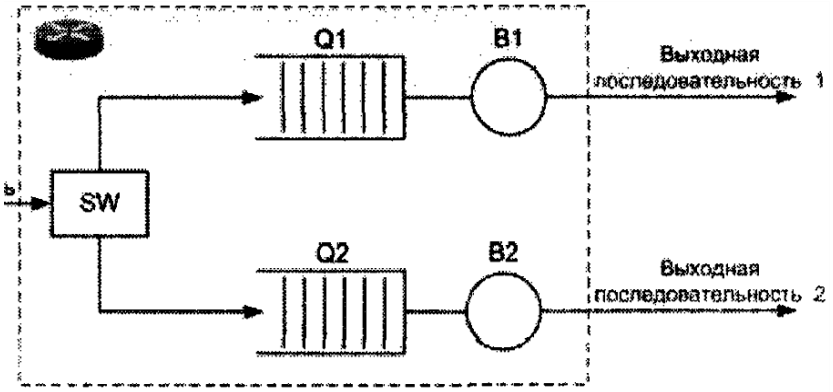


Рисунок 4 - Имитационная модель

Q_1 и Q_2 - конечные очереди, организованные по принципу FIFO [3].

Они имитируют буферную память выходных интерфейсов маршрутизатора. B1 и B2 представляют собой обслуживающие устройства, которые имитируют работу выходных линий маршрутизатора.

Результаты моделирования свидетельствуют о том, что преимущество предложенного алгоритма маршрутизации достигается по такому параметру, как доля потерянных пакетов.

Это позволяет говорить о том, что данная модель улучшает маршрутизирующие свойства РИИС в целом.

Использование алгоритма совместно с системой управления, использующей нечеткие множества, дает качественно новый результат, превращая процесс маршрутизации в адаптивный процесс.

Список литературы

1. *Остерлох Хизер* Маршрутизация в IP-сетях. Принципы, протоколы, настройка: Пер. с англ. - Спб.: ООО «ДиаСофтЮП», 2002. - 512 с.

2. *Аленичев А.В.* Система массового обслуживания с динамической маршрутизацией и распределением Вейбулла времени обслуживании заявок. Информационные процессы, Москва. 2005. т. 5, №5, с. 431-441.

3. *Кораблин, М. А.* Маршрутизация на основе нечеткой логики в рамках протокола RIP / М.А. Кораблин, Д.Ю. Полукаров // V Международная НТС. «Проблемы техники и технологии телекоммуникаций»: материалы конференции. - ПГАТИ, Самара, 2004. -С. 82-83.

4. Телекоммуникационные системы и сети: Учебное пособие. В 3-ч томах. */Б.И. Крук, В.Н. Попантопопуло, В.П. Шувалов;* под ред. В.П. Шувалова.-Изд. 3-е, испр. и доп.-М.: Горячая линия-Телеком, 2003.-647 с. : ил.

05.12.13

В.И. Воронов д.т.н., Ф.Н. Нурамов

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева, институт радиоэлектроники и телекоммуникаций, кафедра радиоэлектронных и квантовых устройств, Казань, vvi_kai@mail.ru, nuramoff@yandex.ru

ВЛИЯНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МНОГОВОЛОКОННОГО ИЗЛУЧАТЕЛЯ АТМОСФЕРНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ ЛИНИИ СВЯЗИ НА ПОЛЕ В ЗОНЕ ПРИЕМА

В работе рассмотрено влияние неодинаковой длины волокон, образующих многоволоконный лазерный излучатель атмосферной оптической линии связи, на амплитудное распределение поля излучения в дальней зоне – зоне приема сигнала.

Ключевые слова: *атмосферные оптические линии связи, многоволоконный лазерный излучатель, погрешности изготовления, поле в дальней зоне.*

Введение

Плотность застройки современных мегаполисов требует использования недорогих и быстро развертываемых систем приема/передачи информации. В этих условиях наиболее подходящими являются атмосферные оптические линии связи (АОЛС). Доступные на сегодняшний день системы позволяют устойчиво работать на дистанциях 2-3 км, со скоростью 1,25 Гбит/сек [1,2]. Дальнейшее увеличение дальности связи ограничивается рядом факторов, к которым относятся:

— поглощение и рассеяние света молекулами и аэрозолями;
— вибрации основания приемо-передающих модулей АОЛС;
— флуктуации показателя преломления атмосферы на трассе распространения лучевых потоков.

С целью уменьшения влияния негативных факторов на проходящее излучение, используются разные типы приемо-передающих модулей АОЛС: модули с автотрекингом, модули с несколькими излучателями, а также резервирование каналов. В некоторых случаях для увеличения дальности связи используются системы с адаптивной оптикой.

Постановка задачи

В ряде АОЛС используются одно оптическое волокно (ОВ) для передачи информации и несколько волокон для приема [3, 4]. Такой подход позволяет устанавливать электронную аппаратуру в защищенных от атмосферных осадков помещениях, тогда как блок с излучаемыми и приемными волокнами во всепогодном исполнении размещается, например, на крыше здания.

Основным методом увеличения дальности связи является повышение мощности излучения. Однако при использовании одноволоконного излучателя это влечет за собой опасность возникновения нелинейных эффектов в волокне со всеми вытекающими отсюда отрицательными последствиями, включая полную потерю передаваемой информации.

В данной работе объектом исследования является многоволоконный излучатель, показанный на рис. 1. Такая конструкция позволяет разделить суммарную мощность между всеми волокнами до уровня в каждом волокне, недостаточного для возникновения нелинейных эффектов.

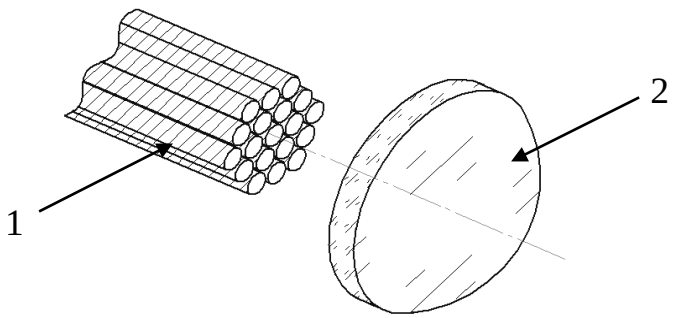


Рис. 1. Многоволоконный излучатель АОЛС:
1 – жгут оптических волокон, 2 – коллимирующая линза.

Одним из неизученных аспектов многоволоконной системы является вопрос о влиянии погрешностей изготовления волокон, в частности, неравенства их длины (при распространении излучения от источника до выходной апертуры), следствием которого являются различные набеги фаз в волокнах, что может вызывать искажения амплитудно-фазового распределения (АФР) поля в зоне приема и снизить эффективность АОЛС.

Результаты численного моделирования

Расчет амплитудно-фазового распределения поля проводился в предположении распространения излучения в чистой атмосфере, то есть в условиях отсутствия турбулентностей или их незначительного влияния на проходящее излучение.

Использовалась известная формула расчета АФР [5], имеющая в общем случае следующий вид:

$$U_{pr}(x_2) = \frac{e^{i\frac{\pi}{4}}}{\sqrt{\lambda L}} \cdot \int_{-a}^{a} U_{iz}(K_{x1}) e^{-ik(x_2 - K_{x1})/2L} \partial K_{x1} \qquad (1)$$

где $K_{x1} = mx_1 + (m-1)x_з$;

$Uiz(K_{x1})$ – поле лазерного излучателя в плоскости выходной апертуры; $U_{pr}(x_2)$ – поле в плоскости приемника;

x_2 – координаты текущих точек соответственно в плоскостях излучателя и приемника;

x_1 – координаты текущих точек в плоскости одного ОВ;

$x_з$ – координаты текущих точек зазора между ОВ; m – количество ОВ;

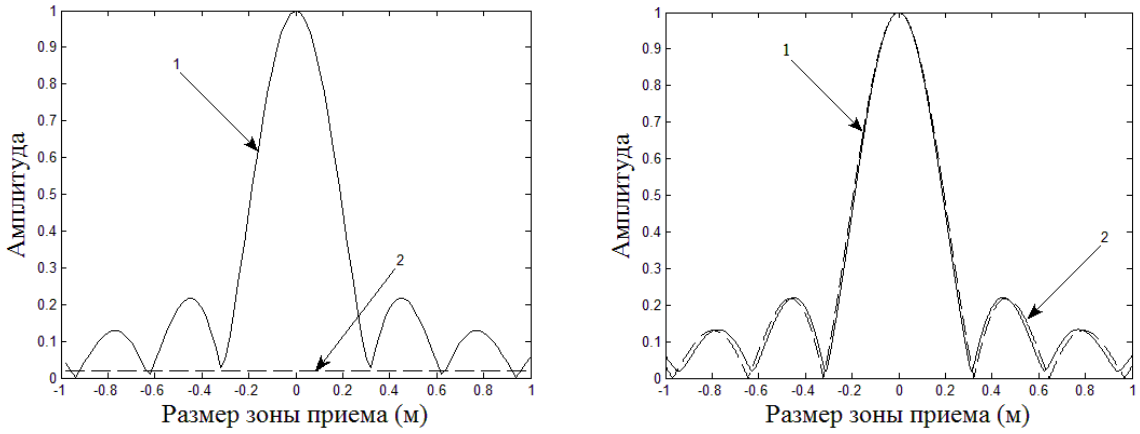
L – расстояние между передатчиком и приемником; a – радиус апертуры излучателя;

λ – длина волны излучения; $k=2\pi/\lambda$ – волновое число.

Поле на выходной апертуре излучателя моделировалось кусочно-непрерывной функцией с числом интервалов, равным числу промежутков между волокнами и одинаковым АФР в пределах каждого волокна. В промежутках между волокнами поле задавалось равным нулю.

Поле в дальней зоне рассчитывалось для одноволоконного и многоволоконного излучателей с диаметром каждого волокна, равным 50 мкм. В многоволоконном излучателе количество волокон не превышало 24-х. Дальность связи – L в расчетах составляла 1 км. Расчет проводился применительно к передающему устройству АОЛС с длиной волны излучения λ = 1,55 мкм.

Для сравнения полученных амплитудных распределений (АР) одноволоконного и многоволоконного излучателей расчеты выполнялись при одинаковых размерах излучающих апертур на выходе линзы, равных 5 мм. На рис. 2 изображены результаты расчетов АР в зоне приема для обоих типов излучателей.



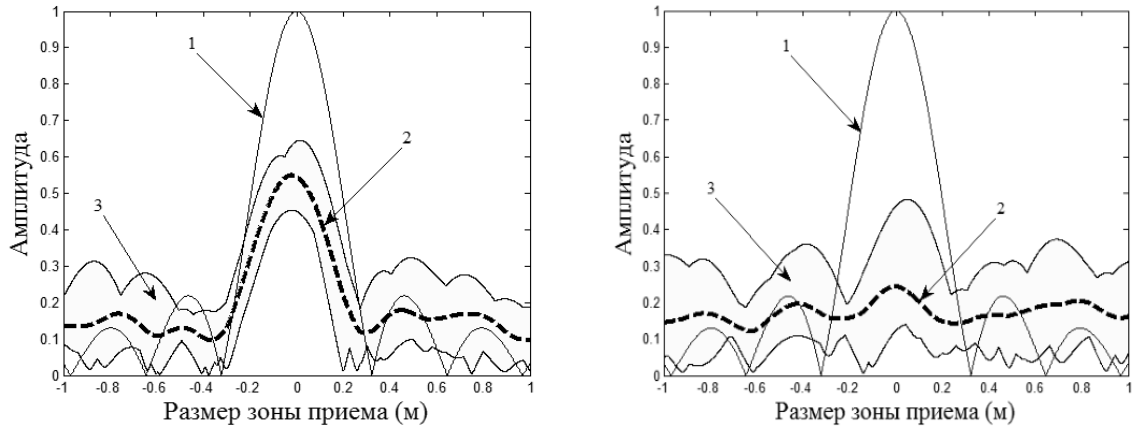
а) б)

Рис. 2. Амплитудные распределения поля излучения в зоне приема

На рисунке 2а) представлены результаты для одноволоконного излучателя, а на рисунке 2б) – для многоволоконного излучателя с равными по длине волокнами. Цифрой 1 обозначены АР в зоне приема. Пунктирные линии, отмеченные цифрой 2, соответствуют распределению поля без коллимирующей линзы. При указанных выше параметрах системы расходимость излучения для обоих типов излучателей с линзой составляет α_{o1} = 0,39 мрад.

В случае одноволоконного излучателя без линзы, вследствие его чрезвычайно малой излучающей апертуры, расходимость излучения равна α_{o2} = 37,8 мрад. Размеры поля в зоне приема составляют несколько десятков метров, а уровень сигнала сильно падает. В то же время для многоволоконного излучателя различия в амплитудных распределениях поля в дальней зоне между излучателем с линзой и без линзы практически отсутствуют. Этого и следовало ожидать, поскольку многоволоконный излучатель по сравнению с одноволоконным имеет существенно бóльшую излучающую апертуру, определяемую всеми волокнами.

Для оценки влияния ошибок длины волокон нами был рассмотрен многоволоконный излучатель, для которого в каждом сеансе расчета длина *i*-го волокна задавалась в виде $l = l_0 + \Delta l(i)$, где l_0 - общая для всех ОВ одинаковая длина, а $\Delta l(i)$ выбиралось случайным образом из диапазона, подчиняющегося нормальному закону распределения. Вследствие этого каждое волокно получало случайную фазовую добавку к первоначальному фазовому распределению. Результирующее поле в дальней зоне рассчитывалось путем усреднения полученных значений после 10 сеансов расчета. Некоторые из результатов представлены на рис. 3 для двух значений среднеквадратического отклонения $\sigma(\Delta l)$, равных соответственно 0,5 мкм и 1 мкм.



а) б)

Рис. 3– Амплитудные распределения поля излучения в зоне приема

а) $\sigma(\Delta l)$ = 0,5 мкм, б) $\sigma(\Delta l)$ = 1 мкм

На рисунке 3 цифрой 1 обозначены АР в зоне приема на дальности 1 км от излучателя при равной длине волокон и, следовательно, при одинаковом фазовом распределении поля на выходной апертуре излучателя. Цифра 2 определяет среднее значение АР для 10 сеансов расчета поля излучателя с неодинаковыми волокнами. Цифрой 3 обозначен диапазон изменений АР, ограниченный максимальными и минимальными значениями амплитуд, полученными в сеансах расчета для каждой точки зоны приема.

Полученные результаты свидетельствуют о высокой чувствительности поля в зоне приема к неравенству длины волокон. В частности, при $\sigma(\Delta l)$ = 0,5 мкм амплитуда поля на оси излучателя падает практически в два раза.

Заключение

1. Полученные результаты подтверждают преимущество многоволоконных излучателей по сравнению с одноволоконными, обусловленное повышением их мощности пропорционально количеству используемых волокон и увеличением излучающей апертуры.
2. При использовании многоволоконных излучателей наличие коллимирующей линзы не обязательно, поскольку она не оказывает существенного влияния на поле в зоне приема.
3. Различие длины волокон многоволоконного излучателя приводит к заметному искажению поля в зоне приема. В частности, при работе на λ = 1,55 мкм неравенство длины волокон более чем на 0,5 мкм может привести к потере направленности излучения. Это обстоятельство следует учитывать в процессе изготовления многоволоконного излучателя.

Список литературы

1. Компания «Лазерные Информационные Телекоммуникации» [Электронный ресурс] // ОСС Gigabit Ethernet. – URL: http://laseritc.ru/?id=178 (дата обращения: 17.02.2015)
2. Компания «Оптические ТелеСистемы» [Электронный ресурс] // ЛАНтастИКа-3Speed. – URL: http://www.optica.ru/?page=optica_21LAN3.htm (дата обращения: 17.02.2015)
3. Старостин А.А., Уймин А.А. Приемо-передающее устройство оптической атмосферной линии связи // Патент России № 2306673. 2007. Бюл. № 26.
4. Аджалов В.И. Приемо-передающее устройство оптической атмос-ферной линии связи // Патент России № 2239285. 2004. Бюл. № 30.
5. Борн М., Вольф Э. Основы оптики / Изд. 2-е. Перевод с английского. Главная редакция физико-математической литературы изд-ва «Наука», 1973. – 720 с.

Работа выполнена при поддержке Фонда В. Потанина в рамках договора о гранте № ГПК-28/14 от 29.07.2014 г.

05.22.10

Д.М. Вохмин к.т.н.

Тюменский государственный нефтегазовый университет,
Институт транспорта, кафедра «Сервис автомобилей и технологических машин»,
г. Тюмень, eom@tsogu.ru

ОБОСНОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ЗАКОКСОВАННОСТИ РАСПЫЛИТЕЛЕЙ НА ПЕРИОДИЧНОСТЬ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ФОРСУНОК ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

В статье рассматривается вопрос взаимосвязи факторов условий работы автомобиля и надёжности работы форсунок двигателя. На основе экспериментальных данных о параметрах технического состояния в зависимости от наработки, рассмотрены закономерности изменения параметров технического состояния форсунки по наработке. Установлены закономерности влияния наработки и скорости движения автомобиля на интенсивности изменения параметров технического состояния форсунки. Выявлена закономерность влияния технической скорости на ресурсы до достижения предельного значения по параметрам технического состояния.

Ключевые слова: *надёжность, среднетехническая скорость, форсунка, наработка, ресурс, техническое состояние.*

Существующие нормативы периодичности обслуживания недостаточно учитывают влияние режима работы автомобилей на изменение надежности форсунок. Это ведет к преждевременному выходу из строя узлов и деталей топливной аппаратуры, а также эксплуатации автомобилей с неисправной системой подачи топлива. Следствие этого - увеличение числа отказов автомобилей, снижение безопасности движения, экологической безопасности, повышение расхода топлива, снижение мощности двигателя и, как следствие, снижение эффективности использования подвижного состава в целом.

В настоящее время периодичность обслуживания форсунок автомобилей КамАЗ регламентируется пробегом по сервисной книжке и соответствует периодичности сезонного технического обслуживания СТО (сервис С), что соответствует в зависимости от категории условий эксплуатации периодичности от 25,6 до 32,0 тыс. км. В целях проверки справедливости данных рекомендаций с учетом различных среднетехнических скоростей было проведено моделирование, основанное на методе определения периодичности по допустимому уровню безотказности.

Цель эксперимента – проверить гипотезы о виде математических моделей, а также определить численные значения входящих в них параметров.

В процессе экспериментов решались следующие задачи.

1. Установить закономерности изменения параметров технического состояния форсунки по наработке $Y = f(L)$.

2. Установить закономерность влияния наработки и скорости движения автомобиля на интенсивности изменения параметров технического состояния форсунки $y = f(L)$, $y = f(V_m)$.

3. Установить закономерность влияния технической скорости на ресурсы до достижения предельного значения по параметрам технического состояния $L = f(V_m)$.

Эксперимент проводится в два этапа. На первом собирались статистические данные о средней технической скорости эксплуатации, о техническом состоянии форсунок на предприятиях. Второй этап предусматривал эксперимент на имитационной модели для определения оптимальной периодичности ТО при различных среднетехнических скоростях эксплуатации автомобилей по различным параметрам технического состояния.

Для оценки адекватности моделей, разработанных в аналитических исследованиях, и определения численных значений их параметров выполнены расчеты с использованием программы «REGRESS 2.5» [1].

Рисунок 1 иллюстрирует зависимости параметров технического состояния форсунок от наработки.

На рис. 2 представлена в графическом виде зависимости интенсивностей изменения коэффициента закоксованности от наработки и средней технической скорости автомобиля.

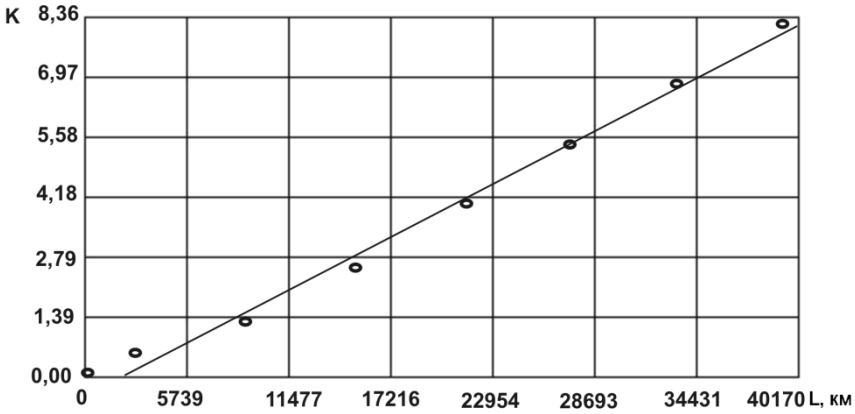


Рис. 2. Изменение коэффициента закоксованности по наработке автомобиля

Зависимость интенсивности изменения коэффициента закоксованности *К* от средней технической скорости и наработки описывается следующей моделью:

$$y_к = 0{,}09 \cdot e^{0{,}027 \cdot L} \cdot e^{(-0{,}039) \cdot Vm}, \text{ 1/км.}$$

Ошибка аппроксимации для различных показателей технического состояния находится в пределах 1,42…7,36 %, уровень адекватности математических моделей, оцененный по критерию Фишера, превышает 0,95.

Для оценки адекватности имитационной модели генерировались выборки ресурсов форсунок для различных условий эксплуатации. Полученные данные сравнивались с фактической долговечностью в этих условиях. Анализ результатов имитационного эксперимента показал, что различие расчетных и фактических средних ресурсов форсунок не превышает 10 % и в среднем составляет 7,6 %, что свидетельствует о достаточной адекватности модели.

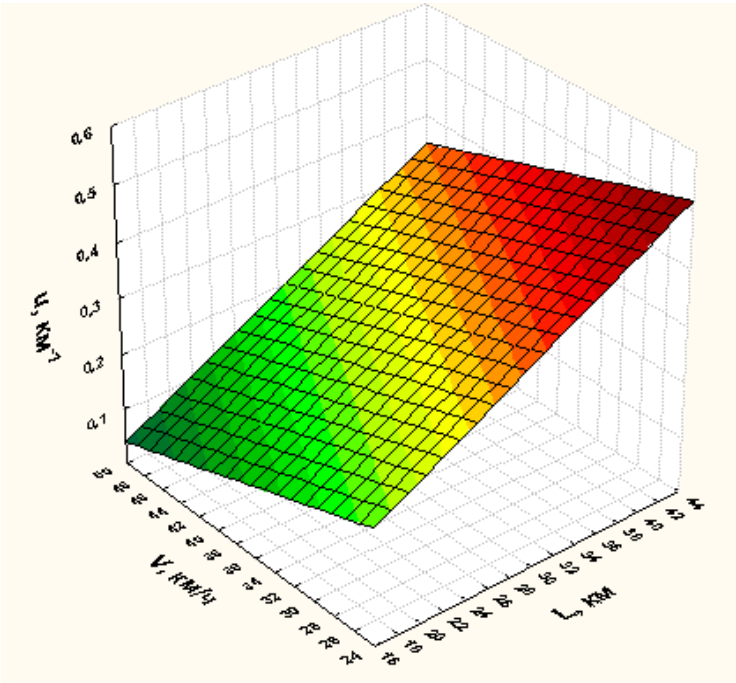


Рис. 2. Зависимость интенсивности изменения коэффициента закоксованности К от средней технической скорости $V_т$ и наработки L

Ниже приведена модель закономерностей влияния средней технической скорости на 90%-ные наработки до достижения предельно допустимых значений по параметрам технического состояния форсунок:

$$L_K = 10{,}4 \cdot e^{0{,}026 \cdot V_m}, \text{ тыс. км.}$$

Рисунок 3 иллюстрирует зависимость наработки до достижения предельного состояния по параметру технического состояния *К* форсунок от средней технической скорости.

По результатам этих исследований дается рекомендация производить проверку форсунок в эксплуатационных условиях в соответствии со значениями наработки приведенными в таблице [2].

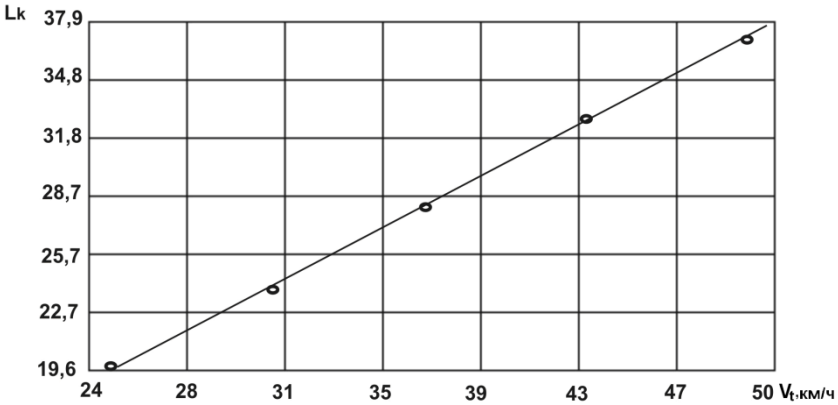


Рис. 3. Влияние $V_т$ на наработку до достижения предельно допустимого значения по коэффициенту закоксованности К

Таблица

Изменение показателей надежности ресурса форсунки

Скорость $V_т$ км/ч	коэффициент закоксованности К
49	37,112
43	32,910
37	28,290
31	23,641
25	**19,830**

Выделенные жирным шрифтом значения указывают на необходимость корректировки периодичности ТО в сторону их сокращения, что приведет к увеличению ресурса распылителя и форсунки в целом, а также двигателя автомобиля и его эксплуатационных показателей.

Путем периодической чистки закоксованных распылителей обеспечивается их наработка в 300 тыс. км. Полученные результаты могут служить основой для разработки методик прогнозирования ресурсов форсунок, интенсивность изменения которых зависит от условий работы автомобиля.

Список литературы

1. *Захаров Н.С.* Влияние сезонных условий на процессы изменения качества автомобилей: Автореферат дис. … д-ра техн. наук. – Тюмень, 2000. – 42 с.

2. *Вохмин Д.М.* Влияние режимов работы автомобилей на надежность топливной аппаратуры дизельных двигателей: дис. … канд. техн. наук. – Тюмень, 2005. – 212 с.

05.22.10

Д.М. Вохмин к.т.н., В.Д. Ильиных

Тюменский государственный нефтегазовый университет,
Институт транспорта, кафедра «Сервис автомобилей и технологических машин»,
г. Тюмень, eom@tsogu.ru

МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ РЕСУРСА РАСПЫЛИТЕЛЕЙ ФОРСУНОК ДВИГАТЕЛЕЙ 740.31-240 АВТОМОБИЛЕЙ КАМАЗ-53215 С УЧЕТОМ СРЕДНЕЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ СКОРОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ

В статье рассматривается вопрос взаимосвязи факторов условий работы автомобиля и надёжности работы форсунок двигателя. В соответствии с концепцией формирования качества автомобилей в процессе эксплуатации, представлена концепция формирования реализуемого ресурса форсунок. Представлены численные значения модели закономерностей влияния средней технической скорости на наработки до достижения предельно допустимых значений по параметрам технического состояния форсунок.

Ключевые слова: *надёжность, среднетехническая скорость, форсунка, наработка, ресурс, техническое состояние.*

Режим работы автомобиля влияет на интенсивность изменения технического состояния топливной аппаратуры, что ведет к изменению наработок на достижение предельно допустимого состояния.

Фактически надежность форсунок, обусловленная стабильностью показателей работы и безотказностью распылителей, в значительной степени зависит от температурного режима их работы, вида применяемого топлива, изменения закона подачи топлива и характера процесса впрыска в связи с нарушением регулировок дизеля.

Применительно к условиям реальной эксплуатации особенно актуально сочетание наработки и средней технической скорости эксплуатации. Так, если один автомобиль эксплуатируется преимущественно за городом, а другой – преимущественно в городских условиях, то их условия эксплуатации будут существенно отличаться.

Для моделирования закономерности формирования реализуемого ресурса форсунок система «Время – реализуемый ресурс» структурируется, затем на основе локальных моделей взаимодействий элементов компонуется модель системы в целом.

В соответствии с концепцией формирования качества автомобилей в процессе эксплуатации, разработанной Захаровым Н.С. [1], представлена концепция формирования реализуемого ресурса форсунок рис. 1.

Скорость процесса расходования ресурса форсунок характеризуется интенсивностью расходования *y*. На основе закономерности изменения *y* по времени *T* можно спрогнозировать значение параметров технического состояния к моменту T_i, используя выражение

$$Y = Y_0 + \int_{L(T_0)}^{L(T_i)} y(T) \cdot dT.$$

Учитывая, что *y* зависит от средней технической скорости эксплуатации и наработки, а эти факторы в свою очередь зависят от времени, необходимо установить закономерности влияния наработки и средней технической скорости на интенсивность изменения технического состояния, характеризуемого коэффициентом стабильности λ, герметичностью запорного конуса δ, коэффициентом закоксованности *K*, неравномерностью топливоподачи σ, твердостью металла распылителя *H*. Затем необходимо разработать соответствующие математические модели.

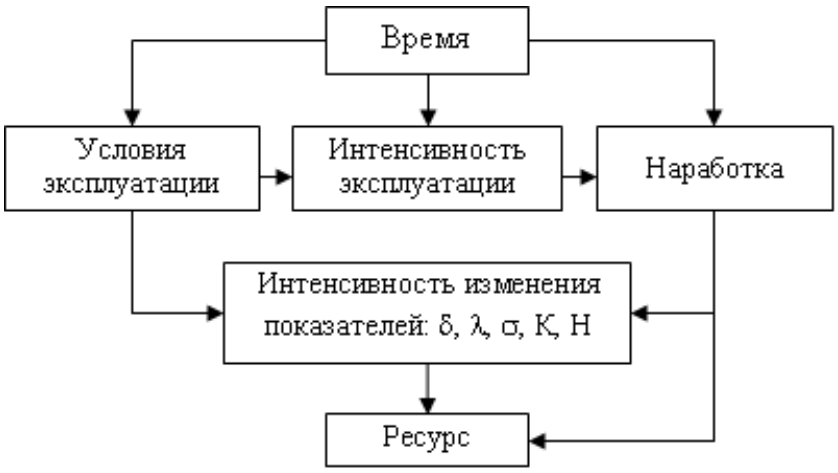


Рис. 1. Структура исследуемой системы

Для дифференциального показателя, каким является интенсивность расходования ресурса форсунок, с учетом закономерностей изменения наработки и условий эксплуатации по времени можно записать в общем, виде:

$$y = f(L(T); X(T)).$$

Чтобы получить аналогичное выражение для интегрального показателя, каким является расход ресурса, воспользуемся методом замены переменных при интегрировании:

$$Y = Y_0 + \int_{L(T_0)}^{L(T_i)} f(L(T); X(T)) \cdot dT.$$

В ходе аналитических исследований были выдвинуты гипотезы о виде математических моделей влияния средней технической скорости на интенсивности изменения параметров технического состояния форсунок, а также о законах распределения наработок на достижение предельно допустимых значений по различным параметрам технического состояния.

Для определения периодичностей ТО форсунок при различных скоростных режимах эксплуатации автомобилей с помощью разработанной программы «Resurs-F» смоделированы 90%-ные наработки на достижение предельно допустимого значения по параметрам технического состояния форсунок для средней технической скорости 25, 31, 37, 43, 49 км/ч.

Данные показателей технического состояния для различной среднетехнической скорости $V_т$, приведены в таблице.

Таблица

Изменение показателей надежности ресурса форсунки

Скорость $V_т$ км/ч	Наработка L (тыс. км)				
	коэффициент стабильности λ (тыс. км)	коэффициент закоксованности К (тыс. км)	твердость металла распылителя HRC (тыс. км)	герметичность запорного конуса δ (тыс. км)	неравномерность топливоподачи σ (тыс. км)
49	**20,953**	37,112	331,33	32,293	51,037
43	**20,028**	32,910	-	27,810	44,539
37	**15,973**	28,290	255,26	24,768	37,527
31	**13,033**	23,641	-	**19,428**	31,989
25	**10,219**	**19,830**	167,73	**17,784**	25,630

Выделенные жирным шрифтом значения указывают на необходимость корректировки периодичности ТО в сторону их сокращения.

Использование программного пакета «RESURS-F», написанного на языке «Microsoft Visual Basic 6.0», на основе которого для конкретных исходных данных можно рассчитать наработку до достижения предельно допустимых значений параметров технического состояния в определенных условиях эксплуатации рис. 2.

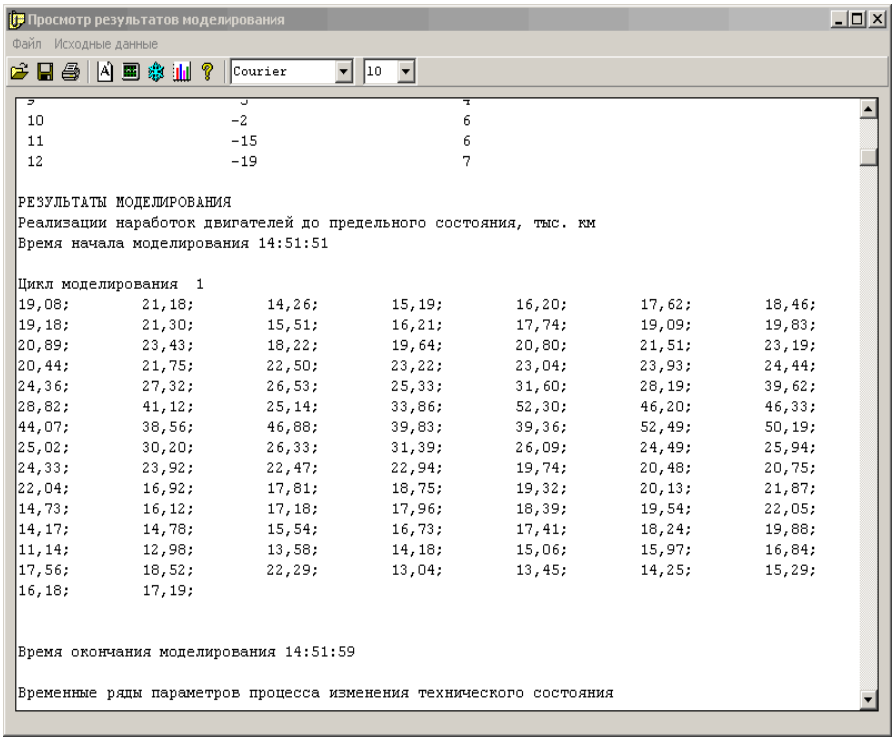


Рис. 2. Фрагмент результатов моделирования наработок в программе «RESURS-F»

Использование полученных результатов создает предпосылки для обеспечения своевременного проведения ТО. При этом обеспечивается заданная вероятность безотказной работы и соответствующий коэффициент технической готовности. При внедрении мероприятий, направленных на обеспечение своевременного проведения ТО, экономический эффект образуется за счет сокращения числа отказов, а также сокращения трудоемкости обслуживания.

Список литературы

1. *Захаров Н.С.* Влияние сезонных условий на процессы изменения качества автомобилей: дис. … д-ра техн. наук. – Тюмень, 2000. – 525 с.
2. *Вохмин Д.М.* Влияние режимов работы автомобилей на надежность топливной аппаратуры дизельных двигателей: дис. … к-та техн. наук. – Тюмень, 2005. – 212 с.

05.09.03

Р.М. Галиев, А.З. Гумеров, Р.Т. Насибуллин, А.Ш. Садриев, Р.Ш. Садриев, Л.Р. Саримов

Набережночелнинский институт КФУ, кафедра «Электроэнергетика и электротехника», Набережные Челны, nasibullin.ramil@mail.ru

ЭЛЕКТРОННЫЙ СЕЛЕКТОР ДЛЯ КОРОБКИ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ ПЕРЕДАЧ ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ КАМАЗ

Представлена система электронного селектора для механической коробки переключения передач. Разработанная электронная система позволяет дистанционно переключать передачи автомобиля. Эта система облегчает условия работы водителя и увеличивает комфортность вождения.

Ключевые слова: *коробка переключения передач, электронный селектор, дистанционное управление.*

Современные автомобили являются средством передвижения и перевозки пассажиров и грузов. Поэтому к ним предъявляются особые требования по безопасности, удобству, комфорту, экологичности и экономичности.

Особо загруженными являются городские дороги, поэтому важно уделить особое внимание городскому автотранспорту: автобусам и средне- и малотоннажным грузовикам. Одним из направлений нацеленных на повышение комфорта передвижений являются автоматические, полуавтоматические и вариаторные трансмиссии. Гидротрансформаторные автоматы, в силу своего низкого КПД, и вариаторные трансмиссии, не способные передавать большие крутящие моменты, уступают роботизированным КПП. Роботизированные КПП позволяют значительно снизить физическую нагрузку на водителя при движении по городу, где необходимо часто осуществлять переключения передач, что особо актуально для грузового транспорта и автобусов.

Однако в настоящее время в эксплуатации находится большое количество автотранспорта, оснащенного механическими КПП и замена типа трансмиссии на них невозможна. Повышения комфортности вождения для таких автомобилей можно добиться заменой механического переключателя выбора передачи на электронный селектор, который уже будет приводить в движение исполнительный механизм, ответственный за переключение передач. Такой электронный селектор не станет полноценной роботизированной трансмиссией, однако позволит уменьшить нагрузку, возникающую при перемещении рычага механической коробки переключения передач. Система работает в полуавтоматическом режиме, т.е. момент переключения передач и номер передачи определяется водителем, а сам процесс переключения передач осуществляется автоматически.

В качестве экспериментальной платформы был использован широко распространенный грузовой автомобиль КамАЗ-4308. На данном автомобиле устанавливается пятиступенчатая механическая КПП «КамАЗ-141». Эта же КПП устанавливается и на автобусы НефАЗ-5299, что расширяет возможности использования разрабатываемого проекта.

Исполнительный механизм устанавливается на верхнюю крышку коробки передач вместо опоры рычага переключения передач (рис. 1). Он реализован на базе двух шаговых двигателей и одной винтовой передачи (рис. 2). Каждый шаговый двигатель отвечает за одно из возможных направлений движения рычага, а в совокупности двумя двигателями переключаются все передачи КПП. Выбор шаговых двигателей в исполнительном механизме был обоснован следующими их преимуществами:

1. Возможность быстрого старта/ остановки/ реверсирования.

2. Угол поворота ротора определяется числом импульсов поданных на двигатель.

3. Высокая надежность, связанная с отсутствием щеток. Срок службы определяется ресурсом подшипников.

4. Возможность покрытия широкого диапазона скоростей вращения.

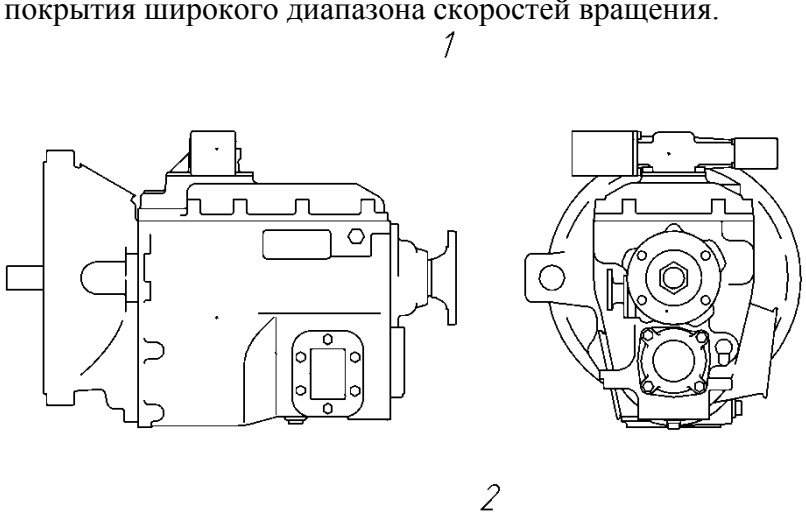


Рис. 1 – Расположение исполнительного механизма на КПП
1 – исполнительный механизм, 2 – КПП

Сам управляющий орган разрабатываемой системы – селектор – размещается в кабине водителя, на месте рычага переключения передач. Данной размещение обусловлено минимизацией возможного дискомфорта для водителя, который может создаться при замене рычага переключения передач на электронный селектор. Селектор сделан на подобии «джойстика», при переключении на выбранную передачу происходит срабатывание датчиков, расположенных в селекторе. После выбора нужной передачи рычаг селектора фиксируется в конечном положении. При выводе рычага из любого из крайних положений, он автоматически переводится и фиксируется в нейтральном положении.

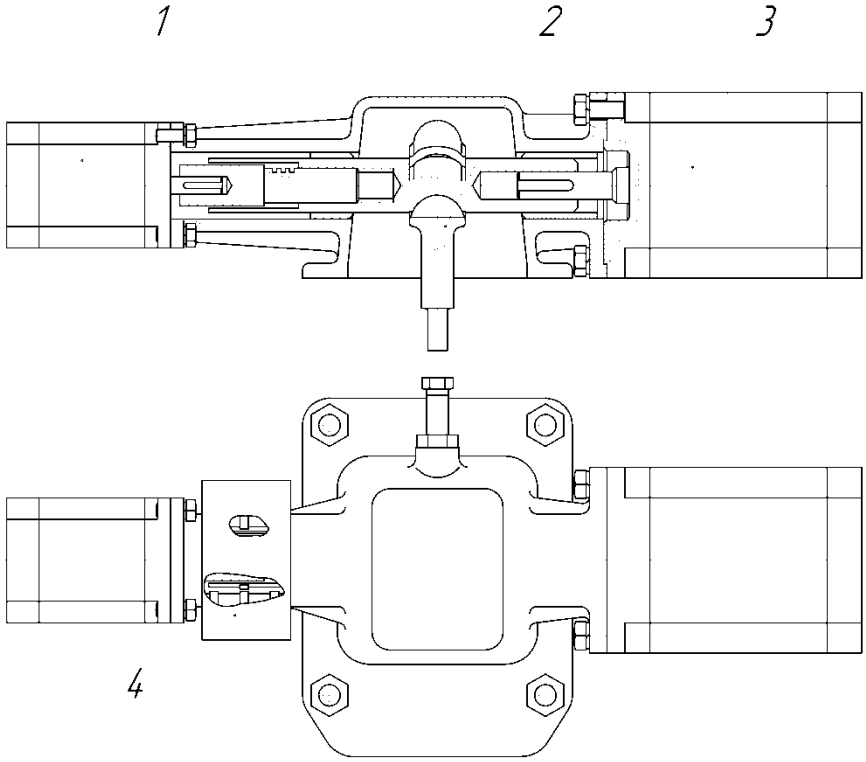


Рис. 2 – Исполнительный механизм
1 – двигатель продольного перемещения, 2 – рычаг КПП, 3 – двигатель поперечного перемещения, 4 – датчики включения передачи

Структурная схема системы электронного селектора показана на рисунке 3. Сигнал от датчиков селектора поступает в электронный блок управления (ЭБУ), который формирует управляющие сигналы на исполнительный механизм. При нажатии педали сцепления, срабатывает датчик сцепления, который своим сигналом дает разрешение на срабатывание выбранного исполнительного механизма. Процесс переключения сопровождается звуковым сигналом. При совпадении положений рычагов селектора и исполнительного механизма переключение заканчивается и звуковой сигнал прекращается. Переключение КПП на выбранную передачу фиксируется датчиками включения передачи, находящимися в исполнительном механизме. Номер включенной передачи высвечивается на блоке индикации. При отпускании педали сцепления, датчик сцепления снимает разрешающий сигнал на ЭБУ и возможность переключения передач блокируется.

Основой принципиальной схемы экспериментального образца является платформа Arduino. Программирование контроллера осуществлялось с применением средств визуального программирования в средах Matab/Simulink/Stateflow. Для подключения двигателей использованы дополнительные усилители, т.к. шаговые двигатели имеют бóльшие токи и напряжения, по сравнению с другими элементами схемы.

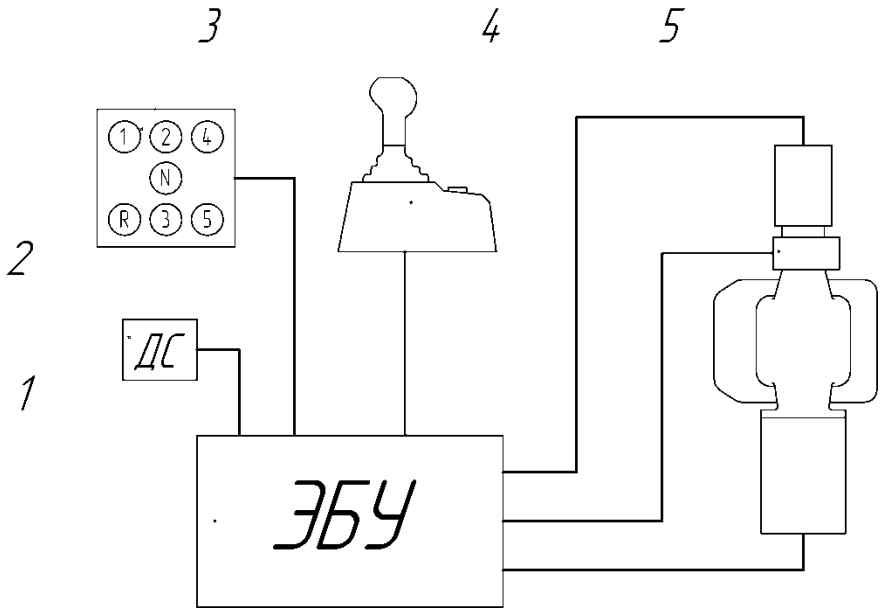


Рис. 3 – Структурная схема системы электронного селектора
1 – электронный блок управления, 2 – датчик сцепления, 3 – блок индикации, 4 – селектор, 5 – исполнительный механизм

Благодаря исключению механической связи между рычагом переключения передач и КПП возможно размещение электронного селектора в любом участке кабины водителя. Это позволяет более гибко использовать и настраивать рабочее пространство водителя. Кроме того, такое дистанционное управление оказывается удобным на автобусах НефАЗ, так как в автобусах силовая установка находится в задней части кузова.

Испытания экспериментального образца показали работоспособность системы в целом. При этом были определены направления дальнейшего её совершенствования:

1. Увеличение быстродействия винтовой передачи, уменьшение её люфта.
2. Доработка привода продольного перемещения исполнительного механизма червячным редуктором.
3. Перенос функции драйвера шаговых двигателей на отдельный микроконтроллер для упрощения программирования основного контроллера.
4. Введение в схему датчиков частоты вращения валов двигателя и КПП для электронной блокировки переключения на передачи, недопустимые при данных частотах вращения.
5. Соединение системы электронного селектора с CAN-шиной автомобиля.

05.02.07

Т.П. Дворянинова, А.В. Жданов к.т.н., Л.В. Беляев к.т.н.

Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых, Владимир, zhdanov@vlsu.ru

ОЦЕНКА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО СПЕКАНИЯ

Приводятся результаты теоретических исследований производительности процесса селективного лазерного спекания металлических порошков. Получены графические зависимости от основных технологических факторов процесса: температуры поверхности, мощности лазерного излучения, объема детали и угла подъема слоя. Выявлены рациональные режимы спекания для заданных материалов.

Ключевые слова: *селективное лазерное спекание (СЛС), производительность, технологические параметры.*

Последнее десятилетие характеризуется активным развитием аддитивного производства и новых технологии по созданию объектов за счет нанесения последовательных слоев материала. Эти слои, соответствующие виртуальным поперечным сечениям в CAD-модели, соединяются или сплавляются вместе для создания заданного объекта. Такие технологии могут приниматься на любом производственном этапе: для изготовления опытных образцов, готовых изделий неограниченной геометрической сложности. Основное преимущество быстрого изготовления готовой детали из металлических порошков состоит в том, что деталь создается за один прием. Построение модели может занимать от нескольких часов до нескольких дней, это зависит от используемой установки, размера деталей, их количества и материала, но отпадает необходимость в проектировании технологического процесса, применения специальной оснастки.

Различают следующие методы спекания металлических порошков: методы основанные на плавке или размягчении расходных материалов для создании слоев - выборочное селективное лазерное спекание - СЛС (англ. SLS) - процесс послойного спекания порошков лазерным лучом; выборочная лазерная плавка (SLM); прямое лазерное спекание металлов (DMLS). SLS технология наиболее универсальна, использует несколько видов материалов, не требует специальных поддерживающих структур из-за особенности технологии, практически безотходна.

Для производства точных изделий методом СЛС затрачивается значительное количество времени. Поэтому повышение производительности СЛС является актуальной задачей. Выяснено, что при повышении точности изготовления детали производительность процесса значительно снижается. Установлено, что точность изготовления определяется исходя из толщины слоя – чем он тоньше, тем выше точность.

Время формирования детали при СЛС состоит из циклически повторяющихся процессов (рис. 1): нанесение слоя исходного материала – непосредственного получения очередного слоя модели – возвращение рабочего органа в исходное положение – перемещение модели (на необходимую величину) для нанесения последующего слоя. Его можно сократить тремя способами: увеличением толщины слоя, скорости сканирования и скорости холостых ходов. [1]

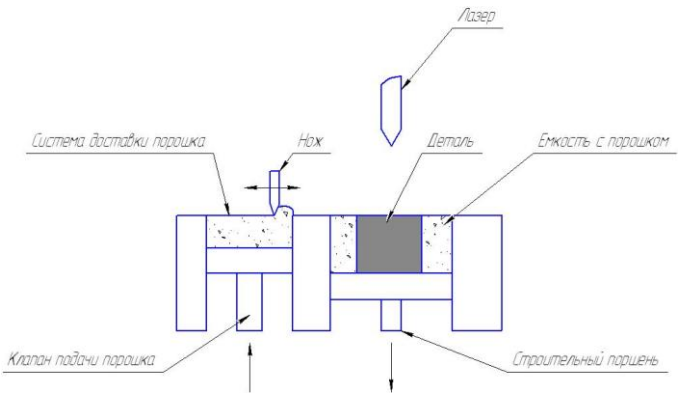


Рис.1 Принцип работы СЛС

Для изменения скорости сканирования и холостых ходов необходимо улучшение технического оснащения. Варьирование толщины слоя влияет на производительность, как количество получаемых слоев в единицу времени [1]. При традиционном подходе циклическую производительность процесса создания детали, определяем:

$$Q = \frac{1}{T_{\Sigma}} = \frac{1}{T_{пд} + \sum_{i=1}^{n}(t_{pi} + t_i) + T_{до}}, \quad (1)$$

Выражение позволяет численно оценить величину воздействия излучения и расширить возможности технологии СЛС, т.е. появляется возможность изготовления послойных прототипов с переменной толщиной слоя, что влечет за собой повышение их точности и скорости изготовления. Толщина слоя определяется по формуле

$$z = \sqrt{\frac{\pi^3 Th^2 \lambda^2 d^4}{16A^2 Pm^2}}, \quad (2)$$

где Th – температура в момент начала обработки; λ – теплопроводность; d – диаметр лазерного пятна; A – коэффициент поглощения; Pm - мощность лазерного излучения. [2]

Тогда определение производительности процесса с учетом теплофизических характеристик материала:

$$Q = \frac{60\pi^{2,5} V d \cos\varphi \sqrt{\frac{\pi^3 Th^2 \lambda^2 d^4}{16A^2 Pm^2}}}{16F\sqrt{1-P^2} + \pi^{2,5} T d V d \cos\varphi \sqrt{\frac{\pi^3 Th^2 \lambda^2 d^4}{16A^2 Pm^2}} + \pi^{2,5} T p V d \cos\varphi \sqrt{\frac{\pi^3 Th^2 \lambda^2 d^4}{16A^2 Pm^2}} + 4\pi F V d t \cos\varphi} \quad (3)$$

где F – объем модели; V- скорость перемещения лазера, мм/мин; P – коэффициент технологичности формы модели; φ - угол подъема номинального профиля [3].

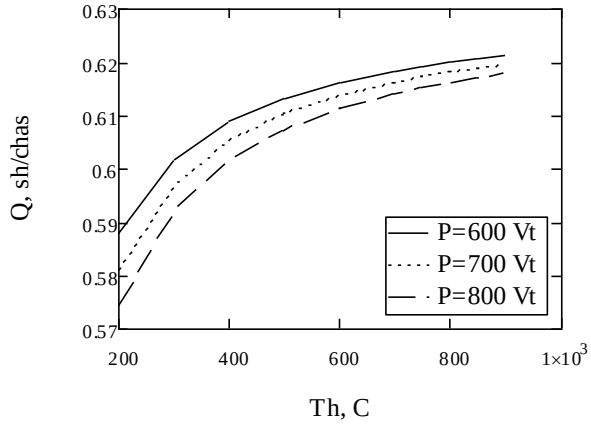
Полученная математическая модель (3) характеризует зависимость производительности от следующих технологических параметров: V (скорость движения лазерного луча); d (диаметр лазерного излучения); Pm (лазерная мощность). Для оценки полученной модели в таблице приведены примерные технологические режимы.

Таблица 1

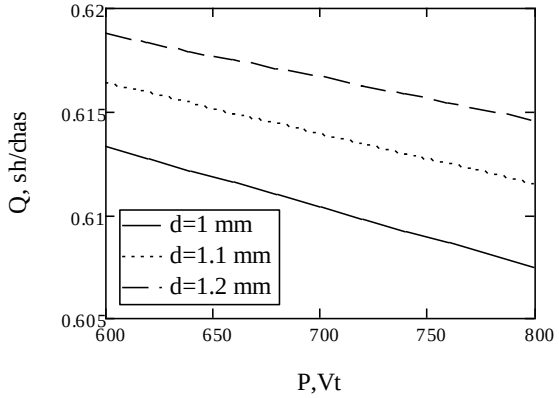
Технологические режимы обработки СЛС

Режим	Обозначение	Значение
Скорость перемещения лазера	*V*, мм/мин	100
Диаметр лазерного пятна	*d*, мм	1
Объем детали	*F*, мм^3	100-500
Угол подъема номинального профиля	*φ*	65-75˚
Технологичность формы детали	*P*	0,67
Время подготовки данных	$T_д$, мин	5
Время холостого хода	t_x , мин	1
Время дополнительной обработки	T_p, мин	90
Мощность лазерного излучения	*Pm*, Вт	600-800
Коэффициент поглощения	*A*	0,5
Эквивалентная теплопроводность	*λ*, Вт/(м·К)	20

Графики зависимости производительности СЛС от технологических режимов представлены на рис. 2-3. Полученный алгоритм решения производительности в программе MathCAD возможно использовать для других материалов и технологических режимов.

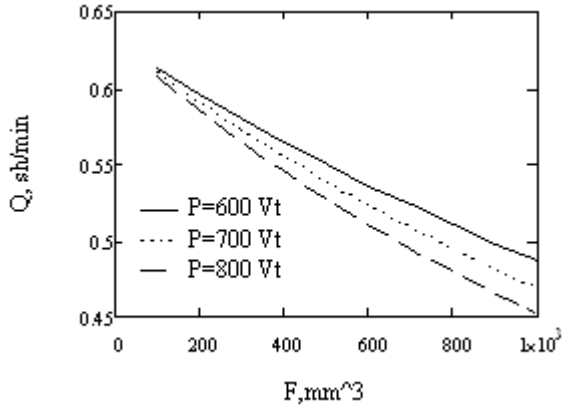


а) от температуры поверхности Th (˚С) при Pm=600;700 и 800 Вт;

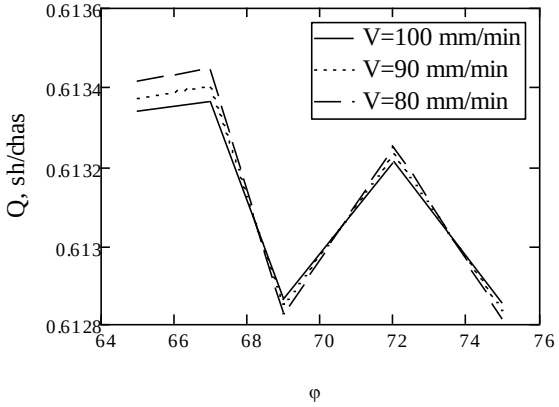


б) от мощности лазерного излучения Pm (Вт) при d=1; 1,1 и1,2 мм

Рис. 2. Зависимость производительности Q(шт/час)



а) от объема детали F(мм^3) при P=600Вт; P=800 Вт; P=700 Вт



б) от угла подъема (φ) при V=100 мм/мин; V=90мм/мин; V=80мм/мин

Рис. 3 Зависимость производительности Q (шт/час)

На рис. 2,а изображена зависимость производительности СЛС от температуры поверхности. Она является показательной для переменной толщины слоя Z, т.к. с повышением температуры слой увеличивается и растет производительность. При увеличении температуры с 200˚С до 320˚С при P=700 Вт заметна линейная зависимость, которая повышает производительность с 0,59 до 0,605 шт/час, т.е. на 2,5%. Далее рост более плавный и после 800˚С растет незаметно. При этом с уменьшением мощности Pm уменьшается температура в зоне обработке, требуется более долгий импульс для ее восстановления. На рис. 2,б изображена зависимость производительности СЛС от мощности лазерного излучения Pm при различном диаметре лазерного излучения d =1…1,2мм. Увеличение лазерного пятна оказывает положительное действие на производительность. С увеличением мощности с 600 Вт до 800 Вт производительность уменьшается линейно, с 0,617 до 0,614 шт/час. Самое заметное уменьшение происходит при d = 1мм – с 0,613 до 0,607 шт/час. На рис. 3,а изображена зависимость производительности СЛС от объема детали F, при различной лазерной мощности. Зависимость носит линейный характер: так при Pm = 600 Вт и увеличением объема детали с 100 до 1000 мм3, производительность обработки падает 0,615 до 0,49 шт/час (на 20,3%).

На рис. 3,б изображена зависимость производительности СЛС от угла подъема φ, при различной скорости перемещения лазерного излучения. Варьирование скорости перемещения лазерного излучения, изменения угла наклона профиля оказывают незначительное действие на производительность. Характер поведения графика связано со свойствами функции cos - она является периодичной и принимает отрицательные значения, как при cos 67 =-0,517. Изменения угла с 65 до 75˚ уменьшает производительность с 0.6134 до 0,6129 шт/мин, т.е. на 0,08%.

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации в рамках научного проекта МК-5860.2015.8.

Список литературы

1. *Сапрыкин А.А.* Повышение производительности процесса СЛС при изготовлении прототипов: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн.наук (05.03.01, 05.16.01). Томск, 2006.-16 с.
2. *Шишковский И.В.* СЛС и синтез функциональных структур: автореф. дис. на соиск. учен. степ. докт. физ.-матем.наук (05.02.07, 05.16.09). Самара, 2005. 18 с.
3. *Гусаров А.В.* Физические модели воздействия лазерного излучения на конденсированные вещества в лазерной технологии получения материалов: автореф. дисс. на соиск. учен.степ. докт. физ.-мат. наук (01.04.21). Москва, 2011. 44с.

05.13.19

Н.А. Дородников

Университет ИТМО, кафедра Проектирования и безопасности компьютерных систем, Санкт-Петербург, nucleofag@gmail.com

РЕАЛИЗАЦИЯ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛИ УНИВЕРСАЛЬНОЙ ЛВС В МОМЕНТ ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ УГРОЗАМ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

В статье рассматривается способ расчета параметров модели универсальной ЛВС в момент противодействия угрозам информационной безопасности, основанный на использовании генетического алгоритма. Описывается спроектированная модель ЛВС, параметры разрабатываемого алгоритма, а также – его реализация.

Ключевые слова: *генетический алгоритм, расчет параметров ЛВС, ниверсальная схема ЛВС, математическая модель, информационная безопасность.*

Вопросам информационной безопасности в локальных сетях предприятий сегодня уделяется большое внимание. Важно взять под контроль безопасность сети еще на этапе проектирования, учитывая возможные варианты сетей, их совокупности и особенности, взаимное влияние элементов сети друг на друга. Для этого необходимо произвести качественный и количественный анализ проектируемой сети на предмет устойчивости к угрозам различного вида и предложить методы получения оптимальных параметров модели ЛВС. [1]

Целью данной работы является разработка алгоритма, реализующего количественный анализ и оптимизацию параметров на основе типовой универсальной схемы локальной сети. В качестве способа решения задач оптимизации был выбран эвристический алгоритм поиска, а именно - генетический алгоритм. Это обусловлено успешным использованием данных методов при решении задач многокритериальной оптимизации, проектирования сложных систем и систем управления. Исследование будет производиться на модели сети, подвергающейся в данной момент атаке, чтобы учитывать различную природу протекающих в сети процессов и, соответственно, зависящих от них характеристик ЛВС.

В предложенной схеме универсальной ЛВС задействованы три уровня модели OSI: физический, канальный и сетевой, в связи с чем, выделены три представления: *общее* (учитывает топологию квазиподсети как на канальном и физическом уровнях, так и на сетевом уровне модели OSI), *канальное* (учёт топологии квазиподсети только на канальном уровне модели OSI (а также на физическом уровне, являющемся его компонентом)) и *сетевое* (учёт только топологии квазиподсети на сетевом уровне). Все представления в нашей модели являются рекурсивными графами коммуникации, узлами которого являются конечные узлы (ПК, сервера, узлы IP-телефонии, устройства печати и сканирования итд.) и разветвители, к которым подсоединены вложенные графы коммуникации того же рода (каждый граф отвечает квазиподсети той или иной степени вложенности).[2]

При разработке методологии количественной оценки нарушений/компрометации квазиподсети мы сталкиваемся с тем, что эти характеристики проявляются не в статике, а в динамике, причём зависящие от них процессы (разрушения/взлома) могут протекать по-разному в силу различной природы. Поэтому наши количественные оценки должны фиксировать динамику, а не статику системы. Например, в качестве оценки мы можем взять не скаляр, а, например, функцию зависимости некоторой характеристики системы от времени (с начала взлома/разрушения или от настоящего момента).

После того, как установлены виды целевых функций для конечных узлов, необходимо произвести расчет их для квазиподсети по значению тех же целевых функции для конечных

узлов и вложенных квазиподсетей. В нашем случае, целевыми функциями является *целостность* (безопасность структуры квазиподсети) и *конфиденциальность* (безопасность данных в квазиподсети). Целевые функции выбраны так, чтобы они обладали аддитивностью (недоступность – величина, противоположная целостности):

- недоступность в канальном представлении;
- недоступность в сетевом представлении;
- конфиденциальность в сетевом представлении.

Метод решения задачи оптимизации - применение генетического алгоритма. Для того, чтобы можно было применять генетические алгоритмы, нужно задать (скалярную) фитнес-функцию, которая позволяла бы определить относительную “хорошесть” решения. Как было сказано выше, количественные оценки нарушений/компрометации квазиподсети могут представляют из себя элементы функционального, а не скалярного, пространства. В этом случае перед применением модели на практике необходимо задать *норму* в пространстве количественных оценок.

Недоступность в канальном представлении (НКП) - функция зависимости степени нарушения структуры конечного узла или квазиподсети от времени (0 - ненарушенная структура; 1 - абсолютно нарушенная структура, конечный узел или квазиподсеть полностью неработоспособны). При агрегировании квазиподсети совокупная НКП рассчитывается через НКП конечных узлов, вложенных квазиподсетей и связей, ведущих к ним, по следующей формуле:

$$\text{НКП}_G = \text{НКП}_{g_0} * \frac{1}{N} * \sum_{i=1}^{N} \text{НКП}_{g_i} * \text{НКП}_{l_{0i}},$$

где g_i- узлы и вложенные квазиподсети квазиподсети G,

g_0- устройство в точке входа в G, аl_{0i}- соединения между g_0 и g_i.

Естественная норма для оценки НКП - значение НКП в определённый момент времени (например, задаваемый пользователем при помощи ползунка).

Недоступность в сетевом представлении (НСП) - функция зависимости степени “проседания” узла или связи (отношения скорости передачи данных к скорости передачи в штатном режиме) от времени и интенсивности таргетированной атаки.

При агрегировании квазиподсети совокупная НСП рассчитывается через НСП конечных узлов, вложенных квазиподсетей и связей, ведущих к ним, по следующей формуле:

$$\text{НСП}_G = \text{НСП}_{g_0} * \frac{1}{N} * \sum_{i=1}^{N} \text{НСП}_{g_i},$$

где g_i- узлы и вложенные квазиподсети квазиподсети G,

g_0- устройство в точке входа в G.

Пользователю предлагается на выбор одна из двух естественных *норм:*

1) максимальное “проседание” за бесконечное время при заданной пользователем эталонной интенсивности атак;

2) время, требуемое, чтобы узел полностью “лёг” при заданной пользователем эталонной интенсивности атак.

Конфиденциальность в сетевом представлении (КСП) - время между входом сигнала в узел/квазиподсеть и выходом из него/неё.

Целевой функцией является минимальное время доступа извне (через открытые узлы, с учётом времени доступа извне к самим открытым узлам) к серверу. Она считается путём суммирования КСП квазиподсети, непосредственно содержащей открытый узел, КСП квазиподсети, непосредственно содержащей сервер, и КСП всех узлов на кратчайшем пути между этими квазиподсетями.

Введение *нормы* не требуется.

Сформулируем пошаговый алгоритм построения реальной сети как продукта модели, отвечающей полученным от пользователя требованиям информационной безопасности, от начала до конца:

1. Построить модель сети.

2. На основе полученного общего представления с вычисленными оптимальными свойствами конечных узлов, коммутаторов, маршрутизаторов и связей между узлами подобрать конкретные экземпляры коммутаторов и маршрутизаторов, определённые виды кабелей, технику для размещения в конечных узлах, обладающие этими оптимальными свойствами.

3. Настроить коммутаторы и маршрутизаторы для осуществления топологии сети, содержащейся в общем представлении (включая настройку VLAN-ов).

4. Настроить сетевой экран на маршрутизаторах в соответствии с конфигурацией глобального сетевого экрана и встроенных сетевых экранов.

Все переменные в задаче оптимизации предполагаются вещественными числами в заданном для каждой величины интервале. В связи с этим естественен выбор следующих операторов генетического алгоритма:

1. Оператор скрещивания: двухточечное скрещивание.
2. Оператор мутации: по Гауссу.
3. Оператор селекции: турнирная селекция.

На основе описанной модели было реализовано приложение на ЯП Python с использованием библиотек ***deap*** (Distributed Evolutionary Algorithms in Python) и ***networkx***.

Работа приложения была протестирована на примере сети. В качестве фитнес-функции, подлежащей минимизации, бралось отклонение по прошествии 5 секунд безопасных характеристик модели от порогового значения, вводимого с клавиатуры.

Таким образом, на основе разработанных методов количественного анализа ЛВС предложен алгоритм оптимизации свойств компонентов сети. В дальнейшем планируется получить количественную оценку критериев безопасности конкретных типов устройств и связей (вычисление параметров устройств, которые влияют на целевые функции, и установление характера этой зависимости), пользуясь предложенной методологией количественного анализа.

Список литературы

1. *Дородников, Н.А.* Пути решения проблем локальных сетей на этапах планирования и эксплуатации / *Дородников Н.А., Дородникова И.М., Арустамов С.А.* // Сборник научных трудов SWorld. - 2013. - Вып. 4, том 12. - С. 66-70.

2. *Дородников Н.А.* О подходе к унифицированию описания ЛВС с учетом требований информационной безопасности/ *Дородников Н.А., Филиппова Ю.Г., Безбородов Л.А., Арустамов С.А.*// Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Электронное издание. – СПб: Университет ИТМО, 2015.

05.22.19

А.А. Ершов д.т.н., А.В. Теренчук

Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О.Макарова, факультет навигации и связи, кафедра маневрирование и управление судном, Санкт-Петербург, ershov_63@mail.ru

БЕЗОПАСНОСТЬ ШТОРМОВОГО ПЛАВАНИЯ СУДНА

В работе рассматривается использование диаграммы Ю.В.Ремеза для определения опасных зон параметрического резонанса, которое может повысить безопасность судоходства при плавании судна в шторм.

Ключевые слова: *аварии судов в шторм, параметрический резонанс, способы предотвращения.*

Авария траулера «Дальний Восток», гибель траулера «Аметист» и «Орионг-501» а также буровой платформы «Кольская» показывают важность обеспечения безопасности штормового плавания судов. Анализ мировой и отечественной статистики аварийности показывает, что на первом месте по основным причинам гибели судов стоит потеря мореходных качеств судна в условиях шторма. Одной из возможных причин гибели судна в этих условиях может быть попадание судна в зону параметрического резонанса по бортовой качке. Это приводит к возникновению усиленных бортовых колебаний, зачерпыванию воды на верхнюю палубу при значительных углах крена на бортовой качке, потере остойчивости и, как следствие, возможному опрокидыванию судна.

Суть параметрического резонанса может быть сведена к следующему [1]. При исследовании основных видов качки на тихой воде рассматриваются собственные колебания судна. Анализ качки на регулярном и нерегулярном волнении рассматривает вынужденные колебания. При рассмотрении собственных колебаний судно выводится из положения равновесия внешним возмущением, а затем как бы «изолируется» от внешних воздействий, далее анализируется его колебательный процесс. Вынужденные колебания судна происходят под непрерывным воздействием внешних сил и моментов, изменяющихся по величине и направлению.

Однако, возможен и третий вид колебаний судна [1], возникающий вследствие того, что под воздействием внешних сил в процессе движения изменяются параметры самого судна как колебательной системы. В этом случае коэффициенты дифференциальных уравнений, зависящие от параметров системы, становятся функциями от времени. Такие колебания называют параметрическими. Они могут быть затухающими или возрастающими во времени. Первые соответствуют устойчивой системе, вторые свидетельствуют о том, что система неустойчива.

Параметрическое возбуждение наблюдается при определенном соотношении между частотой внешнего воздействия и частотой собственных колебаний системы и в этом случае, по своей теории и последствиям для качки судна, оно сходно с резонансом. По этой причине эти опасные соотношения между частотой вынужденных и собственных колебаний судна называют параметрическим резонансом.

Параметрический резонанс по бортовой качке может приводить к резкому увеличению амплитуды бортовых колебаний судна, попаданию забортной воды на палубу при увеличении углов крена на качке, попаданию воды внутрь корпуса судна, а также возможному опрокидыванию судна.

В работе [1] рассматривался параметрический резонанс по бортовой качке судна, расположенного лагом к волне. Задача сводилась к рассмотрению двух вдов качки – вертикальной и бортовой. При этом, за счет вертикальной качки восстанавливающий момент при бортовых колебаниях становится периодической функцией времени, что может стать причиной возникновения параметрического резонанса по бортовой качке.

В результате было установлено, что опасность возникновения параметрического резонанса является наибольшей при следующих соотношениях:

$\sigma=2\cdot\omega$, ω, $2/3\cdot\omega$…….. (1)

где

σ - частота волны или равная ей частота вынужденной вертикальной качки;

ω - собственная частота бортовой качки судна.

В работе [1] отмечалось, что для возникновения параметрического резонанса какого-либо вида качки не требуется, чтобы имела место такая качка. Например, если на тихой воде модель судна будет совершать гармоническую вертикальную качку, частота которой связана с собственной частотой бортовой качки соотношением (1), то при сколь угодно малом отклонении модели судна вокруг продольной оси возникнут бортовые колебания с нарастающей амплитудой и впоследствии возможное опрокидывание модели. Это положение нашло подтверждение в результате многочисленных модельных экспериментов (например, см. Рис. 1).

Как было показано в работе [2] соотношения (1) для возникновения параметрического резонанса справедливы также для судна, движущегося с постоянной скоростью v и курсовым углом q по отношению регулярному волнению (кажущаяся частота волнения σк).

В этом случае относительная (кажущаяся) скорость распространения волн, т.е. их скорость по отношению к движущемуся судну определится следующим образом

$$Cк= C-v\cdot\cos q \qquad (2)$$

где

Ск – относительная (кажущаяся) скорость распространения волн, м/с; С - скорость распространения волн, м/с;v – скорость движения судна, м/с;q – курсовой угол волнения,

Модельный эксперимент по определению влияния параметрического резонанса на остойчивость судна

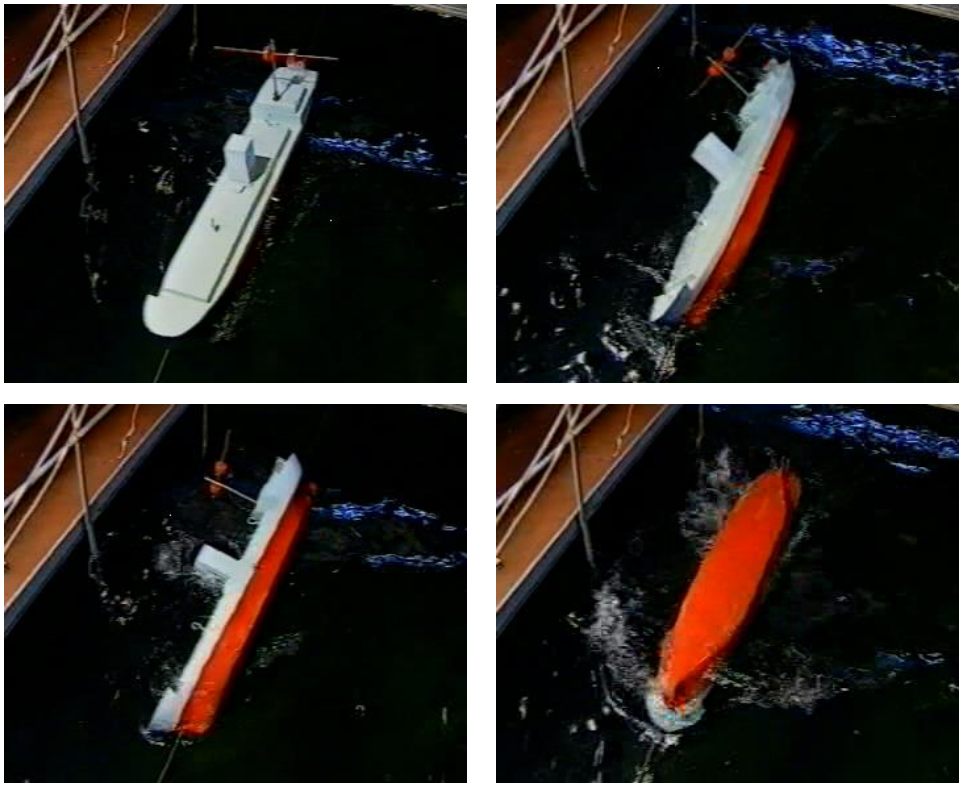


Рис.1

Результаты расчета условий параметрического резонанса диаграмме Ю.В,Ремеза при различных вариантах загрузки судна

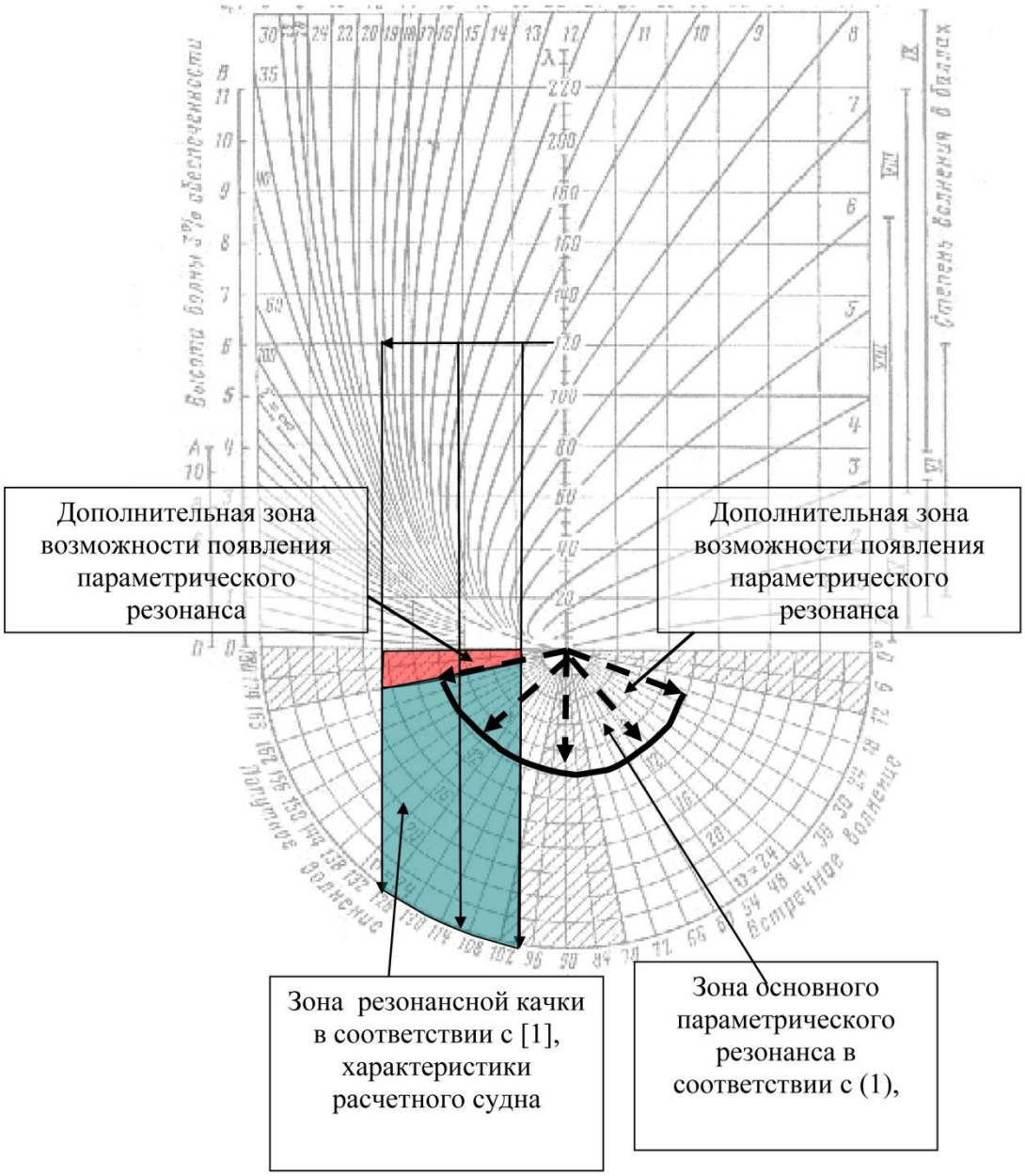


Рис.2

В судоводительской практике для определения различных вариантов возникновения резонанса используется диаграмма Ю.В.Ремеза. Теоретические положения, высказанные выше, позволяют использовать эту диаграмму и для определения возможности появления параметрического резонанса по бортовой качке (самого опасного вида колебаний, который может привести к гибели судна.). Результаты расчета представлены на Рис. 2.

На основании вышеизложенного можно утверждать, что использование диаграммы Ю.В.Ремеза для определения дополнительных опасных зон параметрического резонанса по бортовой качке может повысить безопасность судоходства при плавании судна в шторм.

Список литературы

1. *Ю.В.Ремез*. Качка корабля. Л.: Судостроение, 1983 г, 322 с.

2. *А.А.Ершов* Поддержание мореходных качеств в аварийных ситуациях. Тез.док. научн.-техн. конф. Проф.-преп. с-ва и научн. сотр. ГМА им.адм С.О.Макарова, 2001 г.

05.22.19

А.А. Ершов д.т.н., Д.А. Хухарев

Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова, факультет навигации и связи, кафедра маневрирование и управление судном, Санкт-Петербург, ershov_63@mail.ru

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УПРАВЛЕНИЯ СУДНОМ ПРИ ШВАРТОВКАХ

В работе рассматривается использование специально рассчитанных схем управления судном при швартовках для повышения безопасности и эффективности швартовных операций в российских портах.

Ключевые слова. *Планшеты управления судном. Швартовые операции. Безопасность и эффективность.*

Швартовка судов к причалу является одним из самых ответственных этапов маневрирования судна. Управление судном во время постановки к причалу и отхода от него требует продуманной техники маневров, опыта и мастерства судоводителя. Швартовка в условиях ограниченной акватории порта, наличия и близости других судов, малости пространства, в пределах которого судно должно быть остановлено в определенном положении возле причала представляет собой сложную задачу, связанную с существенным риском для судна и причальных сооружений.

Облегчить процесс подхода и сближения с причалом на заключительных этапах швартовки, может построение и использование судоводителем специальной схемы положения органов управления для движения судна в определённом направлении - некоего планшета управления судном при швартовках. На этом планшете должен быть отражен, полученный на испытаниях или рассчитанный, результат движения судна при определенном состоянии имеющихся органов управления (см. Рис. 1). Здесь введены следующие обозначения ПУ – подруливающее устройство судна, 25% - тяга подруливающего устройства в процентах к максимальной тяге при данной скорости движения, ЛВРШ, ПВРШ, соответственно левый и правый винт регулируемого шага, 50%, -20% тяга правого и левого винта в процентах к максимальной.

Использование планшета позволит судоводителю заранее прогнозировать маневр, который он должен осуществить для безопасной постановки судна к причалу и знать положение и режим работы органов управления судном, которое оно должно иметь при осуществлении непосредственного сближения с причалом по заранее заданной траектории (заданному направлению движения, указанному на планшете стрелкой).

Планшет управления судном при швартовках

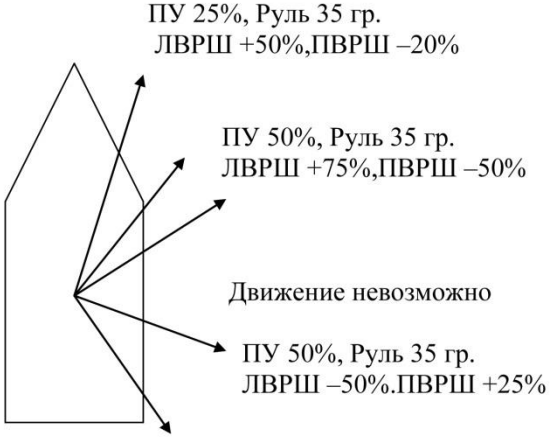


Рис.1

Для построения планшета управления судном может быть использован расчет соответствующих характеристик движения с углом дрейфа и/или проведение специальных испытаний судна.

Проведение испытаний судна облегчается предварительным проведением расчетов, которые позволят определить порядок проведения испытаний и маневры, которые должны быть осуществлены и проконтролированы при испытаниях. Для предварительного расчета планшета управления судном при швартовках может быть использована следующая система уравнений (1), см Рис.2 с использованием материалов [1].

$$\begin{cases} Yr = Fy - Y\beta - Ya \\ -M\beta + Ma + Fy \cdot xf - Yr \cdot lrm = 0, \end{cases} \quad (1)$$

где

Yr – боковая сила на руле судна,кН; Fy - тяга подруливающего устройства,кН; Yβ- проекция гидродинамической силы на ось Y,кН; Ya – проекция аэродинамической силы на ось Y,кН; Fy - тяга подруливающего устройства,кН;Yr – проекция боковой силы на руле на ось Y,кН; lrm – отстояние баллера руля от центра тяжести (ЦТ) судна,м; xf - отстояние подруливающего устройства от ЦТ судна,м; Mβ и Ma – моменты гидро- и аэродинамических сил,кНм.

Схема сил для предварительного расчета планшета управления судном при швартовках

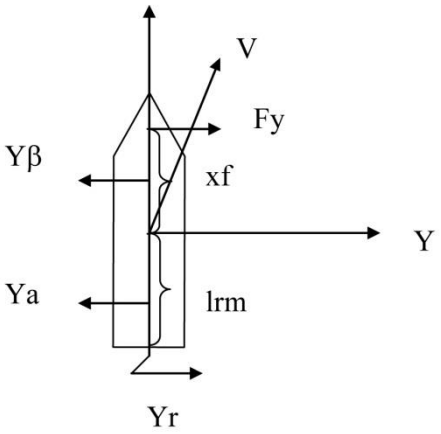


Рис.2.

После преобразования уравнений (1), получаем

$$\begin{cases} Yr = Fy - Y\beta - Ya \\ Ma + Fy \cdot xf - Yr \cdot lrm = M\beta - Y\beta \cdot lrm - Fy \cdot (xf - lrm), \end{cases} \quad (2)$$

Задаваясь значениями Fy, могут быть определены необходимые углы перекладки руля для **данной скорости движения судна V (м/с)**, которые позволят судну осуществлять движение в данном направлении.

Решение системы уравнений (2) удобно оформить в виде программы для ПЭВМ, которая позволит рассчитать необходимые значения углов перекладки руля для данной тяги подруливающего устройства и скорости движения судна. Пример такого расчета приводится на Рис. 3.

Для контроля, полученных при проведении расчета по уравнениям (2) значений, должны быть проведены испытания судна, которые могут быть совмещены с проведением плановых работ, требующих остановки судна и связанных с необходимостью лечь в дрейф для проведения ремонта или профилактики двигателя и других механизмов судна. Как правило, в этих случаях, судно ложиться в дрейф вдали от путей интенсивного судоходства и в штилевую погоду, что облегчает проведение испытаний [2].

Контроль местоположения судна при помощи обсерваций и анализ изменения курса судна после начала движения позволяет определить угол дрейфа судна (угол β), который бы могло иметь судно, если бы оно осуществляло подход к нему при данных значениях тяги подруливающего устройства и угла перекладки руля.

Пример рассчитанной круговой диаграммы управления судном, которая будет способна облегчить управление судном при швартовке представлен на Рис.3.

Рис.3

Список литературы

1. *Гофман А.Д.* Движительно-рулевой комплекс и маневрирование судна. Справочник. Л.: Судостроение, 1988, 360 с.

2. *Ершов А.А.* Перспективы развития информации о маневренных характеристиках на судах. ГМА им. адм. С. О. Макарова. Юбилейная научно-техническая конференция профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и курсантов. Тезисы, с.2.

05.13.10

Э.И. Закирова

Чайковский филиал Пермского национального исследовательского политехнического университета, кафедра автоматизации, информационных и инженерных технологий, Чайковский, elya-elvira@mail.ru

ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕХНОЛОГИИ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ВЫБОРА МАГИСТЕРСКОЙ ПРОГРАММЫ

Рассматриваются вопросы разработки алгоритма выбора магистерской программы на основе сформированных в бакалавриате компетенций. Выбор осуществляется на основе метода экспертных систем, который реализован в виде информационно-аналитической системы поддержки принятия решений. Приводятся результаты апробации предложенных решений.

Ключевые слова: *многоуровневая образовательная система, компетентностный подход, основная образовательная программа, экспертные системы.*

На сегодняшний день в рамках реализации многоуровневой модели высшего профессионального образования (ВПО) актуальной задачей является эффективное управление процессом перехода студентов с одного образовательного уровня на другой. При этом сформированные на предыдущем образовательном уровне компетенции могут существенно влиять на выбор магистерской программы (МП), что обусловливает необходимость их учета при поступлении студентов в магистратуру [1].

Переход на многоуровневую систему обучения предусматривает зависимость между ступенями «бакалавриат» и «магистратура». Владея определенными компетенциями, абитуриенту (выпускнику-бакалавру) проще освоить магистерскую программу того же направления. Но при этом необходимо учитывать его ориентацию на определенную область знаний и возможностей. Студент магистратуры должен в полной мере обладать компетенциями бакалавра этого же направления подготовки, а магистерские компетенции должны отражать способность и готовность выпускника к творческой и инновационной деятельности в выбранной профессиональной области. При этом алгоритмы выбора МП могут быть автоматизированы, что позволит повысить эффективность принятия решений при организации процедуры приема абитуриентов в магистратуру с учетом сформированных на уровне бакалавриата компетенций.

В этой связи актуальной задачей является разработка информационно-аналитической системы поддержки принятия решений (СППР) для реализации эффективных процедур выбора МП на основе компетентностного подхода с применением технологии экспертных систем.

Экспертная система (ЭС) – это компьютерная программа, способная частично заменить специалиста-эксперта в разрешении проблемной ситуации. ЭС рассматриваются совместно с базами знаний как модели поведения экспертов в определенной области знаний с использованием процедур логического вывода и принятия решений, а базы знаний – как совокупность фактов и правил логического вывода в выбранной предметной области деятельности [2]. ЭС может функционировать в двух режимах:

1) режим обучения – в этом режиме эксперт с помощью инженера по знаниям посредством редактора базы знаний вводит известные ему сведения о предметной области в базу знаний ЭС;

2) режим экспертизы – пользователь ведет диалог с ЭС, сообщая ей сведения о текущей задаче и получая рекомендации ЭС.

Основой построения ЭС является определение таких понятий, как «класс» и «признак». В режиме обучения необходимо определить объекты, которые будут обладать (значение «1») или не обладать (значение «0») заданными признаками. При этом объекты и будут являться

классами.

При решении задачи выбора МП в качестве классов рассматриваются профили магистратуры, по которым осуществляется подготовка в вузе (иными словами, конкретные МП), а в качестве признаков – компетенции бакалавра, которые сформированы в соответствии с основной образовательной программой (ООП) выпускников-бакалавров (режим экспертизы ЭС) или которые должны быть сформированы в соответствии с образовательным стандартом по выбранному направлению подготовки (режим обучения ЭС).

Рассмотрим алгоритм построения ЭС. Вначале определяем количество классов (МП) j и количество признаков (количество компетенций в соответствии с образовательным стандартом по выбранному направлению подготовки бакалавриата) i.

Каждому классу (МП) ставим в соответствие заданные признаки (компетенции) и последовательно обучаем систему. Для обучения строится матрица ЭС (таблица 1) размерностью i×j, которая хорошо различает классы предъявляемых ей объектов (ООП выпускников-бакалавров), обладающих разными комбинациями этих признаков.

Таблица 1 – Матрица экспертной системы (начальное состояние матрицы нулевое, то есть $t_{ij}=0$)

Класс / Признак	Y_1	Y_2	…	Y_j
X_1	t_{11}	t_{12}	…	t_{1j}
X_2	t_{21}	t_{22}	…	t_{2j}
…	…	…	…	…
X_i	t_{i1}	t_{i2}	…	t_{ij}

Полученная комбинация признаков (компетенций) образует вектор размерностью i×1, который прибавляется к столбцу текущего класса (МП) и вычитается из столбцов всех остальных классов (таблица 2).

Таблица 2 – Вектор признаков класса Y_n ($n=\overline{1,j}$)

Класс / Признак	Y_n
X_1	p_1
X_2	p_2
…	…
X_i	p_i

После обучения ЭС всем классам (МП) необходимо, чтобы система не выходила за гиперкуб, т.е. в матрице не должны накапливаться числа по модулю больше 1. Для этого проводится корректировка матрицы путем ее возврата на границу единицы.

В режиме экспертизы предъявляем ЭС имеющиеся у рассматриваемого объекта (ООП выпускника-бакалавра) признаки (компетенции), которыми он обладает (вектор признаков объекта, аналогичный вектору из таблицы 2). Для этого вектор умножается на матрицу (таблица 3), образуя новый вектор размерностью 1×j.

Таблица 3 – Вектор результатов умножения S при соотнесении объекта с классами

Результат умножения S	Класс			
	Y_1	Y_2	…	Y_j
	S_1	S_2	…	S_j

Из вектора S следует выбрать класс (МП), характеризуемый максимальным числом. Так как результатом работы ЭС является определение объекта (ООП выпускника-бакалавра) одному из заранее заданных в режиме обучения классов (МП), то к выбранному классу и

будет отнесен рассматриваемый объект.

На практике могут возникать ситуации, когда объект будет отнесен к двум и более классам. В этом случае необходимо повторно обучить систему, после чего провести повторную экспертизу.

Описанный алгоритм реализован в виде информационно-аналитической СППР. Рассмотрим сценарий приема абитуриентов в магистратуру на направление подготовки 230100 «Информатика и вычислительная техника» [3] с соблюдением профильности базового образования. Для этого определим наиболее подходящий профиль магистратуры для выпускников направления подготовки бакалавриата 230100 «Информатика и вычислительная техника» [4].

Для бакалавриата по рассматриваемому направлению подготовки задано 17 общекультурных и 11 профессиональных компетенций [4].

Каждому профилю магистратуры ставится в соответствие определенный набор компетенций [5] бакалавра, формирование которых необходимо для обучения по выбранной МП. Следует учитывать, что ООП выпускника-бакалавра предусматривает формирование всех общекультурных компетенций, поэтому их можно исключить из перечня признаков, оставив тем самым лишь профессиональные и, при наличии, профильно-специализированные компетенции. В примере использовано три МП со следующим набором формируемых в процессе обучения профессиональных компетенций бакалавра:

- «Распределенные автоматизированные системы» (ПК-3, ПК-4, ПК-5, ПК-9, ПК-10, ПК-11);
- «Интеллектуальные системы» (ПК-2, ПК-3, ПК-4, ПК-9);
- «Автоматизация управления бизнес-процессами и финансами» (ПК-1, ПК-6, ПК-7, ПК-8, ПК-9).

После того, как ЭС прошла режим обучения (рис. 1), в режиме экспертизы последовательно задавались наборы компетенций бакалавров, которые сформированы у выпускников в соответствии с ООП, по которым они обучались. В результате ЭС либо рекомендовала продолжить обучение в магистратуре по одной из трех указанных выше МП (рис. 2), либо предлагала повторно обучить систему, поскольку решение не было получено вследствие невозможности отнесения абитуриента к какой-то конкретной МП.

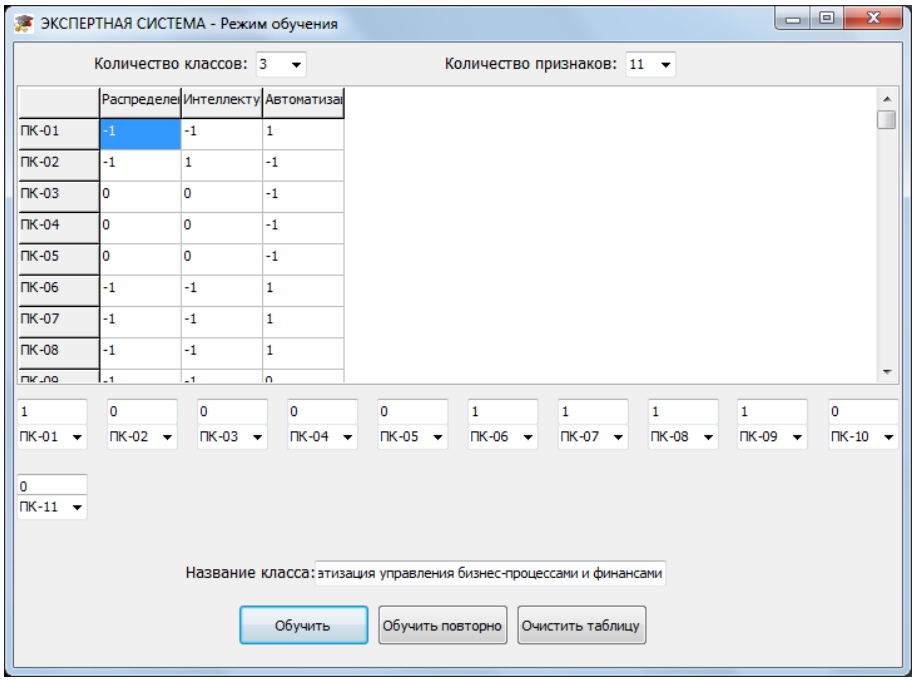


Рис. 1 – Режим обучения ЭС

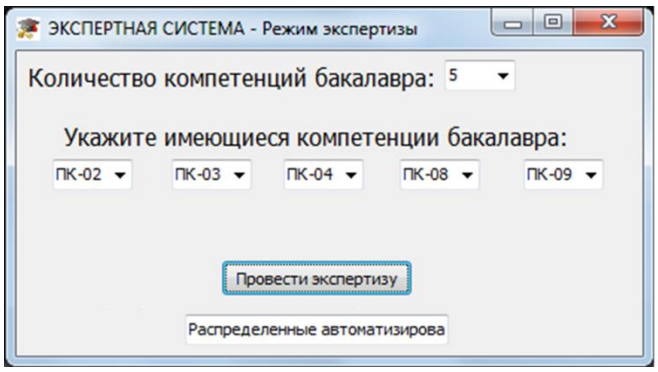


Рис. 2 – Режим экспертизы ЭС

Таким образом, в работе представлена методика выбора МП, в основу которой положена технология ЭС. Осуществлена апробация разработанной информационно-аналитической СППР при выборе МП, доказывающая объективность принимаемых решений. Показано, что внедрение СППР позволяет осуществить эффективную диверсификацию подготовки магистров по программам различной содержательной наполненности (профилю) на основе анализа ООП на уровне бакалавриата.

Полученные результаты определения профиля магистратуры для выпускников-бакалавров позволяют утверждать, что набор сформированных компетенций в бакалавриате, заданный в соответствии с ООП, по которой обучался студент, оказывает существенное влияние на выбор МП.

Список литературы

1. Закирова Э.И., Столбов В.Ю. Мультиагентная система поддержки принятия решений при отборе студентов в магистратуру вуза / Э.И. Закирова, В.Ю. Столбов // Системы управления и информационные технологии. – 2014. – № 1.1 (55). – С. 146–151.

2. Богданова Н.Ю., Буслова Н.С. Проектирование и реализация экспертной системы на языке программирования PROLOG // Студенческий научный форум: матер. VI междун. студ. электр. научн. конф. Режим доступа: http://www.scienceforum.ru/2014/527/4707 (дата обращения: 15.04.2015).

3. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего профессионального образования по направлению подготовки 230100 Информатика и вычислительная техника (квалификация (степень) «магистр») – М.: Министерство образования и науки Российской Федерации, 2009. – 24 с.

4. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего профессионального образования по направлению подготовки 230100 Информатика и вычислительная техника (квалификация (степень) «бакалавр») – М.: Министерство образования и науки Российской Федерации, 2009. – 24 с.

5. Закирова Э.И. Информационно-аналитическая система как средство оценивания результатов освоения основной образовательной программы бакалавриата // Образование и наука: современное состояние и перспективы развития: матер. междун. заоч. научн.-практ. конф. – Тамбов, 2013. – С. 44-45.

05.13.12

Р.Н. Захаров, И.Б. Бондаренко к.т.н.

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, Санкт-Петербург,
post4ruX@gmail.com, igorlitmo@rambler.ru

МЕТОД АНАЛИЗА ПОПУЛЯРНОГО КОНТЕНТА СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЕЙ

Вывод базовой математической модели для практической реализации алгоритма, позволяющей выделять наиболее популярные единицы контента в социальных сетях используя публичнодоступные метрики.

Ключевые слова: *социальные сети, оценка качества контента, социальная фильтрация, сетевые службы, програмные интерфейсы*

Введение

В настоящее время пользователи интернета в действительности большую часть сессии находятся в социальной сетях, активно взаимодействуя с ней. Любая социальная сеть - это коммерческий продукт, работающий в основном на рынке b2b.

Можно выделить несколько групп пользователей:

- создающие контент - очень малая группа по сути поддерживающая жизнедеятельность всей социальной сети. В большенстве случаев их деятельность представляет собой бизнес или частный коммерческий интерес;
- занимающиеся социальной фильтрацией - их действия приводят к тому, что интересуемый контент из всего потока проходит фильтрацию для людей, состоящих в том же социальном кругу (подписчики);

Основные метрики

Различные действия в социальной сети имеют разную ценность, которая отличается от площадки к площадке. Следует выделить общие ключевые метрики[1], в порядке возрастающей ценности:

- like - пользователь одним нажатием выражает свой интерес к контенту;
- share - пользователь считает, что содержимое контента на столько важно, что об этом должны знать подписчики (т.е. берёт на себя функцию фильтрации контента)[2];
- comment - пользователь оставляет комментарий, что само по себе подразумевает высокую вовлечённость

Помимо знания о активности пользователя также важно учитывать скорость изменения данных метрик в единицу времени, потенциальное количество подписчиков в зоне охвата.

В рассматриваемой модели не учитываются искусственно созданная активность, такая как увеличение количества like при помощи роботов.

Описание алгоритма

Автор абстрагируется от специфики конкретной социальной сети, выбирая общий знаменатель между наиболее крупными игроками “facebook”, “vkontakte”, “instagram”, “pinterest”

В описываемом алгоритме следует выделить три состовляющие, реализующие шаблон “конвеер”: а) непосредственное получение контента, отфильтрованному по ключевым характеристикам. Этот процесс является непрерывным для обработки новых данных; б) цикличное обновление ключевых характеристик(таких как like, comment, share), для отобранного контента; в) взвешивание контента по собранным показателям для заданного интервала времени

Алгоритм занимается поиском единиц контента по определённым критериям. Т.к. системе не используются элементы ИИ автор рассматривает в работе фильтрацию на основе ключевых слов, хэш-тегов, а так же выборку по тематике аккаунта, от которого ведётся публикация.

Все популярные социальные сети предоставляют API(интерфейсы для доступа к данным, application program interface) позволяющие выполнять поиск и первичную фильтрацию попотенциально интересным единицам контента.

Далее, в соответствии с алгоритмом происходит циклический опрос ключевых метрик и сохранение их в базу данных для последующего анализа.

Рис. 1 - Алгоритм сбора и оценки контента

В упрощённом виде ценность единицы контента в момент времени составляет:

$V_{t21} = V(N_{t2} - N_{t1}) = V \cdot \Delta N$, где V - ценность(вес) пользовательского действия, N_{tn} - количественная оценка показателя в момент времени, ΔN- изменение за интервал времени.

В общем виде ценность в интервале времени будет выглядить как:

$$V = V_{like} \cdot \Delta N_{like} + V_{share} \cdot \Delta N_{share} + V_{comment} \cdot \Delta N_{share}$$

Однако, одинаковое количество действий на разный объем охвата R будет иметь соответсвенно различный коэффициент $K_{R_{action}}$. Его можно определить для действия как $K_R = \Delta N_{action}/R$.

Таким образом в заданных период времени ценность действия action будет иметь вес:

$$V_{action} = K_{R_{action}} V_{action} = \frac{\Delta N_{action}}{R} \cdot V_{action} \cdot \Delta N_{action} = \frac{\Delta N_{action} 2 \cdot V_{action}}{R}$$

Следовательно для действий share, like, comment в период времени можно расчитать ценность для единицы контента как:

$$V = (\Delta N_{like}^{2} \cdot V_{like} + \Delta N_{comment}^{2} \cdot V_{comment} + \Delta N_{shares}^{2} \cdot V_{shares}) / R$$

Используя приведённый выше алгоритм также возможно производить обратный анализ: классифицировать и сегментировать целевую аудиторию, положительно оценивающую единицу контента по языку, геоположению, интересов, типа используемого устройства и прочее.

В данной работе автор разработал модель, а так же прототип сервиса, позволяющие отбирать наиболее интересный пользователям контент социальных на основе публично доступной информации.

Список литературы

1. Molly McLure Wasko, Why Should I Share? Examining Social Capital and Knowledge Contribution in Electronic Networks of Practice / Molly McLure Wasko, Samer Faraj // MIS Quarterly Vol. 29, No. 1, Special Issue on Information Technologies and Knowledge Management, 2005, P. 35-57

2. Lei Guo, Analyzing patterns of user content generation in online social networks / Lei Guo, Enhua Tan, Songqing Chen // KDD '09 Proceedings of the 15th ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining, 2009, P. 369-378

05.02.08

В.О. Зотов

Нижегородский государственный технический университет им. Р.А. Алексеева,
г. Н. Новгород, extrimen@yandex.ru

ВЛИЯНИЕ ПЛАСТИЧЕСКОЙ НЕУСТОЙЧИВОСТИ ПРИРЕЗЦОВЫХ СЛОЕВ ОБРАБАТЫВАЕМОГО МАТЕРИАЛА НА ИЗНАШИВАНИЕ ТВЕРДОСПЛАВНОГО ИНСТРУМЕНТА

Исследовано влияние реализации вихревых мод деформации в прирезцовых слоях стружки на износ твердосплавного инструмента при резании. Показано, что пластическая неустойчивость прирезцовых слоев стружки облегчает раскачку и вырыв зерен карбидной фазы. С этих позиций рассмотрены причины немонотонности зависимости стойкости инструмента от скорости резания. Указаны пути повышения износостойкости твердосплавного инструмента.

Ключевые слова*: резание, пластическая неустойчивость, износ инструмента*.

В процессе резания режущий клин инструмента изнашивается путем вырыва как отдельных зерен карбидной фазы, так и их группы.

В работах [1,2] показано, что обрабатываемый материал в приконтактном слое стружки имеет аморфное строение, т.е. находится в жидком или близком к квазижидкому состоянию.

Выявленный механизм пластической неустойчивости прирезцовых слоев обрабатываемого материала позволил разработать механизм изнашивания режущего инструмента.

При резании течение металла в квазижидком состоянии прирезцовых слоев может быть ламинарным или турбулентным (вихревым) (рис.1), что определяется параметрами процесса резания. С точки зрения износа инструментального материала наиболее интересен турбулентный режим. Турбулизация прирезцовых слоев приводит к пульсациям и появлению завихрений – вихревых мод деформации, что интенсифицирует изнашивание твердых сплавов за счет ослабления границ зерен и образования микротрещин.

Интенсивность хаотизации (турбулентности) частиц обрабатываемого материала оценивали путем определения фрактальной размерности – D на подошвах наростов и прирезцовых слоях стружки.

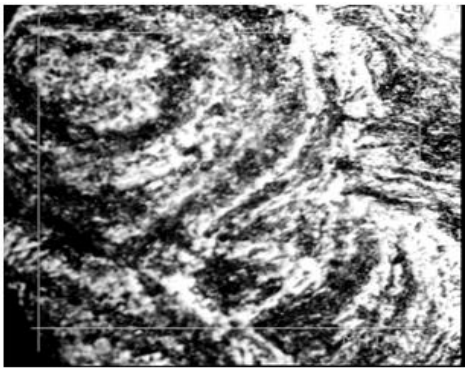


Рис. 1 – Вихревой характер движения объемов металла в прирезцовом слое стружки (сталь 45)

Для определения фрактальной размерности использовали методику мультифрактальной параметризации [3], позволяющую производить расчеты по оцифрованным микрофотографиям подошв наростов и приконтактных слоев стружки.

При низких скоростях резания движение частиц обрабатываемого материала в прирезцовых слоях является двумерным, т.е. наряду с мелкомасштабными вихрями

получают развитие крупномасштабные. Хаотичность движения в данном случае будут определять крупномасштабные вихри. С увеличением скорости резания характер течения становится одномерным, т.е. близким к ламинарному – интенсивность изнашивания снижается. При дальнейшем увеличении скорости резания движение становиться двумерным с появлением трехмерных течений частиц обрабатываемого материала.

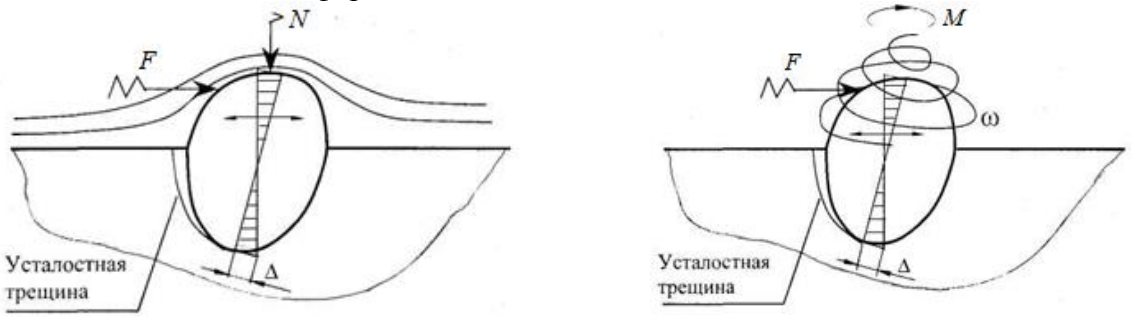
Фрактальная размерность соответствует количеству степеней свободы движения частиц обрабатываемого материала, т.е. мерности их движения. При увеличении скорости до V ≈ 40 м/мин фрактальная размерность уменьшается, что соответствует минимальным значениям изнашивания $h_З$ и $h_л$, а затем, при дальнейшем увеличении скорости она возрастает и при V = 75 м/мин составляет 2.3. В тоже время параметр F_{40} с увеличением скорости резания монотонно уменьшается, что свидетельствует о том, что прирезцовые слои турболизируются.

Таким образом, интенсивность изнашивания твердых сплавов в значительной степени определяется характером контактного течения частиц обрабатываемого материала по рабочим поверхностям инструмента.

Как установлено в работе [4], среди структурных элементов самым слабым звеном во всех твердых сплавах как при низких, так и при высоких температурах являются межзеренные границы, а самым прочным – связующая фаза. Например, для сплавов группы ВК разрушающие напряжения для структурных элементов при T = 1073°К следующие: Co – ≈ 4000 МПа, WC– ≈ 200 МПа, WC-Co – ≈ 95 МПа, WC-WC– ≈80 МПа.

Значение напряжений изменяются в больших пределах, что связано с колебанием размеров зерен (от 0.5 до 6 мкм) и размером связующей прослойки между ними (от нанометров до 0.5 мкм). Кроме размеров зерен и толщины прослойки, напряжения будут зависеть и от глубины погруженности зерна в связи. Рассмотрим условия, влияющие на вырыв зерна карбидной фазы, либо частицы инструментального материала и его среза вследствие вихревого движения обрабатываемого металла в локальных объемах. Локальный вихревой характер движения металла будет происходить в местах с высокой адгезией обрабатываемого материала с инструментальным, где достигаются условия его аморфизации.

На рис. 2 показана модель действия ламинарного и турбулентного потоков на карбидное зерно. Режим движения частиц обрабатываемого материала в прирезцовом слое стружки определяется номинальным удельным давлением на передней поверхности инструмента, влияющим на степень их деформации.



а *б*

Рис. 2 –Модель вырыва зерна карбидной фазы при:
а – ламинарном; *б* – турбулентном движении частиц обрабатываемого материала

Вихрь, закручивающийся вокруг заторможенного объема материала, создает пару сил F с плечом равным R. На подошве этого объема, который в первом приближении можно принять в виде конуса, действуют касательные напряжения τ_n, препятствующие повороту. Тогда для момента вращения, необходимого для проворота и для силы F_n необходимой для среза запишем:

$$M = F_0 \cdot R = \tau_n \pi R^2 ,$$

где F_0 – сила сдвига (отрыва) вихря.

Из данной зависимости видно, что чем меньше заторможенный объем, тем меньше поворотный момент выкручивания, а, следовательно, и вихревая компонента изнашивания. Кроме того, у материалов, обладающих высокой степенью деформации (например, сталь 10) образуются крупномасштабные вихри, а у материалов с низкой степенью деформации (например, У8) мелкомасштабные. Крупномасштабный вихрь охватывает группу зерен, поэтому можно считать, что зерна, удаленные от центра вихря находятся в ламинарном потоке и подвергаются только раскачке. Вследствие чего при резании стали У8 износ инструментального материала протекает более интенсивно, чем при резании стали 10.

Здесь следует учесть также и то, что образованию микротрещин и отрыву частиц инструментального материала будет способствовать ускорение (рис.2), которое определяется скоростью $V_в$ вихря:

$$\frac{V_в}{R} \approx 5 \cdot 10^5 \cdot g ,$$

где g – ускорение свободного падения.

Вырыв зерна, либо группы зерен инструментального материала при поворотном движении вихря, наступает в результате образования усталостной трещины. При действии вихревых мод деформации условие разрушения можно записать $\tau_n \geq \tau_{ад}$ ($\tau_{ад}$ – удельная прочность адгезии).

При достижении $\tau_n > \tau_{ад}$ возникает микротрещина, что облегчает отделение частиц инструментального материала при срезе заторможенного объема материала, т.е. срезе мелкомасштабных «застывших» вихрей крупномасштабными.

Условие отрыва мелкомасштабного вихря, «застывшего» на контактной поверхности можно записать в следующем виде при $F < F_0$:

$$F = \pi R^2 \cdot qN$$

где F – сила сопротивления отрыву вихря.

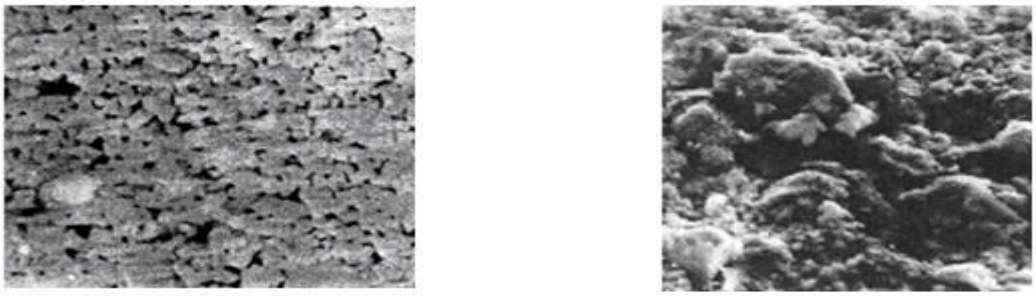
Условие микроразрушения поверхностных слоев можно записать в следующем виде:

$$\tau_n \geq \tau_a \geq \tau_p ,$$

где τ_p- прочность наиболее слабого звена в структуре инструментального материала;τ_a- прочность адгезионной связи вихря с инструментальным материалом.

Как отмечалось выше, наиболее слабым звеном в инструментальном материале является структурный элемент – граница зерно-зерно, так в сплаве ВК8 она составляет ≈ 80 МПа, а в сплаве Т15К6 ≈ 50 МПа. Экспериментальная оценка τ_n показала, что величина касательных напряжений находится в диапазоне ≈ 500 МПа, что их существенно выше прочности структурных элементов – граница зерно-зерно и граница зерно-связка.

С ростом скорости резания характер износа контактных поверхностей инструмента изменяется. Характерной особенностью является преимущественное уже изнашивание зерен карбидной фазы (рис. 3 *а*).



а *б*

Рис. 3 – Микрофотография, иллюстрирующая характер изнашивания твердого сплава ВК8: *а* – *V*=45 м/мин; *б* – *V*=75 м/мин (х 5000)

С дальнейшим увеличением скорости резания характер изнашивания контактных площадок инструмента вновь изменяется. Наблюдается течение поверхностных слоев и срез целых групп зерен карбидной фазы (рис.3 *б*).

Проведенные исследования позволили указать причины немонотонности зависимости износа (стойкости) инструмента от скорости резания.

На рис.4 приведена схема, иллюстрирующая причины немонотонности зависимости *T–V*. При низких скоростях резания пластическое течение прирезцовых слоев обрабатываемого материала является двумерным, т.е. реализуются вихревые моды деформаций, вызывающие микроразрушение поверхностных слоев по механизму, описанному выше.

Рис. 4 – Схема, иллюстрирующая причины немонотонной зависимости стойкости инструмента от скорости резания

При скоростях резания, где характер пластического течения является преимущественно одномерным, интенсивность изнашивания твердых сплавов снижается, т.к. изнашиванию подвергаются преимущественно зерна карбидной фазы (рис.3). С повышением скорости резания происходит хаотизация пластического течения (рост *D*) обрабатываемого материала в прирезцовых слоях, что приводит к повышению концентрации крупномасштабных вихрей, размягчению связки, замещению ее обрабатываемым материалом и к вязкому срезу групп зерен карбидов (рис.3, *б*).

Исследования показывают, что для повышения износостойкости режущего инструмента необходимо на них осаждать твердые покрытия. Последнее достигается путем формирования, прежде всего, покрытий наноструктурных составов [5,6].

Список литературы

1. *Кабалдин Ю.Г., Олейников А.И., Шпилев А.М., Бурков А.А.* Математическое моделирование самоорганизующихся процессов в технологических системах обработки резанием. – Владивосток: Дальнаука, 2000. – 195с.

2. *Кабалдин Ю.Г., Олейников А.И., Бурков А.А.* Синергетика. Эволюции структур и солитонные механизмы трения, износа и смазки при резании //Вестник машиностроения, №1, 2000.с. 34–41.

3. *Встовский Г.В., Колмаков, А.Г.* Использование подходов информации в физике конденсированных сред. / Сб. Нелинейная динамика, фракталы и нейронные сети в управлении технологическими системами. – Владивосток: Дальнаука, 2001. С. 15–31.

4. *Кабалдин Ю.Г.* Структура, прочность и износостойкость композиционных инструментальных материалов. – Владивосток: Дальнаука, 1996. – 183 с.

5. *Кабалдин Ю.Г.* Оптимизация составов и функциональных свойств наноструктурных покрытий для режущего инструмента методом функционала электронной плотности / Ю.Г. Кабалдин, С.В. Серый // Вестник машиностроения. 2011. № 5, С. 32–36.

6. *Кабалдин Ю.Г.* Повышение работоспособности режущего инструмента осаждением наноструктурных покрытий / Ю.Г. Кабалдин [и др.] // Вестник машиностроения. 2010. №3, с.41–48.

05.13.19

А.С. Исаев, Е.А. Хлюпина

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, институт комплексного военного образования, кафедра мониторинга и прогнозирования информационных угроз, Санкт-Петербург, a.s.isaev@yandex.ru

ПРИНЯТИЕ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ УГРОЗ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

В настоящей работе представлены результаты исследований по определению, обоснованию и принятию управленческих решений в действующих системах защиты информации при условии неопределенности возникновения угроз информационной безопасности.

Ключевые слова: *информационная безопасность, управление информационной безопасностью, неопределенность выбора, поддержка принятий решений.*

Рассмотрим ситуацию обработки критически важной информации, в которой протекает i = 1, .. n равноправных процессов управления ИБ и существует ограниченное количество ресурсов r_i, затрачиваемое на их реализацию. Каждый из процессов i определяется параметрами: $t_i\ (r_i)$ – время на получение информации в ходе выполнение процесса, $f_i(x_i)$ – количество получаемой информации в ходе выполнения процесса. В условиях воздействия со стороны злоумышленников требуется принять соответствующее управленческое решение для компенсации атаки за время t_{max}, при этом состав имеющихся ресурсов R является неизменным.

В рассмотренной ситуации СЗИ, столкнувшись с возникновением угрозы Y, не может её компенсировать в текущем состоянии. Пускай текущее (исходное) состояние рассматриваемой системы – X_0, тогда множество всех возможных состояний – $X_1, X_2, X_3 \ldots X_k$, при этом P_i – вероятности перехода в i состояние. В условиях отсутствия информации об угрозе Y они равны:

$$P_0 = P_1 = P_2 = P_3 = \cdots P_k$$
$$P_0 + P_1 + P_2 + P_3 + \cdots P_k = 1$$

Пускай существует такое состояние рассматриваемой системы $X_Y \in X_k$, когда она способна компенсировать угрозу Y. Таким образом суть принимаемого решения должна сводиться к выбору такого состояния из всего множества возможных. Обозначим энтропию H_0 и H_Y для исходного состояния СЗИ и искомого, при котором она способна компенсировать угрозу Y, тогда разность H_0 и H_Y будет являться количеством информации F = $H_0 - H_Y$, необходимой для принятия решения о переходе рассматриваемой системы из текущего состояния X_0 в состояние $X_Y \in X_k$ для компенсации угрозы Y.

Обозначим общее множество всех возможных угроз как $Y_{общ}$, очевидно что Y $\in Y_{общ}$. Пускай каждая из возможных угроз $Y_x \in Y_{общ}$ (где x = 1 … m – номер угрозы) описывается совокупным рядом независимых параметров α_j (где j = 1 … n – номер параметра), тогда множество $Y_{общ}$ будет описываться совокупным множеством всех возможных параметров α_{jx}, присущих угрозам. Таким образом можно составить полную матрицу соответствия угрозы и их параметров размерности m на n.

Прежде чем принимать решение о переводе СЗИ в определенное состояние, необходимо определить возникшую угрозу Y. В данном случае энтропия H необходимого нам выбора будет максимальной:

$H\ (Y_x) = -\ln P\ (Y_x)$, где P – вероятность возникновения угрозы Y_x.

Воспользовавшись свойством аддитивности энтропии получаем:

$$H\,(Y_x) = \sum_{i=1}^{m} H\,(Y_{\text{i}})$$

Для того чтобы снизить получившуюся неопределенность и принять решение о переводе СЗИ в состояние способное противостоять угрозе Y, необходимо произвести сбор информации, способной описать возникшую угрозу, т.е. определить один из совокупных параметров α_{jx}. Каждый из протекающих в организации процессов ИБ способен предоставить информацию о значении текущего параметра для возникшей угрозы. В зависимости от полученных значений ряд угроз из общего множества $Y_{\text{общ}}$ будет отвергаться в виду несоответствия полученного параметра. Таким образом при повышении количества определяемых параметров угрозы неопределенность выбора состояния защиты уменьшается. Определяя возникшую угрозу Y, принадлежащей рассматриваемому множеству, необходимо обратиться к одному из процессов ИБ для последовательного определения параметров α_j, начиная от самого информативного, способного максимально снизить общую энтропию. Пускай на первом шаге мы определяем параметр α_4 = 1. Исходя из таблицы 1 очевидно, что ряд угроз $Y_{\text{отс}}$ не удовлетворяют полученному значению параметра, а следовательно такие угрозы исключаются, таким образом получившаяся энтропия на первом шаге снизилась и вычисляется как:

$$H\,(1) = H\,(Y_x) - \text{H}\,(Y_{\text{отс}}\,)$$

Очевидно, что $H\,(\text{Общ}) > H\,(1)$. На втором и последующем шагах выбирается новый параметр угрозы, до того момента пока не останется единственно возможной угрозы Y, которая и будет искомой. Пускай за каждый из процессов ИБ, протекающих в СЗИ организации, отвечает отдельно взятый специалист или эксперт. Положим, что каждый из экспертов, основываясь на собственной логике и профессиональном опыте, заполнил таблицу соотношения угроз и их параметров в части его касающейся. Таким образом получим полную таблицу параметров угрозы основанную на совокупном экспертном мнении. После n итераций определения параметров α общая энтропия уменьшилась и отсекла часть угроз $Y_{\text{отс}}$, но не свелась к 1 угрозе, тогда общие показатели априорной неопределенности снизились и стали равны апостериорной энтропии. Получившаяся апостериорная энтропия меньше априорной. С учетом имеющихся условий количество итераций выбора ограниченно временными и ресурсными рамками. Основываясь на собранной информации, за отведенное время получаем необходимость принятия решения с учетом изменившейся неопределенности, когда искомая угроза Y $(\alpha_1, \alpha_2 \ldots, \alpha_n)$ $\in$ $(Y_{\text{общ}} - Y_{\text{отс}})$. Данную задачу можно представить в виде конечного древа выбора, представленного на рисунке 1. При этом каждая конечная ветвь, получаемая в результате перебора, будет однозначно описывать угрозу, а значит и состояние СЗИ при котором она способна ей противостоять.

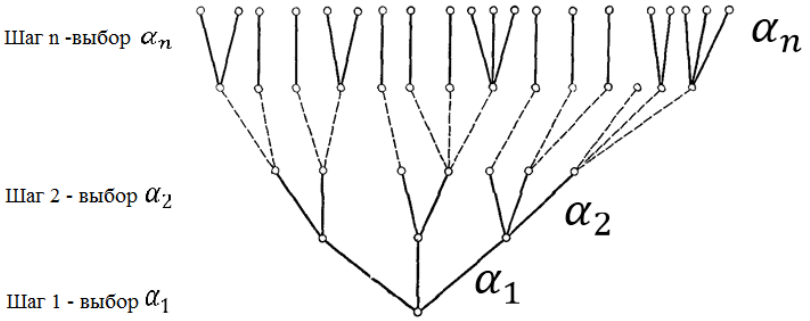


Рис 1 – Древо выбора искомой угрозы по определяемым параметрам.

Таким образом, в рассмотренном случае, эффективность СЗИ будет зависеть от принятого управленческого решения и имеющегося времени на его принятие, что в итоге сводится к задаче, сформулированной в первой главе диссертационного исследования. Решение, которое требуется принять, будет описываться параметрами: F – совокупный объем информации, необходимый для принятия решения, T – время, необходимое для принятия

решения и обработки информации, R – состав ресурсов на выполнение задачи, а также аналитическими алгоритмами, используемыми для обработки информации и принятия решения.

С учетом имеющихся условий, принимая во внимание равноправность процессов в рассматриваемой системе, получаем, что:

$$\sum_{i=1}^{n} r_i = R = const$$

Таким образом, требуется собрать такое количество информации f от действующих процессов управления ИБ, чтобы перевести СЗИ в состояние, при котором она способна компенсировать угрозу Y, используя имеющиеся ресурсы и ограничиваясь максимальным временем, отведенным на принятие решения.

Далее сформулирована полученная задача в математическом виде:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^{n} f_i(x_i) \rightarrow \max\limits_{x=(x_1,\ldots\ldots,x_n)\in Z_+^n} \\ \sum_{i=1}^{n} t_i(r)x_i \leq t_{max} \end{cases} \quad (1)$$

Рассмотрим общий алгоритм действий при наступлении данной ситуации. После определения формальных условий осуществления задачи, при расчёте минимально необходимого времени получения информации от процессов ИБ для решения задачи, возможны ситуации, когда:

1. $max \sum_{i=1}^{n} f_i(x_i) < F$
2. $max \sum_{i=1}^{n} f_i(x_i) \leq F$
3. $max \sum_{i=1}^{n} f_i(x_i) = F$
4. $max \sum_{i=1}^{n} f_i(x_i) \geq F$

Для каждой ситуации определена возможность существование такого времени t, для которого бы выполнялось условие $\sum_{i=1}^{n} f_i(x_i) = F$. Если такое t существует, то задача может решаться дальше. В противном случае задача не может быть полностью решена, и смысл решения задачи будет сводится к нахождению максимально приближенного количества информации f → F при $t = t_{max}$.

Рассмотрим решение ситуации 2.Обозначим наш частный случай $n, f, \leq t_{max}$ и определим его в общее семейство подобных задач $\{\mathrm{i}, f \leq K, i = 1, \ldots, n, 0 \leq K \leq t_{max}\}$. Пусть $S_i(K)$ – оптимальное значение целевой функции задачи $\mathrm{i}, f, \leq K$, тогда справедливы следующие рекуррентные соотношения:

$$S_1(K) = \max_{x_1=0,\ldots,[K/t_1]} f_1(x_1), 0 \leq K \leq t_{max};$$

$$S_i(K) = \max_{x_i=0,\ldots,[K/t_i]} \{S_{i-1}(K - t_i x_1) + f_i(x_i)\}, i = 2, \ldots, n, \qquad 0 \leq K \leq t_{max}$$

Тогда в результате прямого хода значений $S_i(K)$, K = 0, …., t_{max} необходимо восстановить оптимальный вектор x, отображающий ход выполнения процесса для достижения результата.

Пускай сначала $x = 0$, K = 0, затем последовательно выполним шаги, на каждом из которых найдем такой индекс i, при котором выполнялось бы равенство $S_i(K) = S(K - t_i) + f_i, t_i \leq K$. Пусть $x_i = x_i + 1$; K = K – t_i и повторим шаг до тех пор пока не станет допустимых индексов i. Итоговый вектор x будет являться оптимальным, а значит и решением нашей задачи. Решение ситуаций 1, 3 и 4 будет практически совпадать.

Список литературы

1. Р.Л. Стратанович «Теория информации»: М.: «Сов.радио», 1975, — 424 с.
2. Джозеф Джарратано, Гари Райли «Экспертные системы: принципы разработки и программирование»: Пер. с англ. — М.: Издательский дом «Вильямс», 2006. — 1152 с.
3. Р.Н. Трухаев «Модели принятия решений в условиях неопределенности»: М.: "Наука", 1981. — 258 с.

05.22.10

Е.Г. Ишкина

Тюменский государственный нефтегазовый университет,
кафедра сервиса автомобилей и технологических машин,
Тюмень, ishkina@tsogu.ru

ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ И СЕРВИСА ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ В РОССИИ

В работе рассмотрены тенденции развития машиностроения. Описано отношение российских автолюбителей к техническому обслуживанию автомобиля. Предложено управлять фирменными автосервисами на основе жизненного цикла автомобиля.

Ключевые слова: *жизненный цикл автомобиля, фирменный автосервис, эксплуатация легкового автомобиля.*

Человечество развивается в направлении увеличения объемов потребления автомобилей и получения максимального комфорта в эксплуатации. Производители настроены на производство продукции более удобной в эксплуатации, но стремятся к сокращению срока эксплуатации этой продукции. Если произвести товар с длительным сроком эксплуатации, то потребление в перспективе не может увеличиваться.

Рынок переходит к тому, что товары с большим запасом прочности и длительным сроком эксплуатации не интересны производителю, так как замедляется процесс роста и увеличения объемов производства. Потребление готовых дорогостоящих товаров происходит в разрезе отдельного потребителя 1-5 раз за всю жизнь, что значительно влияет на объемы продажи. Зная такие тенденции, можно, рассчитать с большой долей вероятности объемы производства дорогостоящих товаров.

Тем не менее, существуют уже доказанные законы развития рынка. По мере роста культуры и благосостояния людей, услуги все больше превращаются в заботу. Люди согласны покупать высокотехнологичный товар и с ограниченным сроком эксплуатации. Телефон с широкими возможностями, с высокой эргономикой, но со сроком полезной эксплуатации 3-5 лет, ввиду отсутствия возможности замены элемента питания.

Производство развивается по пути постоянного обновления возможностей продукции, расширения функциональности, но с заведомо сниженным сроком эксплуатации. Это путь экономически стабильного государства.

Таких стран в мире не много. Россия не относится к странам с устойчивым экономическим положением. Страна направлена больше на поставку сырья, а не конечного продукта. За время экономического подъема и стабильности, на рынок пришли многие зарубежные автомобильные концерны, ориентированные как на очень высокий доход, автомобили премиум класса, так и на среднего потребителя – автомобили с высокими потребительскими характеристиками.

Одной из особенностей российского подхода является максимально возможный срок эксплуатации автомобиля. То есть, чаще всего автомобиль эксплуатируют за весь жизненный цикл несколько владельцев. Традиционно новый автомобиль эксплуатируется первым владельцем 3-5 лет. Далее автомобиль приобретается новым владельцем и вероятнее всего эксплуатируется не менее 3 лет, в силу различных факторов (налоговое законодательство и т.п.). Речь идет, конечно, об условно исправном автомобиле. А дальше возможно еще эксплуатируется 2-4 владельцами. Таким образом, по усредненным рекомендациям заводов изготовителей срок эксплуатации легковых автомобилей должен составлять 7-8 лет, а фактически составляет 10-15 лет. Конечно, законодательно стараются исправить ситуацию, предлагая автомобильным дилерам помощь по программам утилизации.

Исходя из выше сказанного, эксплуатация легковых автомобилей в России имеет отличия от эксплуатации автомобилей в странах производителях этих автомобилей. В западных странах эксплуатация легкового автомобиля четко смоделирована, культурно и законодательно зафиксирована в пределах 8 лет. Большинство автовладельцев эксплуатируют свои автомобили по четко определенным процедурам, соблюдая рекомендации по гарантийному обслуживанию и постгарантийному облуживанию, и конечно сдают на утилизацию автомобили по истечению срока эксплуатации.

Россия в этом направлении имеет совершенно другой путь развития. За последние годы порядка 70-80% эксплуатируемых легковых автомобилей зарубежного производства. А вот подходы к эксплуатации легковых автомобилей в России в сравнении с зарубежными странами схожи только в гарантийный период, после истечении, которого фирменные автосервисы теряют до 75% своих клиентов. Основная причина такого поведения потребителей стоимость предлагаемых услуг и отсутствие осведомленности о неправильном подходе к организации сервиса (профилактических работ). Вот здесь и вступает в полную силу закон возвышения потребностей. Потребитель в силу своих знаний (культуры) и финансовых возможностей (благосостояния) делает выбор в пользу гарантированного сервиса – услуг фирменного сервиса или обращается за услугами по мере возникновения неисправностей – в универсальный сервис. А некоторая доля автовладельцев подержанных автомобилей пренебрегает необходимостью проведения технического обслуживания и обращается в универсальный сервис только в результате отказа [1].

Фирменный сервисы проводят работу по удержанию автовладельцев, в постгарантийный период [2]. На данный момент существую инструменты, позволяющие вести строгий учет обращений и удовлетворенности клиентов сервиса.

Есть возможность построить «воронку сервиса» [3] дающую возможность установить системные ошибки в управлении автосервисом. Сами по себе воронки предприятие лучше не сделают, они дадут возможность руководителю получить информацию на основе многочисленных срезов и увидеть тревожные тенденции. Анализируя различные комбинации воронок, и выявляя причинно-следственные связи, у менеджеров появляется больше шансов принять правильное управленческое решение.

Еще один подход к удержанию клиентов автосервиса – это оценка их лояльности. Индекс клиентской лояльности - есть индикатор, синтезирующий информацию о восприятии клиентом качества продукции и услуг, предоставляемых производителем. Индекс клиентской лояльности дает информацию с точки зрения клиента, одновременно замеряя ощущения и ожидания и позволяя определить профили и тенденции в отношении качества, выявить приоритеты среди возможностей улучшения и мотивировать их достижение [4]. Из отчетов по уровню индекса клиентской лояльности, разрабатывается проект воронки сервиса, который позволит повысить получаемую прибыль на предприятиях автомобильного сервиса [5].

Оценка клиентской лояльности и воронки сервиса, позволяют оценить поведение клиентов автосервиса за определенный период и сделать выводы для дальнейшей работы. Тем не менее, зная концепции развития автомобилестроения, переход к снижению полезного срока эксплуатации автомобилей и существующие подходы к управлению клиентской лояльностью, считаем более целостным использование жизненного цикла автомобиля для осуществления планирования и организации работы фирменных автосервисов. Жизненный цикл автомобиля (с которым сталкивается автовладелец) включает этапы от приобретения до сдачи на утилизацию.

Очень важно фирменным автосервисам проводить работу по организации привлечения и удержания клиентов на всех жизненных циклах автомобиля. Пропагандировать культуру эксплуатации автомобиля фирменные автосервисы могут начинать еще в автосалоне. При каждом техническом обслуживании информируя клиента о текущем состоянии его автомобиля, прогнозируя возможные изменения, и как врач определять следующую дату визита. В таком подходе проявляется забота о клиенте, предлагается уже не просто услуга.

Нельзя забывать и тот факт, что исправный автомобиль, эксплуатируемый в соответствии с рекомендациями завода изготовителя, не наносит дополнительный ущерб окружающей среде. Автомобили, эксплуатируемые более 10 лет, которые своевременно подвергаются техническому обслуживанию, значительно меньше загрязняют воздух. А автомобили, сданные в утилизацию, не будут причинять ущерб окружающей среде, как их «собратья» брошенные во дворах жилых домов.

Таким образом, организация работы фирменных автосервисов с точки зрения управления жизненным циклом автомобиля, ведет не только к повышению эффективности работы самого автосервиса, но и косвенно решает государственные задачи по сохранению окружающей среды.

Список литературы

1. Эксплуатация подъемно-транспортных, строительных и дорожных машин. Строительные машины. Карнаухов Н.Н., Мерданов Ш.М., Шефер В.В., Иванов А.А. учебник/ Тюмень, 2012. (2-е издание, переработанное и дополненное)

2. Ишкина Е.Г., Корякина Е.А. Фирменные автоцентры: пути сохранения конкурентоспособности/ [Электронный ресурс] // Теория и практика общественного развития. – 2015. – № 10. – Режим доступа: http://www.teoria-practica.ru/vipusk-10-2015 (доступ свободный)

3. Григорьева Т. Воронки на службе сервиса / Т.А. Григорьева [Электронный ресурс] // АвтоБизнесРевю. – 2014. – №1-2

4. Родригес Ф. Измерение индекса удовлетворенности клиентов / Ф. Родригес, Ф. Креус // 43-я конференция Европейского Конгресса Качества. – Мадрид, 1999. – С. 105-113.

5. Захаров Н.С. Информационное обеспечение системы контроля индекса клиентской лояльности / Н.С. Захаров, Л.А. Текутьев [Электронный ресурс] // Инженерный вестник Дона. – 2013. – № 3. – Режим доступа: http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2014/2506 (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.

05.22.10

И.В. Карнаухова, В.Н. Карнаухов, Д.А. Захаров

Тюменский государственный нефтегазовый университет, институт транспорта, кафедра эксплуатация автомобильного транспорта, ikarka13@yandex.ru

ВЛИЯНИЕ ВОДЯНЫХ ПАРОВ НА ТОПЛИВНУЮ ЭКОНОМИЧНОСТЬ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Влага, находящаяся в топливе и воздухе, а также образующаяся в процессе химической реакции, испаряется и на это непроизводительно расходуется часть тепла топлива, что негативно влияет на показатели расхода топлива. В работе представлены результаты исследования процесса диссоциации воды в камерах сгорания ДВС и влияния данных процессов на экономичность двигателей. В результате проведенных исследований разработана математическая модель зависимости расхода топлива и процесса диссоциации воды при изменении давления в камерах сгорания ДВС.

Ключевые слова: *диссоциация воды, экономия топлива, сгорание.*

Относительная влажность воздуха в Тюменской области по исследованиям, проведенным на кафедре «Эксплуатации автомобильного транспорта» Тюменского нефтегазового университета, следующая: 294 дня в году влажность колеблется в диапазоне 60% ÷ 90%, остальные 70 дней относительная влажность менее 60%. Через двигатели легковых автомобилей проходит до 100 кг воздуха в час или 130 м^3, вместе с ним при относительной влажности >60% проходит от 2,5 до 3 кг воды, что нельзя не учитывать при работе ДВС.

Сгорание топлива в двигателях происходит в газообразном состоянии и поэтому испаряемость жидкостей является одним из основных ее свойств. Испаряемость оценивается давлением насыщенных паров, которое зависит от свойств самой жидкости, температуры и вязкости жидкости, которая влияет на тонкость распыливания, но самое главное на скорость испарения. Углеводородное топливо способно растворять в себе воду поглощая ее из воздуха. Количество растворенной воды зависит напрямую от химического состава, относительной влажности воздуха и его температуры.

По исследованиям проведенных в ТюмГНГУ на бензине А-92 и температуре воздуха +25°С во впускном коллекторе и давлении 773 мм рт. столба максимальное содержание воды в 1 кг бензина достигало 147 граммов. Растворенная вода в бензине практически не оказывала при испытаниях влияния на низкотемпературные свойства, но при указанном количестве воды в бензине А-92 он начинает мутнеть при температуре -41°С и ниже.

Кислород воздуха обуславливая процессы горения в камерах сгорания ДВС и очень активен образуя многочисленные окисления со всеми элементами, за исключением инертных газов. Окисление углеводородов в камерах сгорания ДВС кислородом происходит в две стадии: на первой образуются различные перекисные соединения, на второй – происходит полное окисление перекисных соединений с газообразным кислородом. Азот воздуха объемное содержание которого достигает 78% в атмосфере снижает темпы и размеры окислительных реакций в камерах сгорания ДВС, образуя вредные вещества окислы азота NO_x. При сгорании топлива в цилиндрах двигателя температуры достигает 2000°С и более, в результате вода H_2O частично распадается на свободный водород H_2 и свободный кислород O_2. Но реакции между водородом и кислородом идут как в прямом, так и в обратном направлении

$$2H_2O=2H_2+O_2 \text{ – диссоциация}$$

$$2H_2+O_2 = 2H_2O \text{ - сгорание}$$

Процесс разрыва химических связей, происходящий при диссоциации, протекает с затратой энергии (z), а параллельно идущий процесс гидратации протекает с выделениям энергии (q), в результате суммирования получаем теплоту диссоциации($Q_{дис}$):

$$Q_{дис} = q - z \qquad (1)$$

Диссоциация молекул H_2O протекает со значительным поглощением тепла $H_2O \rightleftarrows H+OH-$ 13,7 ккал.Но при повышении температуры сгорания степень диссоциации многократно увеличивается и, выделившиеся в процессе сгорания, Н и ОН вновь окисляются, выделяя дополнительное количество теплоты. При этом окись углерода СО, необходимая при сгорании водорода (или просто водородного топлива в смеси с 25% воды при ее непосредственном впрыске во впускной трубопровод в раскрепленном виде, а еще лучше в виде пара), образовывается в результате диссоциации CO_2, находящегося в воздухе.

При этом масса продуктов сгорания топлива равняется сумме масс:

1. 1 кг топлива;
2. Действительного удельного расхода сухого воздуха αL_o;
3. Атмосферных водяных паров $M_{ва}$ в расходуемом воздухе;
4. Водяных паров в топливе $M_{вт}$

$$M_г = 1 + \alpha L_0 + M_{ва} + M_{вт} \quad (2)$$

1. Масса сухого воздуха по формуле:

$$M_в = \alpha L_0 = 13{,}455 кг$$

2. Масса атмосферных водяных паров определяем по формуле:

$$M_{ва} = f \cdot \rho_н \cdot \alpha \cdot L_0 = 0{,}326 кг$$

где f = 0,8при влажности воздуха >60%, $\rho_н$ = 0,0303 кг/м^3 при t воздуха +30°С.

3. Массу водяных паров образовавшихся при сгорании топлива определяем по массе водяных паров образовавшихся при сгорании водорода и испарения влаги топлива

$$M_{вт} = \frac{9H + W}{100} = \frac{9 \cdot 10{,}3 + 3}{100} + 0{,}3 = 1{,}257 кг$$

$$M_г = 1 + 13{,}455 + 0{,}326 + 1{,}257 = 16{,}038 кг$$

Определив теоретическую массу сгоревших газов, вычисляем фактическую с учетом экспериментальных исследований по формуле (3) с учетом фактического давления и температуры:

$$\overline{m} = \overline{m}_0 + S\left[\left(\frac{P_{дв} \cdot T_{дв}}{T_0 \cdot \rho_0 \cdot R_в} - 273\right) - t_0\right]^2 \quad (3)$$

где $\overline{m_o}$ - оптимальная теоретическая масса газов при сгорании топлива в оптимальных условиях;

S – параметр чувствительности массы по температуре, кг/^{o}С;

$t_ф$ – фактическая температура горения,^{o}С;

$t_{опт}$ – оптимальная температура сгорания, при которой масса сгоревших газовминимальна, ^{o}С.

$P_{дв}$ и $T_{дв}$ – давление (Па) и температура(К) в камере сгорания двигателя;

T_o, ρ_o –первоначальная температура, плотность (кг/м^3) воздуха (смеси) в цилиндре ДВС;

$R_{вл}$ – газовая постоянная смеси, для смеси R= 289 Дж/кг·К.

Экспериментальные исследования проводились на автомобиле Мазда СХ-7 с двигателем MZR-2,3(параметр чувствительности массы по температуреS=0,000006 кг/^{o}С).

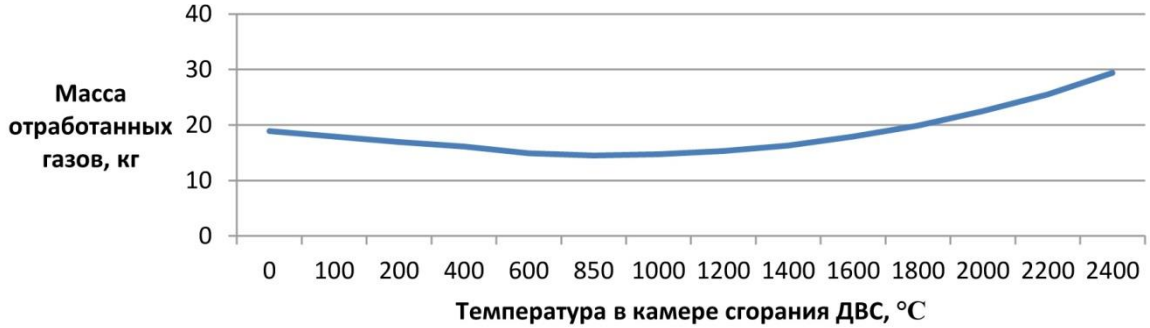


Рис. 1. Зависимость массы отработанных газов от температуры в камере сгорания двигателя MZR-2,3

На рисунке 1 видно, что при низких температурах процесс воспламенения связан с мгновенным развитием цепных реакций, в связи с тем, что взрывной характер обуславливает распад перекисных соединений. Причиной является повышенное наличие радикалов OH, внедрение которых в свежую смесь, способствует увеличению цепных реакций. (Это особенно заметно если в качестве топлива применяется водород H_2, так как сильно увеличивается температуропроводимость топливной смеси). При изменении температуры в камере сгорания от 600 до 1200°С начинает быстро увеличиваться распад на гидроперекиси с образованием альдегидов, что препятствуетбурному продолжению цепных реакций в указанном интервале. На этом низкотемпературные цепные реакции заканчиваются и после 1200°С начинаются высокотемпературные цепные реакции, которые развиваются параллельно с низкотемпературными, но при доминированиивысокотемпературных цепных реакциях.

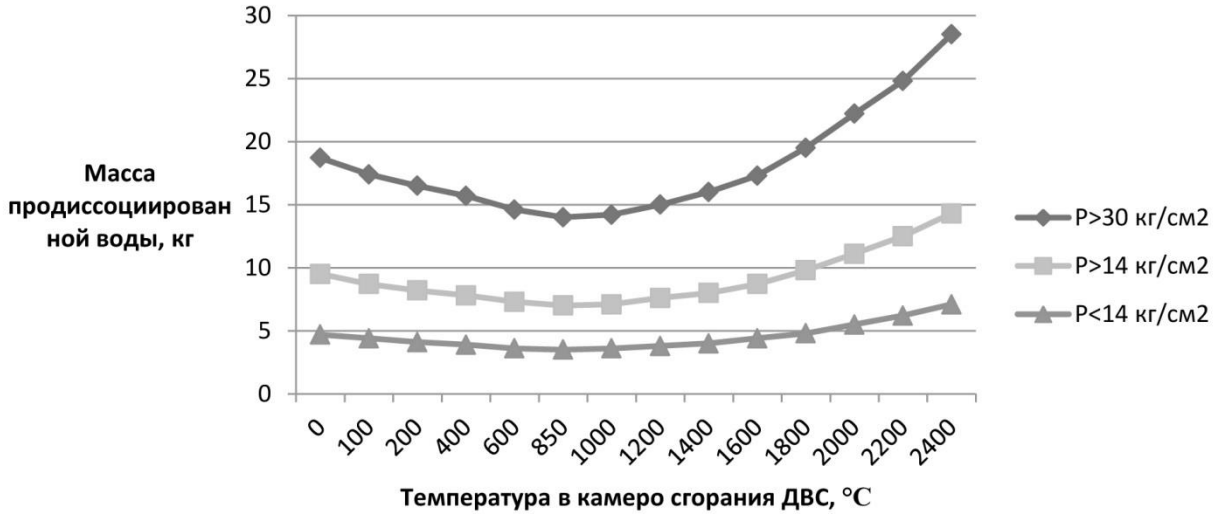


Рис.2. Зависимость массы продиссоциированной воды от температуры и давления в камере сгорания двигателя MZR-2,3

На рисунке 2 видно, что при давлении P<14 кг/см^{2}диссоциация водяных паров происходит практически равномерно и слабо зависит от изменения температуры в камере сгорания ДВС. Многочисленные испытания, проведенные в 40^x годах в СССР на авиационных двигателях, показали, что впрыск воды до 50% от расхода топлива не сказывается отрицательным образом на полноте сгорания углеводородного топлива, что подтверждено испытаниями на двигателе MZR-2,3 автомобиля Мазда CX-7. Во впускной коллектор подавалась дистиллированная вода в виде пара и капельным путем до 40%. При подаче воды в виде пара экономия топлива достигала 15-20%. При подаче в виде капель и давлении >30 кг/см^2 экономия составила порядка 10%, при давлении более 14 кг/см^{2}диссоциация воды увеличивалась до 10-14% и экономия топлива достигала 12%.При давлении P<14 кг/см^2 двигатель работал без признаков детонации на любых режимах при этом диссоциация воды достигала 7%, экономия топлива - 10%.

Список литературы

1. Энергетические комплексы на транспорте. Л.И. Гречихин, Н.Г. Куць;Под ред. Л.И. Гречихина. Минск: право и экономика, 2013. 257 с.
2. Двигатели внутреннего сгорания. Д.Н. Вырубов, Н.А. Иващенко, В.И. Ивин и др.; Под ред. А.С. Орлина, М.Г. Круглова. М.: Машиностроение, 1983. 372 с.
3. Коваленко Н.А. Научные исследования и решения инженерных задач в сфере автомобильного транспорта. Минск: Новое знание; М.: ИНФРА-М, 2011. 271 с.
4. Усольцев В.А. Измерения влажности воздуха. Л.:Гидрометеоиздат, 1959. 182 с.
5. Куць Н.Г., Гречихин Л.И. Водяной двигатель//Вісник СевНТУ: зб. наук.пр. 2011. Вип.122. с.22-26

05.02.07

Д.О. Кочетов, А.А. Дубков, Д.М. Кононов, А.В. Жданов к.т.н.

Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых, Владимир, zhdanov@vlsu.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК НИТРИДНЫХ И УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ALSICR И ALSITI

Приводятся результаты трибологических исследований нитридных и углеродсодержащих покрытий системы Al-Si-Cr и Al-Si-Ti в условиях сухого трения и трения в смазочных материалах различного типа. Получены экспериментальные зависимости коэффициента трения от состава покрытия, времени испытания, типа смазочного материала. Выявлены покрытия с низкими коэффициентами трения и износостойкостью.

Ключевые слова: *PVD-покрытия, трибологические характеристики.*

В работе [1] приводились результаты исследования рассматриваемых в данной статье покрытий на предмет их адгезионной прочности с подложкой из стали 40Х, поликора, Al2O3, сравнительная характеристика, а также измерен средний коэффициент трения в условиях сухого контакта и приведена методика испытаний.

В данной работе проводилось исследование тех же покрытий, полученных на установке Unicoat 600SL, осажденных на подложке из стали 40Х, при идентичных условиях испытаний [1] на трибометре CSM Instruments (Швейцария), но в среде смазочных материалов: графитная смазка, Литол-24, моторное масло Лукойл 5W40. Целью испытаний было определение системы смазочный материал – покрытие с наилучшими трибологическими характеристиками. Схема испытаний представлена рис. 1.

Нагрузка FN = 10 Н (поз.4) давит на стержень с индентором 5 (шарик из стали 100Cr6 Ø6 мм), результирующую силу трения регистрируют дифференциальные датчики перемещения (LVDT), укрепленные на измерительной штанге 7. Данные от датчиков поступают через АЦП прибора в компьютер, строятся графики зависимости коэффициента трения f и износа от времени, длины пути трения.

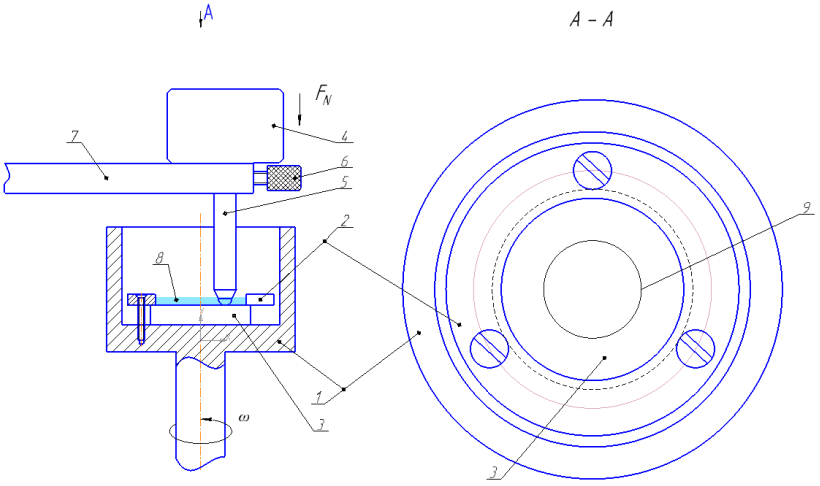


Рис.1 Схема испытаний на TRIBOMETER (CSM):
1-патрон, 2-удерживающее кольцо, 3-образец, 4-груз (10 Н), 5-стержень со сферическим индентором, 6-стопорный винт, 7-измерительная штанга, 8-масло, 9-след износа.

В табл. 1 приведены экспериментальные данные f во время приработки и в конце испытаний, время приработки, величины износа, а также суммарная интенсивность износа четырех покрытий в среде смазок и сухого трения. Наименьшую интенсивность износа имеют покрытия: при сухом трении - (AlSiTi)C:H, в графитной смазке - (AlSiCr)N и

(AlSiCr)C:H, в пластичной смазке Литол-24 - (AlSiTi)N, в синтетическом масле Лукойл 5W40 - (AlSiCr)C:H. Суммарная интенсивность износа рассчитывалась: $I_{\Sigma} = \frac{h}{L}$, где h – величина износа образца, мкм; L – путь трения, мкм. [2]

Таблица 1.

Результаты трибометрических испытаний

Покрытие	Время приработки/f с/Ктр.пр	Приработочный износ, h_0, мкм	f в конце испытаний, Ктр.к	Ктр.пр/Ктр.к	Интенсив-ность износа
Сухое трение					
(AlSiCr)N	906/0,55	50	0,27	2,03	$166 \cdot 10^{-9}$
(AlSiTi)N	5,51/0,25	37	0,33	0,75	$123 \cdot 10^{-9}$
(AlSiCr)C:H	102/0,12	25	0,10	1,2	$83 \cdot 10^{-9}$
(AlSiTi)C:H	232/0,06	24	0,055	1,09	$8 \cdot 10^{-9}$
Трение в графитной смазке					
(AlSiCr)N	300/0,057	48	0,024	2,37	$16 \cdot 10^{-9}$
(AlSiTi)N	450/0,037	10	0,028	1,32	$33 \cdot 10^{-9}$
(AlSiCr)C:H	600/0,050	5	0,025	2	$16 \cdot 10^{-9}$
(AlSiTi)C:H	750/0,150	7	0,070	2,14	$23 \cdot 10^{-9}$
Трение в смазке Литол-24					
(AlSiCr)N	900/0,37	10	0,45	0,82	$33 \cdot 10^{-9}$
(AlSiTi)N	600/0,27	18	0,15	1,8	$6 \cdot 10^{-9}$
(AlSiCr)C:H	600/0,24	11	0,15	1,8	$36 \cdot 10^{-9}$
(AlSiTi)C:H	50/0,12	11	0,07	1,71	$36 \cdot 10^{-9}$
Трение в моторном масле Лукойл 5W40					
(AlSiCr)N	50/0,025	10	0,016	1,56	$33 \cdot 10^{-9}$
(AlSiTi)N	35/0,050	8	0,034	1,47	$26 \cdot 10^{-9}$
(AlSiCr)C:H	25/0,085	6	0,109	0,77	$2 \cdot 10^{-9}$
(AlSiTi)C:H	20/0,063	5	0,057	1,105	$16 \cdot 10^{-9}$

На рисунках 2-5 приведены графики зависимостей средних коэффициентов трения f от времени испытаний в разных условиях. Как видно из рис. 2 в режиме сухого трения хорошо работают углеродсодержащие покрытия, так как углерод, присутствующий в покрытии и соединениях, выдерживает более высокую температуру в контакте по сравнению с трением в смазках, т.к смазки отводят часть тепла из зоны трения, что способствует сохранению структуры покрытия и препятствует его разрушению. При анализе на рис. 3 видно, что все четыре покрытия имеют в среде графитной смазки довольно низкие коэффициенты трения. Можно выделить покрытие (AlSiCr)C:H как наиболее стабильно работающее покрытие с самым низким коэффициентом трения. В смазке Литол-24 хорошие результаты показали покрытия (AlSiTi)N, (AlSiTi)C:H, (AlSiCr)C:H. Лучшим из них является (AlSiTi)C:H. Причем можно заметить почти идентичную работу покрытий (AlSiTi)N и (AlSiCr)C:H.

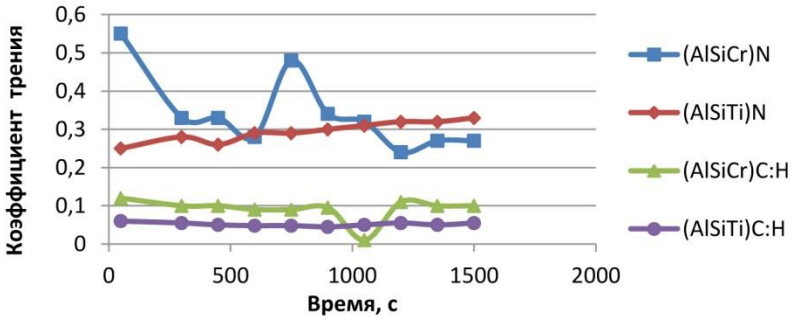


Рис. 2. График зависимостей средних коэффициентов трения f от времени испытаний в условиях сухого трения

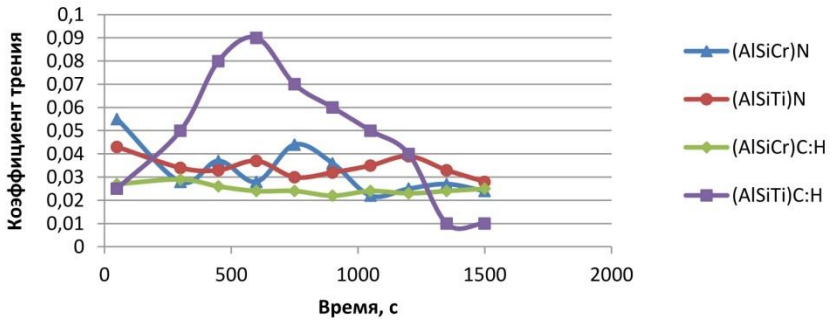


Рис. 3. График зависимостей средних коэффициентов трения f от времени испытаний в условиях графитной смазки

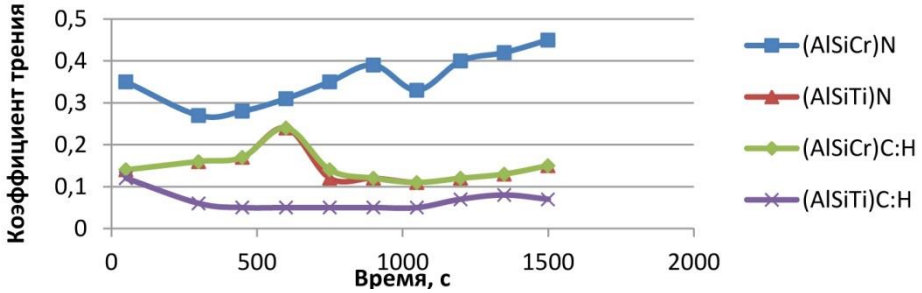


Рис. 4. График зависимостей средних коэффициентов трения f от времени испытаний в условиях смазки Литол - 24

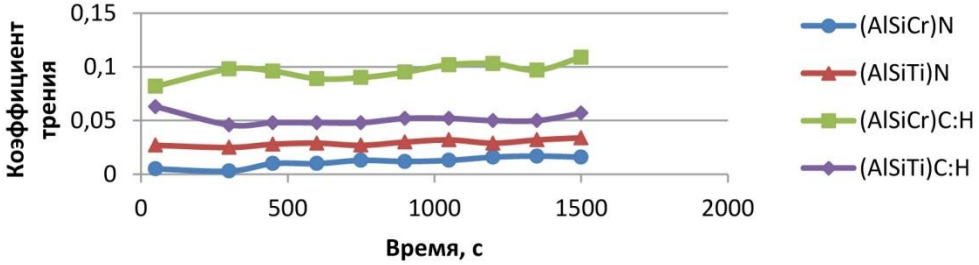


Рис. 5. График зависимостей средних коэффициентов трения f от времени испытаний при использовании моторного масла Лукойл 5W40

В жидком моторном масле покрытия (AlSiCr)N, (AlSiTi)N, (AlSiTi)C:H ведут себя схоже, лучшим из этого ряда является (AlSiCr)N.

В ходе трибологических исследований предварительно установлено, что при сухом трении приданной схеме испытаний удовлетворительно работают углеродсодержащие покрытия (AlSiTi)C:H, (AlSiCr)C:H; в условиях графитной смазки наилучшим является (AlSiCr)C:H, в Литол-24 проявляет хорошие антифрикционные свойства покрытие (AlSiTi)C:H; в синтетическом моторном масле Лукойл 5W40 имеет лучшие результаты - (AlSiCr)N. Следует отметить, что данные результаты получены при схеме испытаний «шар-диск» с контртелом из сертифицированной зарубежной стали, аналогом которой является сталь ШХ15. Для более полного исследования трибологических свойств данных покрытий необходимо произвести испытания с контртелами из данных покрытий, полимеров, более твердых и более мягких и вязких материалов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта 13-08-01199 а.

Список литературы

1. *Кочетов Д.О, Жданов А.В.* «Сравнительная характеристика физико-механических и трибометрических свойств PVD-покрытий». – Махачкала: ООО «Апробация», 2014 – 160 с.

2. *Dmitry M. Kononov, Aleksey V. Zhdanov, Valentin V. Morozov.* Receiving and research of diamond-like Pvd-coating / Advanced Materials Research. – Vol. 1088 (2015). – pp 391-394. ISSN: 1662-8985. (Trans Tech Publications, Switzerland, doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.1088.391).

05.13.15

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

АНАЛИЗ СВЯЗНОСТИ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ AS-ГРАФА НА БАЗЕ СРАВНЕНИЯ РАБОТЫ ПРОТОКОЛОВ IPV4 И IPV6 С ПРИМЕНЕНИЕМ АЛГОРИТМОВ K- CORE АНАЛИЗА

Производится анализ структуры европейской части AS-графа (Autonomous System) сети Интернет для выбранного отображения статического состояния набора данных с использованием различных метрик связности, а также определение основных узлов, имеющих приоритетное значение для стабильной работы внешней маршрутизации шлюза. Методология исследования базируется на применения специального инструментария проекта CAIDA и разработанного на основе алгоритма вычисления K-ядра (K-core analysis) программного обеспечения для сравнения работы проколов IPv4 и IPv6 при помощи графического отображения топологии маршрутизации проекта SUBNETS.RU.

Ключевые слова: *протоколы IPV4, IPV6, автономная система, топология, граф связности, анализ K-ядра, метрика машрутизации.*

Глобальная сеть Интернет относится к безмасштабным сетям (scale-free). Расширение таких сетей ведется путем присоединения автономных систем (*AS - Autonomous System)* – локальных сетей, каждая из которых является масштабной сетью. Одной из наиболее сложных проблем, возникающих при увеличении масштаба сети, является адресация. Объединение AS в глобальную сеть осуществляется по протоколу IP стека TCP/IP. Существуют две версии данного протокола: IPv4 (длина адреса 32 бита) и IPv6 (длина адреса 128 бит) [1, 2]. В этой связи актуальной задачей является сравнение функциональных возможностей широко применяемого на практике IPv4 и внедряемого IPv6 для последующей его модификации. Актуальность этой задачи определяется так же тем, что протокол IPv6 может обеспечить до $5 \cdot 10^{28}$ адресов на каждого жителя Земли [3], что означает возможность последующего перевода всей сети Интернет на данный тип адресации. Основным критерием при проведении сравнительного анализа является максимальное количество связанных узлов в AS, что обеспечивает создание и расчет лучших маршрутов передачи данных в сети.

Целью данного исследования являлся анализ связность европейской части AS-графа [4] на базе сравнения работы протоколов IPv4 и IPv6 на выбранном отображении статического состояния набора данных путем снятия метрик топологии сети с применением инструментария проекта CAIDA и получения графического представления полученных топологий с применением инструментария проекта SUBNETS.RU. Разработанное программное обеспечение (ПО) производит вычисление *K*-ядер с предоставлением открытого кода.

В качестве основного алгоритма генерации безмасштабных сетей рассматривалась широко распространенная модель Барабаши-Альберт, в соответствии с которой сеть начинает строиться с первоначальной сети, состоящей, по крайней мере, из двух соединенных между собой узлов. Степень каждого узла в исходной сети должна равняться не менее 1, в противном случае он всегда будет оставаться отключенным от остальной части сети. Новые узлы добавляются к первоначальной сети по одному. В результате сеть имеет топологию «медузы», с ядром из многосвязных автономных систем (AS) и периферийными AS, «висящими» вокруг этого ядра, как «щупальца». Ядро определяется как клика (подмножество вершин) узлов высокой степени [5]. Одним из подходов анализа безмасштабной сети является вычисление K-ядра (K-core analysis) [6] на основе методологии упрощения графа топологии сети. При этом для графа *G* с набором вершин *V* и множеством

ребер E, К-ядро вычисляется путем обрезки всех вершин (с соответствующими краями) со степенью меньше k. Это означает, что если вершина u имеет степень d_u и n соседей со степенью меньше k, то степени u становится $d_u - n$; и она будет также сокращена, если $k > d_u$.

Процесс маршрутизации в сети Интернет лучше всего иллюстрируется на примере заказчика-провайдера AS-модели. Предоставляемые автономные системы классифицируются ярусами, начиная с 1-го уровня AS, являющимися системами с наивысшей степенью связности, определяющимися, как сети, которые могут достигать любой другой сети в Интернет, не приобретая IP-транзит или оплачивая соглашения. По существу, связность глобальной сети Интернет в решающей степени зависит от наличия 1-го уровня AS.

В проведенном исследовании использовались статистические материалы, предоставленные проектом CAIDA, база данных которых формируется при помощи активного средства активного измерения сети Archipelago (Ark). Для графического представления полученных в ходе исследования топологий была использована утилита из набора «BGP tools», позволяющая построить граф связанности AS по ее номеру [7] как это представлено на рисунке 1 и запросить ее данные у RIPE NCC (проект SUBNETS.RU) [8].

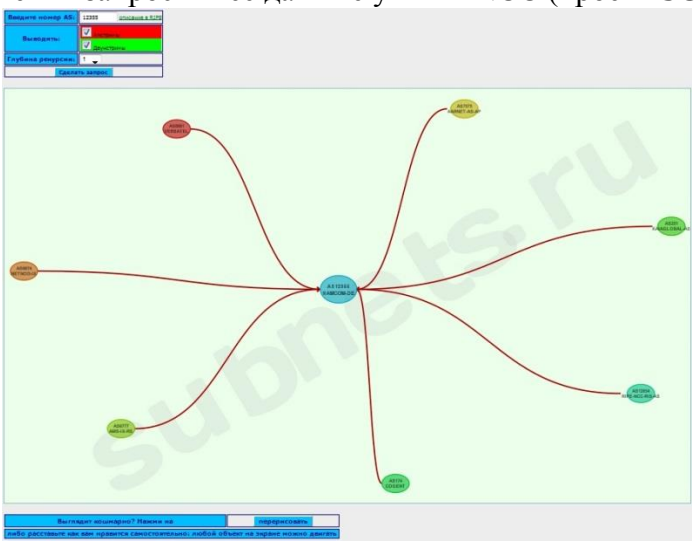


Рисунок 1 - Построение графа связанности AS12355

Специальное ПО, разработанное на языке C#, предназначенном для создания приложений в среде .NET Framework, позволило произвести исследование структуры европейской части AS графа сети Интернет для выбранного отображения статического состояния набора данных с использованием различных метрик связности, а также осуществить определение основных узлов, имеющих приоритетное значение для стабильной работы внешней маршрутизации шлюза. Анализ строился по следующему алгоритму:

1. С базы данных CAIDA снималось статическое состояние набора данных (snapshot) за предоставляемый период времени (январь 2014) [9];
2. Обработка полученных snapshots производилась при помощи разработанного специального ПО по выбранному значению K-ядра (K-core analysis). В связи с обширностью массива данных и тем фактом, что вычисления и сбор статистических данных в работе проводится вручную, достаточным значением K-core для проведения анализа принято 26;
3. В результате анализа выделялось 2 массива данных: для IPv4 n=50, для IPv6 n=13 (такой разрыв обусловлен тем, что внедряемый протокол IPv6 используется в настоящее время менее чем в 1% сети Интернет);
4. Для каждого i-ого и j-го значения для протокола IPv4 и IPv6, строился граф связности при помощи инструментария проекта SUBNETS.RU;
5. Вручную подсчитывалось количество соединений (links): входящих (in) и исходящих (out), определяющих степень связности графа. По результатам анализа собранных данных вычислялась процентная составляющая каждого типа соединений. Диаграммы распределения нагрузки работы протоколов IPv4/IPv6 при ведены на рисунках 2, 3.

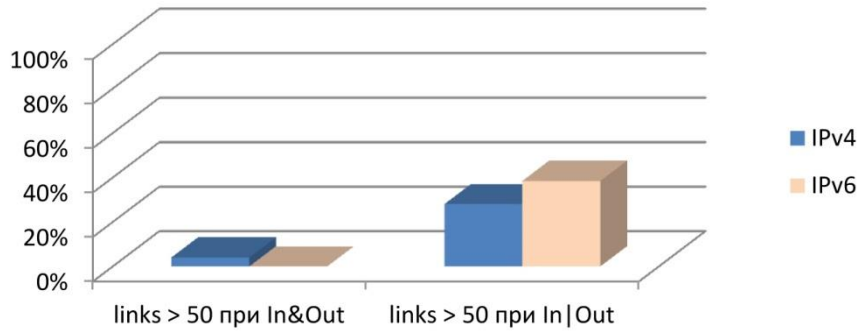


Рисунок 2 – Диаграмма распределения нагрузки работы протоколов IPv4/IPv6 для условий links > 50 при In&Out/ links > 50 при In|Out

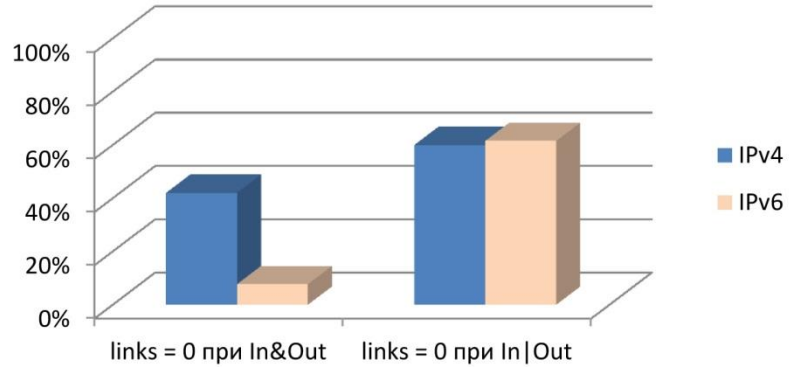


Рисунок 3 – Диаграмма распределения нагрузки работы протоколов IPv4/IPv6 для условий links = 0 при In&Out/ links = 0 при In|Out

Таким образом, исследования показали, что для AS, имеющих большое количество связей (links > 50) передача данных по протоколу IPv6 организована лучше в 1,37 раза. При меньшем количестве AS (13 штук) - большее количество связей (38,46 % от общего числа ASов, тогда как для IPv4 этот показатель равен 28%). Если рассматривать в качестве показателя количество пустых соединений в сети (links = 0), то работа протокола IPv4 налажена лучше в 1,03 раза (60% от общего числа ASов, тогда как для IPv6 этот показатель равен 61, 54 %). При этом следует отметить, что показатель наличия связей имеет первостепенное значение, так как рассматривается возможность передачи информации. На основании проведенных исследований можно сделать вывод о предпочтительности протокол IPv6 как обеспечивающего лучшее соединение на данном участке глобальной сети.

Список литературы

1. Cheshire S. Aboba B. Guttman E. Dynamic Configuration of IPv4 Link-Local Addresses// The Internet Society. 2005 – 33 p.
2. IPv6 FAQ- 2015. URL: http://www.internetsociety.org/ipv6-frequently-asked-questions
3. Cisco IPv6 Lab: IPv6 Deployment. URL: http://6lab.cisco.com/stats/index.php
4. Khalifa I. Characterization of the Internet at the AS Level/ - Burnaby: Simon Fraser University, 2002. – 11p. URL: http://www2.ensc.sfu.ca/~ljilja/ENSC835/Spring02/Projects/khalifa/report.pdf
5. Barabasi, A.-L., Albert R. Emergence of scaling in random networks. Science 286: 509–512. Newman, M. E. J. (). Power laws, Pareto distributions and Zipf's law. Contemporary Physics, 2005, № 46. - P. 323–351.
6. Goltsev, A. V.; Dorogovtsev, S. N.; Mendes J. F. F. K-core (bootstrap) percolation on complex networks: Critical phenomena and nonlocal effects. Physical Review, E 73, 056101, 2006, Vol. 73, Iss. 5.- 25 p .
7. RIPE Database Query URL: https://apps.db.ripe.net/search/query.html?AS12355
8. SUBNETS.RU: Online BGP tools: Построение графа связанности AS по ее номеру, 2015. URL: http://subnets.ru/as_graph.php?as=AS12355&i=on&r=1&sub=%D1%E4%E5%EB%E0%F2%FC+%E7%E0%EF%F0%EE%F1
9. CAIDA Data - Overview of Datasets, Monitors, and Reports, 2015. URL: http://www.caida.org/data/overview/

05.22.08

Д.Н. Куклев

Дальневосточный государственный университет путей сообщения,
кафедра «Технология транспортных процессов и логистика»,
Хабаровск, boblok@mail.ru

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПРОПУСКА ПОЕЗДОВ ПО УГЛОВОЙ СОЕДИНИТЕЛЬНОЙ ВЕТВИ

Для получения результатов о времени прохождения угловых поездов в пределах условного железнодорожного узла, формируемого преимущественно тремя станциями, по различным вариантам – с угловым заездом и без него, предлагается применять имитационное моделирование. В статье приводится процесс формализации прохождения поездов через железнодорожный узел, рассматриваемый как система массового обслуживания.

Ключевые слова: *железнодорожный узел, система массового обслуживания, имитационная модель, угловая соединительная ветвь, формализация.*

Введение

Несмотря на сложную экономическую ситуацию в стране, сложившуюся в настоящее время, которая не могла не отразиться на функционировании железнодорожного транспорта, с повестки дня не снимается вопрос о повышении эффективности работы отрасли. Наоборот, есть четкое понимание того, что особенно в условиях кризиса необходимо, в первую очередь, устранять недостатки, выражающиеся в излишних издержках, оттягивающих часть оборотных средств.

Одним из таких недостатков является наличие угловых заездов поездов в железнодорожных узлах, преимущественно имеющих три станции, расположенные таким образом, что части поездов приходится менять направление движения при проследовании с одной линии на другую. Это может быть сопряжено с дополнительными расходами по пробегу и простою подвижного состава, которые можно было бы устранить путем строительства угловой соединительной ветви и пропуском по ней поездов (рис. 1). При этом следует отметить, что наибольший эффект конечно будет в том случае, когда в узле нет технических операций с поездами, а происходит лишь перемена направления их движения.

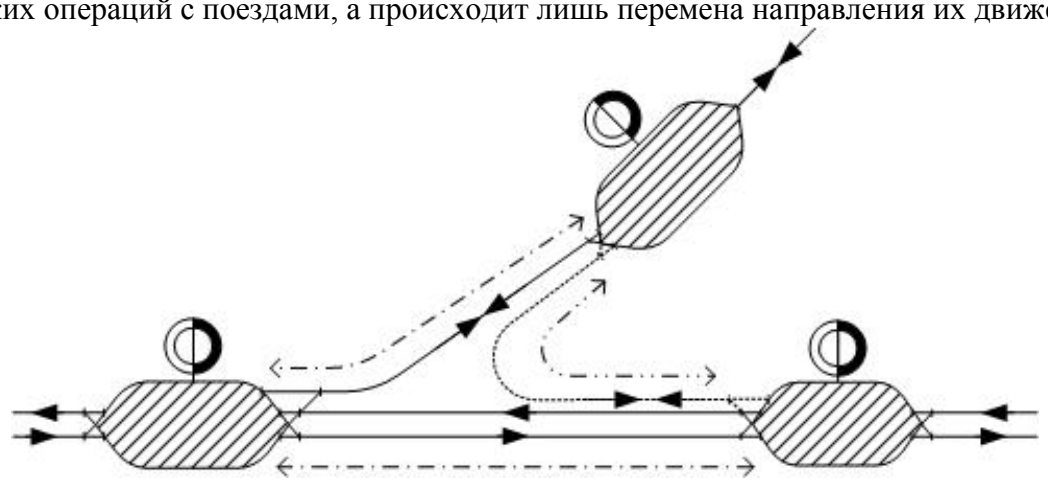


Рис. 1 – Принципиальная схема размещения станций и продвижения поездопотоков в железнодорожном узле, состоящем из трех станций: – следование по варианту с угловым заездом; – следование по варианту без углового заезда (по угловой соединительной ветви); – угловая соединительная ветвь

Ключевым показателем здесь является разница времени нахождения поезда в пределах узла, для получения данных о котором целесообразно построить имитационную модель, формализовав на начальном этапе задачу, стоящую перед исследованием.

Формализация процессов в системе «железнодорожный узел».

Для того чтобы построить модель, которая будет отражать реально происходящие процессы, необходимо выявить и сохранить основные закономерности, характерные для моделируемого процесса.

Железнодорожный узел, состоящий из трех станций, можно представить как систему массового обслуживания, формальное описание работы которой можно представить в виде Q-схемы. На рис. 2 представлена укрупненная функциональная схема пропуска транзитного поезда через железнодорожный узел при наличии углового заезда.

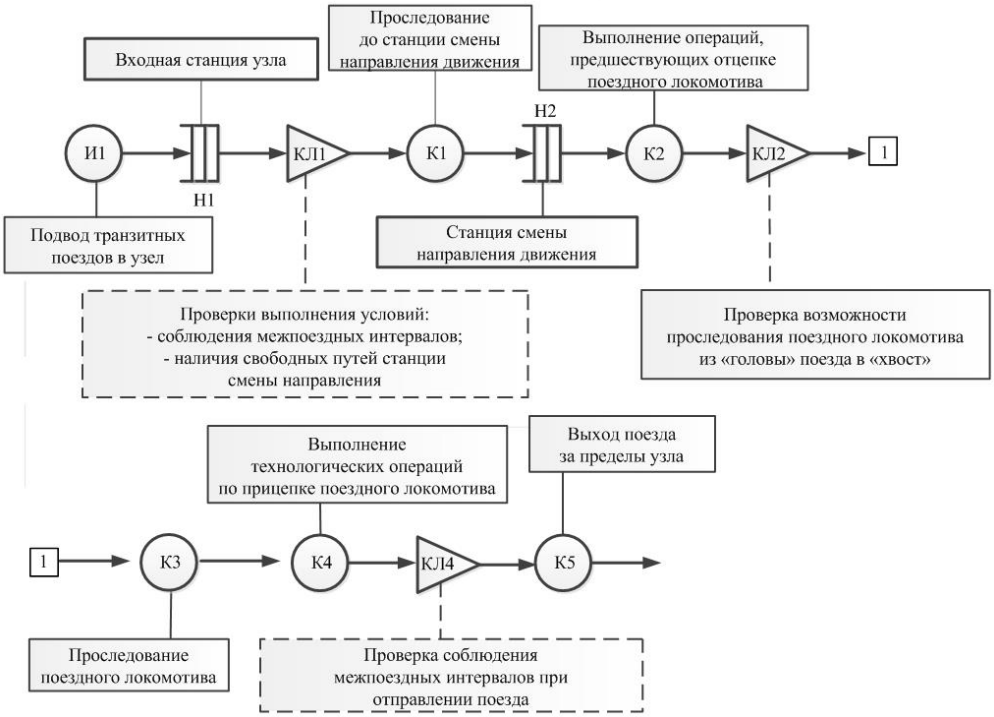


Рис. 2 – Функциональная схема пропуска угловых поездов с угловым заездом

В качестве элементов структуры принятой Q-схемы представлены: И – источники; Н – накопители; К – каналы обслуживания заявок; КЛ – клапаны. Сплошными линиями показаны связи, отражающие продвижение заявок, пунктирными – управляющие связи (условия, определяющие, например, возможность продвижения). С аналогичными схемами, отражающими процесс пропуска поездов через железнодорожные узлы с последовательным расположением станций можно ознакомиться, например, в [1].

Источники (И) имитируют: поступление в узел пассажирских и грузовых (с угловым заездом и без такового) поездов. Роль накопителей (Н) с определенной емкостью (числом приемоотправочных, ходовых путей) играют каждая из трех станций, обеспечивающих в случае необходимости остановку и нахождение грузовых поездов по условиям пропуска пассажирских, а также угловых поездов в целях смены «головы» на «хвост» поезда. К фазам обслуживания относятся перегоны между станциями узла, а также станция, на которой осуществляется смена направления движения поезда.

В отличие от аналитических зависимостей модель позволяет учесть во многом стохастическую «природу» транспортного процесса, обусловленную во многом неравномерностью грузового и пассажирского движения, а также более точного учета времени задержки подвижного по условиям враждебности маршрутов.

Порядок работы модели определяет то, что пассажирские, а также грузовые поезда основного направления в модели имеют приоритет перед поездами, следующими со сменой направления движения.

Исходные данные для моделирования

Исходя из логики построения модели в качестве исходных параметров необходимо выделить:

- суточное число и порядок поступления поездов различных категорий (пассажирских и грузовых), следующих через узел в преимущественном направлении;
- суточное количество и закономерности появления грузовых поездов, поступающих в узел с дополнительного примыкания (с угловым заездом и без него);
- время, связанное со сменой поездного локомотива на раздельном пункте, при перемене направления движения поезда. Определяется исходя из скорости, расстояния движения и возможных задержек на враждебных пересечениях маршрутов, что в свою очередь зависит от отсутствия или наличия путевого развития, исключающего выезд на главные пути.

Математическое описание моделируемой системы

Математическое описание процесса пропуска угловых поездов через железнодорожный узел, как системы массового обслуживания, основывается на том, что целью исследования является получение результатов о времени нахождения углового поезда в пределах узла, $t_{узл}$, при его пропуске либо с угловым заездом на станцию, где происходит операция по смене «головы» на «хвост» поезда, либо по угловой соединительной ветви. Данный показатель является основным при решении многих задач, например, при обосновании обходов для пропуска транзитных поездов [2] или прогнозировании продвижения вагонопотоков по сортировочным станциям [3].

Таким образом, целевая функция описываемой модели может быть представлена следующим образом:

$$t_{узл} = \begin{cases} f(N, m_{угл}, t_{угл}, L_{угл}, l_{лок}) \to \min, при\ \alpha = 1 \\ f(N, m_{б/угл}, t_{б/угл}, L_{б/угл}) \to \min, при\ \alpha = 2 \end{cases},$$

$$\alpha = \begin{cases} 1, если\ транзитный\ поездопоток\ идет\ с\ угловым\ заездом \\ 2, если\ транзитный\ поездопоток\ идет\ по\ угловой\ соединительной\ ветви \end{cases},$$

где N – размеры движения поездов (пассажирских, грузовых); $m_{угл}$, $m_{б/угл}$ – путевое развитие (число путей на станции смены направления движения, главных путей перегонов) по варианту с угловым заездом и без него соответственно; $t_{угл}$, $t_{б/угл}$ – время хода поездов с угловым заездом и по прямому маршруту соответственно; $L_{угл}$, $L_{б/угл}$ – расстояние пробега углового поезда по вариантам с угловым заездом и без него соответственно; $l_{лок}$ – расстояние пробега поездного локомотива при смене «головы» на «хвост» поезда.

При этом естественно, что вопрос о целесообразности сооружения угловой ветви для пропуска грузовых поездов может рассматриваться, если минимум целевой функции будет при $\alpha = 2$, в противном случае сама постановка задачи не будет иметь смысла, поскольку угловые ветви строятся в первую очередь для ускорения продвижения поездов.

Заключение

Таким образом, в статье был формализован и математически представлен процесс пропуска поездов по двум вариантам через железнодорожный узел, состоящий из трех станций, при наличии и отсутствии углового заезда, что требуется для получения результатов о продолжительности нахождения поездов в пределах узла. На следующем этапе этот процесс будет алгоритмически описан и реализован на одном из доступных языков имитационного моделирования.

Список литературы

1. Куклев, Д.Н. Математическое описание процесса пропуска транзитных поездов через железнодорожный узел при наличии обхода [Текст] / Д.Н. Куклев, Н.В. Куклева // Инновации и инвестиции. Научно-аналитический журнал. №7, 2014. – С.111–114.
2. Куклев, Д.Н. Обоснование целесообразности строительства обходов железнодорожных узлов [Текст] // автореферат дисс. канд. техн. наук. – СПб. : ПГУПС, 2007. – 24 с.
3. Долгорук, Д.С. Моделирование продвижения вагонопотоков на сортировочных станциях [Текст] / Д.С. Долгорук, Т.Н. Каликина // Транспорт Азиатско-Тихоокеанского региона. – 2013. – №1. – С.81–84.

05.22.08

Н.В. Куклева

Дальневосточный государственный университет путей сообщения,
кафедра «Технология транспортных процессов и логистика»,
Хабаровск, kukleva.natalya@bk.ru

О КРИТЕРИИ ВЫБОРА СТАНЦИЙ ДЛЯ ПЕРЕУСТРОЙСТВА ПОД СКОРОСТНОЕ ДВИЖЕНИЕ ПАССАЖИРСКИХ ПОЕЗДОВ ПРИ ОГРАНИЧЕННЫХ КАПИТАЛЬНЫХ ВЛОЖЕНИЯХ

При подготовке железнодорожных линий к скоростному движению пассажирских поездов большая часть затрат приходится на реконструкцию промежуточных раздельных пунктов – обгонных пунктов, промежуточных станций. При этом при ограничении капитальных вложений возникает проблема выбрать те из них, которые при минимальных капитальных вложениях после реконструкции, с целью повышения скоростей пассажирских экспрессов, дадут максимальный эффект. В статье предлагается критерий, который позволяет учесть эти величины.

Ключевые слова*: скоростное движение, железнодорожные станции, промежуточные раздельные пункты с путевым развитием, переустройство, пассажирские поезда.*

Введение

При подготовке железнодорожных магистралей к движению пассажирских экспрессов со скоростью до 200 км/ч требуется привлечение больших финансовых средств, покрывающих необходимые капитальные вложения. Эти затраты идут на устранение «барьерных мест» как на перегонах, так и на станциях, которые, как правило, являются участками ограничения скорости. И если по перегонам объемы работ на переустройство, а следовательно, и капитальные вложения, подсчитать достаточно просто, то для станций, ввиду их непохожести, это сделать весьма проблематично.

Вместе с тем, в настоящее время сложная экономическая ситуация, в том числе и в транспортной отрасли, диктует необходимость достижения поставленных целей наиболее эффективно, расходуя выделенные средства с максимальной отдачей. В данном частном случае вопрос можно поставить следующим образом: как наилучшим образом распределить инвестиции в имеющемся объеме для реконструкции конкретной линии под скоростное движение.

Тогда возникает задача – выбрать раздельные пункты, реконструкция которых может дать наибольший эффект – максимальное сокращение времени при наименьших капитальных вложениях в каждый раздельный пункт [1].

Основная часть

Для решения поставленной задачи рассматривается условная железнодорожная линия с *N*-м числом промежуточных раздельных пунктов (РП) с путевым развитием (рисунок).

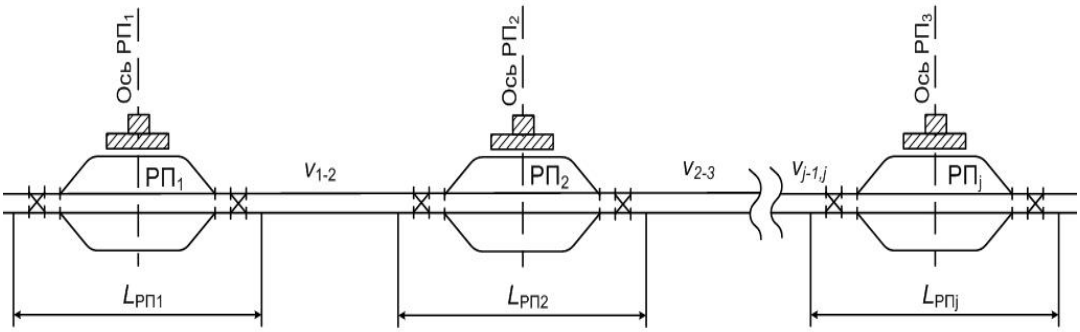


Рисунок. – Схема железнодорожной линии

Раздельный пункт, при этом, представляет собой сложную систему, которая характеризуется большим числом параметров, влияющих на размер капитальных вложений в переустройство этих раздельных пунктов [2]. К таким параметрам относятся: число приемоотправочных путей, количество стрелочных переводов на главных и других станционных путях, тип стрелочных переводов, наличие и расположение пассажирских устройств. На предпроектной стадии ориентировочные капитальные вложения в переустройство промежуточных раздельных пунктов с путевым развитием могут быть определены по [2, 3].

При выборе градации скорости v_i, под которую планируется переустройство раздельного пункта, большое влияние оказывает существующая скорость движения по этому раздельному пункту $v^j_{\text{сущ}}$, а также по прилегающим перегонам – до и после рассматриваемого раздельного пункта (соответственно $v^{j-1,j}_{\text{сущ}}$ и $v^{j,j+1}_{\text{сущ}}$).

Размер капитальных вложений в реконструкцию раздельных пунктов обозначим как $K^j_{v_i}$, где j – номер раздельного пункта, j = 1, … , N; v_i – скорость движения пассажирских поездов, под которую планируется переустройство; $\Delta t^j_{v_i}$ – сокращение времени хода [4] в результате переустройства j-го раздельного пункта для скорости v^j_i. Тогда получаем следующие зависимости:

$$K^j_{v_i} = f(m^j, C^j_{\text{гл}}, C^j_{\text{ст}}, v^j_{\text{сущ}});$$

$$\Delta t^j_{v_i} = f(L^j_{\text{рп}}, v^j_{\text{сущ}}, v^j_i);$$

$$\text{ограничение } v^j_i \le v^{j\text{-}1,j}_{\text{сущ}}, v^{j,j+1}_{\text{сущ}}$$

где $L^j_{\text{рп}}$ – длина переустраиваемого j-го раздельного пункта;

m^j – число станционных путей на j-ом раздельном пункте;

$C^j_{\text{гл}}, C^j_{\text{ст}}$ – число стрелочных переводов соответственно на главных и других станционных путях j -го раздельного пункта.

В качестве критерия выбора раздельных пунктов принимается критерий k – стоимость одной минуты сокращения времени хода по участку ограничения, которым и является этот раздельный пункт:

$$k = \frac{K^j_{v_i}}{\Delta t^j_{v_i}} \to \min.$$

В зависимости от этого критерия может быть выполнено ранжирование раздельных пунктов железнодорожной линии, подлежащей реконструкции, от $k_{\min}$ до $k_{\max}$ с применением, например, метода Парето (ABC), который позволит выделить раздельные пункты с путевым развитием в зависимости от их «вклада» в сокращение времени хода и затрат, необходимых для достижения требуемого результата. Естественно, что при

ограниченных капитальных вложениях в переустройство сначала выбираются станции с самым малым значением стоимости одной минуты сокращения времени проследования через раздельный пункт.

Таким образом, капитальные вложения в переустройство отдельных раздельных пунктов (N^*) линии, могут быть представлены следующим образом $\sum_{j=1}^{N^*} K_{v_i}^{j}$. С учетом этого должно выполняться условие не превышения ограничения величины выделяемых средств $K_{\text{огр}}$ на капитальные вложения в реконструкцию: $\sum_{j=1}^{N^*} K_{v_i}^{j} \leq K_{\text{огр}}$.

Следует отметить, что основной сложностью, которая возникает при решении данной задачи, является наличие множества вариантов и сочетаний градаций скоростей прохождения рассматриваемых раздельных пунктов с путевым развитием и получаемой при этом экономии времени от проведенных реконструктивных вариантов.

Заключение

Предлагаемая методика позволит быстро на предпроектной стадии принять решение о выборе промежуточных раздельных пунктов с путевым развитием для реконструкции под скоростное движение пассажирских поездов при существующих ограничениях выделяемых под это финансовых средств и потребности в получении максимального эффекта – сокращения времени хода скоростных пассажирских экспрессов.

Список литературы

1. *Куклева, Н.В.* О методиках, направленных на обоснование введения скоростного пассажирского движения [Текст] / Н.В. Куклева, Д.Н. Куклев // Научно-технический вестник Поволжья. – № 4. – 2014. Направления: физико-математические, химические, технические науки. – Казань : Научно-технический вестник Поволжья. – С.136–139.

2. *Медведева, Н.В.* Переустройство промежуточных раздельных пунктов для повышения скорости движения пассажирских поездов до 200 км/ч [Текст] / Автореферат диссертации … канд. техн. наук – СПб. : ПГУПС, 2008. – 24 с.

3. *Медведева, Н.В.* Технико-экономические аспекты подготовки железнодорожных линий к пропуску пассажирских поездов со скоростью до 200 км/ч [Текст] // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения, № 4 / под ред. В.И. Колесникова. – Ростов-на-Дону, РГУПС, 2007. – С.74–79.

4. *Костенко, В.В.* Экономическая оценка сокращения времени хода поездов при устранении ограничений скорости : метод. указание для дипломного проектирования [Текст] / В.В. Костенко. – СПб. : ПГУПС, 2005. – 24 с.

05.17.01

М.А. Куликов

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь, kulikov.74@list.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ СОЛЕОТЛОЖЕНИЙ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ОБОРУДОВАНИИ ПРОИЗВОДСТВА ХЛОРИДА КАЛИЯ МЕТОДОМ ТЕРМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

В статье обозначена проблема образования нерастворимых в воде отложений на внутренней поверхности труб подогревателей растворяющего щёлока в галургическом производстве хлорида калия. С использованием термического анализа, выполненного в температурном диапазоне 20 – 1000°С, установлены фазовые переходы, возникающие в процессе нагрева солевых отложений, формирующихся на внутренней поверхности теплообменного оборудования различных калийных обогатительных фабрик.

Ключевые слова: *производство хлорида калия, солеотложения, термический анализ, эндотермический и экзотермический эффект.*

При работе теплообменных установок в энергетическом и химическом комплексах происходит образование нерастворимых отложений, которые приводят к ухудшению теплообмена, перерасходу пара и дополнительным затратам на обслуживание оборудования [1-3]. Для борьбы с негативными последствиями накипеобразования предложены различные способы [3-5]. При этом большая часть публикаций рассматривает проблему солеотложений в ключе теплоэнергетики. Но данная проблема актуальна и для химических производств [6], в частности для производства калийных удобрений [7].

Производство хлорида калия галургическим способом предусматривает выщелачивание его из сильвинита горячим оборотным маточным щёлоком [8]. Нагрев щёлока осуществляется в два этапа. На первом этапе щёлок нагревается в поверхностных конденсаторах за счёт рекуперации тепла растворного пара в отделении вакуум-кристаллизации. Дальнейший нагрев осуществляется в теплообменниках водяным паром, где щёлок движется в трубном пространстве, а пар подаётся в межтрубное [7].

Постепенно на внутренней поверхности труб образуется слой солеотложений, который негативно влияет на технологические показатели производства. Основное условие, при котором становится возможным процесс образования отложений, можно записать в следующем виде:

$$[Kat]^n \cdot [An]^m \cdot f_{Kat}^n \cdot f_{An}^m > \text{ПР}(Kat_n An_m),$$

где $[Kat]$, $[An]$ – текущие концентрации катиона и аниона в растворе;

n, m – заряды катиона и аниона соответственно;

f – коэффициенты активности ионов;

ПР – произведение растворимости.

Процесс формирования солеотложений включает четыре уровня иерархии. На первом, молекулярно-кинетическом уровне происходит образование и рост зародышей кристаллов твёрдой фазы. На втором уровне протекает агрегативный рост слоя осадка за счёт переноса кристаллических блоков в пределах пристенного слоя к межфазной границе и встраивание в кристаллическую решетку уже образовавшихся агрегатов. Уровень локальной гидродинамики позволяет определить поле температуры, концентрации ионов-накипеобразователей в растворе и дисперсной фазы в единичном сечении аппарата. Вследствие внешних возмущающих воздействий на данном уровне может наблюдаться разрушение кристаллов и перенос отдельных блоков в раствор. На четвёртом уровне находит своё отражение распределение температур, концентраций растворённых ионов и дисперсной фазы по длине аппарата. Протекающие на этом уровне процессы тепло- массообмена будут зависеть от структуры потоков в аппарате [9].

Состав отложений из подогревателей маточного щелока по своему химическому составу отличается от накипи, образующейся в энергетических установках, поскольку жидкая фаза в нашем случае представляет собой насыщенный раствор солей. Так, с помощью рентгенофазового анализа, было установлено [10], что в составе солеотложений, взятых с теплообменного оборудования сильвинитовой обогатительной фабрики первого Соликамского калийного рудоуправления (СОФ СКРУ-1), присутствуют, в основном, сульфат кальция, хлориды натрия и калия, а в отложениях подогревателей четвёртого Березниковского калийного производственного рудоуправления (СОФ БКПРУ-4) – сульфат кальция.

Поскольку основным компонентом в составе солеотложений является сульфат кальция, рассмотрим термические эффекты, протекающие при нагревании чистого дигидрата сульфата кальция.

В работе [11] показано, что процесс термического воздействия на кристаллогидрат $CaSO_4 \times 2H_2O$, сопровождается следующими эффектами:

- эндотермический эффект при температуре 100 – 120°С обусловлен удалением адсорбционной воды;
- эндоэффект при температуре 220°С связан с потерей 0,5 моль H_2O;
- эндоэффект при температуре 240°С также связан с удалением 0,5 моль H_2O;
- экзотермический эффект в диапазоне температур 380 – 420 °С обусловлен инверсией $CaSO_4$;
- эндоэффект при 1180 – 1200°С связан с полиморфными превращениями $CaSO_4$.

Другие авторы [12] указывают на возможное проявление двойного эндоэффекта с максимумом 180°С, который обусловлен дегидратацией дигидрата сульфата кальция до полугидрата, а полное обезвоживание до ангидрита происходит при 220°С. При температуре от 380°С до 420°С протекает экзотермический процесс превращения нерастворимой формы ангидрита в растворимую. При 1200°С наблюдается образование высокотемпературной формы ангидрита, что сопровождается определённым эндоэффектом.

В процессе выполненных исследований проведен термический анализ проб отложений, отобранных на сильвинитовых обогатительных фабриках СКРУ-1 и БКПРУ-4 публичного акционерного общества «Уралкалий». Термический анализ проб солеотложений проводили на установке дифференциального термического анализа «Термоскан – 2». Скорость нагрева образцов составила 20°С/мин.

Результаты термического анализа исследуемых образцов представлены на рис 1.

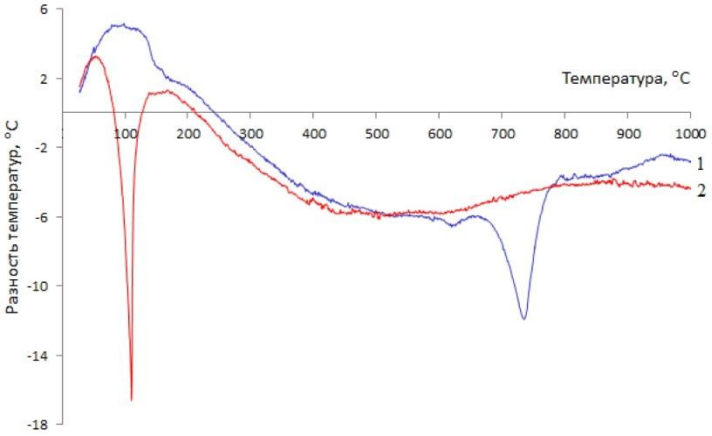


Рис. 1. Термограммы исследуемых образцов:
1 – отложения СОФ СКРУ-1, 2 – отложения СОФ БКПРУ-4

На термограмме образца 1 можно выделить следующие температурные изменения: нагрев пробы, сопровождаемый увеличением его температуры. При 115°С проявляется эндоэффект, связанный с удалением влаги, что хорошо коррелирует с данными [11]. Второй эндоэффект можно выделить, начиная с температуры 190°С. Снижение температуры происходит плавно и объясняется удалением оставшегося количества гидратной воды. Отсутствие экзоэффекта

при ~ 400°С, характерного для чистого сульфата кальция, объясняется сложным химическим составом отложений. Сильный эндоэффект, проявляющийся начиная с 650°С, связан с образованием твёрдых растворов хлоридов калия и натрия [13].

Совсем иная картина наблюдается на термограмме образца отложений с СОФ БКПРУ-4. Резко выражен пик, характеризующий выделение гидратной влаги, эндоэффект достигает своего максимума при температуре 110°С, что также согласуется с литературными данными [11]. Об отсутствии в составе отложений хлоридов калия и натрия можно судить по характеру термограммы в интервале температур 600 – 800°С.

Слабый экзоэффект, который начинает проявляться с 600°С, однозначно интерпретировать достаточно затруднительно, поскольку солеотложения имеют сложный химический состав.

Таким образом, проведённый термический анализ позволил выявить основные фазовые переходы при термическом воздействии на солеотложения подогревателей маточного щелока сильвинитовых обогатительных фабрик. Полученные результаты помогут лучше понять инкрустационные процессы и подобрать наиболее подходящий способ очистки теплообменного оборудования на калийных предприятиях верхнекамского региона.

Список литературы

1. *Нисина О.Е., Козлов С.Г., Лановецкий С.В., Косвинцев О.К.* Исследование процесса отложения солей на технологическом оборудовании // Научно-технический вестник Поволжья. – 2012. – № 4. – С. 164-168.

2. *Потапов С.А.* Комплексонный водно-химический режим систем теплоснабжения. Проблемы и решения // Современные технологии водоподготовки и защиты оборудования от коррозии и накипеобразования: Сборник материалов конференции (доклады, тезисы). – Москва, 2003. – С.20.

3. *Павлухина Л.Д., Ракчеева Л.В., Джуринская О.М.* Вопросы реагентной обработки воды в системах водооборотных циклов предприятий по производству минеральных удобрений // Современные методы водоподготовки и защиты оборудования от коррозии и накипеобразования: Сборник докладов IV конференции. – Москва, 2011. – С. 71.

4. *Потапов С.А., Ежов А.Ю., Мартынова И.А.* Опыт защиты оборудования тепловых сетей от внутренней коррозии и накипеобразования // Коррозия: материалы, защита. – 2006. – № 12. – С. 28 – 31.

5. *Федоров С. А.* Магнитные и электронные ингибиторы накипи // Водоочистка. – 2009. – № 8. – С. 44 – 47.

6. *Лановецкий С.В., Середкина О.Р., Пойлов В.З., Кетов А.А.* Исследование процесса обессульфачивания технического раствора нитрата магния // Научно-технический вестник Поволжья. - 2012. - № 4. - С. 121-124.

7. *Куликов М.А., Козлов С.Г.* Проблема отложения нерастворимых солей при эксплуатации вакуум-кристаллизационной установки ОАО «Уралкалий». – Научно-технический вестник Поволжья, 2014. № 4. С. 140 – 142.

8. *Позин М.Е.* Технология минеральных удобрений. – Л.: Химия, 1989. – 352 с.

9. *Куликов М.А., Козлов С.Г., Булатов М.А., Зюков Е.А.* Предотвращение образования солеотложения в водооборотных циклах // Известия МГТУ «МАМИ». – 2014. – № 4 (22). – Т. 3. – С. 44 – 56.

10. *Середкина О.Р., М.А. Куликов, С.Г. Козлов, О.К. Косвинцев* Исследование фазового состава отложений на теплообменном оборудовании галургического производства хлорида калия. – Научно-технический вестник Поволжья, 2014. № 6. С. 324 – 328.

11. *Бутт Ю.М., Тимашев В.В.* Практикум по химической технологии вяжущих материалов. – М.: Стройиздат, 1973. – 504 с.

12. *В.С. Горшков.* Методы физико-химического анализа вяжущих материалов. – М.: Высшая школа, 1981. – 335 с.

13. Диаграммы плавкости солевых систем: В 2-х ч. Ч. 2 / *В.И. Посыпайко* [и др.]. – М.: Металлургия, 1977. – 304 с.

05.17.01

М.А. Куликов, С.Г. Козлов, О.Р. Середкина

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь, kulikov.74@list.ru

ПРИМЕНЕНИЕ ИК-ФУРЬЕ СПЕКТРОСКОПИИ ДЛЯ АНАЛИЗА СОЛЕОТЛОЖЕНИЙ ПРОИЗВОДСТВА ХЛОРИДА КАЛИЯ

В статье рассматривается применение ИК-Фурье спектроскопии для анализа отложений на технологическом оборудовании производства хлорида калия. Приводится сравнительный анализ спектров солеотложений и спектра сульфата кальция, как их основного компонента. Указаны характеристические частоты колебаний связей и групп атомов соединений, входящих в состав отложений.

Ключевые слова: *производство хлорида калия, солеотложения, ИК-Фурье спектроскопия, характеристичные полосы поглощения.*

Производство хлорида калия галургическим способом – достаточно сложный многостадийный процесс, состоящий из следующих стадий: обработка измельчённого сильвинита горячим оборотным маточным раствором, осветление насыщенного щелока от глинисто-солевого шлама, кристаллизация хлорида калия в вакуум-кристаллизационной установке, обезвоживание и сушка готового продукта, формирование и нагрев маточного раствора [1,2].

В настоящее время галургический способ реализуется в двух структурных подразделениях ПАО «Уралкалий»: на первом Соликамском калийном рудоуправлении (СКРУ-1) и четвёртом Березниковском калийном производственном рудоуправлении (БКПРУ-4). Основное различие в организации технологического процесса заключается в работе отделения кристаллизации хлорида калия. На СКРУ-1 кристаллизация KCl осуществляется в четырнадцати ступенчатой вакуум-кристаллизационной установке [3], а на БКПРУ-4 – в регулируемой вакуум-кристаллизационной установке, состоящей из семи ступеней [4].

На стадии растворения в раствор, кроме хлорида калия, переходят и другие соли, входящие в состав сильвинита, в частности соли кальция [5, 6]. По мере насыщения маточного раствора солями кальция происходит их кристаллизация в трубном пространстве подогревателей, что снижает эффективный коэффициент теплопередачи, ухудшает работу оборудования и требует частых остановок для чистки или замены трубчатки [7].

С использованием метода рентгенофазового анализа показано, что основными компонентами отложений являются сульфат кальция, хлориды калия и натрия и ряд других примесей [3]. Для получения дополнительной информации предложено исследовать состав отложений из подогревателей маточного раствора с помощью ИК-Фурье спектроскопии.

Под термином «ИК-Фурье» понимают колебательную спектроскопию с преобразованием Фурье. Это современный метод, который позволяет анализировать как органические, так и неорганические вещества, в том числе и природные минералы. Инфракрасная спектроскопия изучает молекулярные спектры испускания, поглощения и отражения, поскольку именно в инфракрасной области проявляется большинство вращательных и колебательных спектров молекул. Путём сравнения спектральных кривых анализируемого вещества с известными спектрами можно идентифицировать это вещество. Данный метод позволяет определить состояние воды в минерале, характер примесей и степень их структурной упорядоченности, отнести минерал к конкретному структурному типу. К достоинству метода ИК спектроскопии относится то, что с его помощью можно исследовать вещества в любом агрегатном, кристаллическом и аморфном состоянии, в то время как другие инструментальные методы анализа не пригодны для этих целей [8].

Для исследования отобраны образцы солеотложений из подогревателей маточного щёлока сильвинитовых обогатительных фабрик (СОФ) СКРУ-1 и БКПРУ-4. Образцы имеют

песочный цвет различной степени интенсивности и обладают достаточно высокой твёрдостью. Именно высокая твёрдость отложений и затрудняет очистку теплообменного оборудования.

Регистрация ИК спектров осуществлялась с использованием ИК-Фурье спектрометра марки ФСМ 1201. Пробы готовились в виде таблеток KBr, диапазон волновых чисел составил 400 – 4000 см$^{-1}$.

Как уже упоминалось, основными компонентами отложений являются сульфат кальция, хлориды калия и натрия. Из литературных данных [9] известно, что поглощение молекулы хлорида калия проявляется при частоте 281 см$^{-1}$, а хлорида натрия – при 366 см$^{-1}$. Эти частоты лежат в дальней ИК области за пределами исследуемого диапазона и не повлияют на характер спектральных кривых. Для правильного отнесения характеристичных частот ИК спектров солеотложений был измерен спектр образца сравнения – кристаллогидрата $CaSO_4 \times 0{,}5H_2O$. Проведённый ранее рентгенофазовый анализ показал, что сульфат кальция в солеотложениях находится в виде ангидрита [3]. При этом мы не исключили вероятность присутствия в пробах кристаллизационной воды, что и явилось основанием для выбора образца сравнения. На рис. 1 приведены ИК спектры исследуемых проб.

Сравнительный анализ спектральных кривых показывает, что спектры всех трёх проб идентичны между собой. О наличии в образцах конституционной воды свидетельствуют широкая полоса в области 3400 – 3450 см$^{-1}$ (3437 см$^{-1}$ для образца 1; 3436 см$^{-1}$ для образца 2; 3443 см$^{-1}$ для образца 3), характеризующая симметричные и асимметричные валентные колебания группы OH. Полоса в области 1600 – 1650 см$^{-1}$ (1629 см$^{-1}$ для образца 1; 1636 см$^{-1}$ для образца 2; 1638 см$^{-1}$ для образца 3), характеризует деформационные колебания HOH [9].

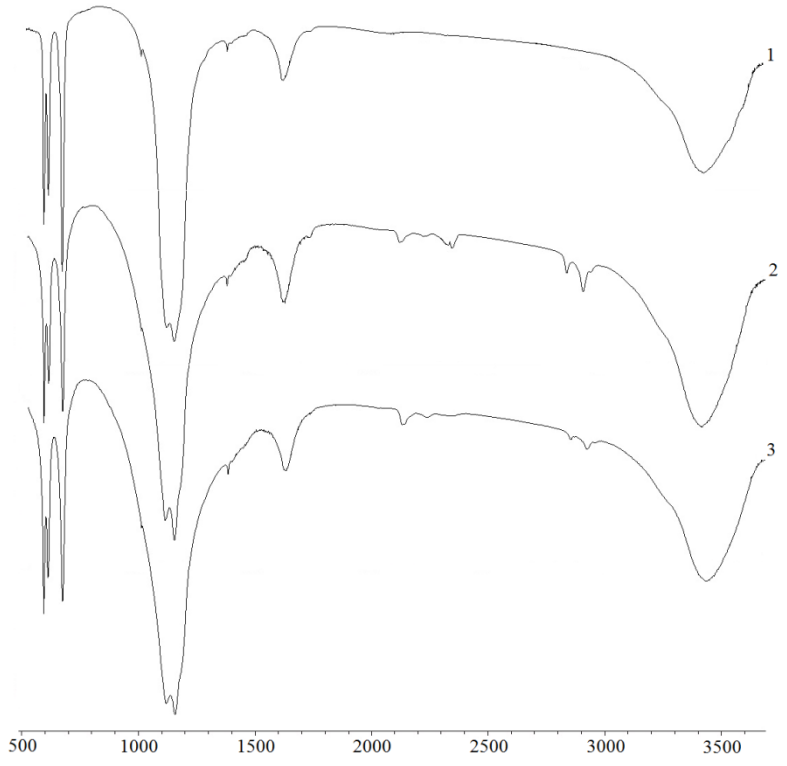


Рис. 1. ИК спектры (KBr): 1 – $CaSO_4 \times 0{,}5H_2O$;
2 – солеотложения СОФ СКРУ-1; 3 – солеотложения СОФ БКПРУ-4

Колебаниям сульфат-иона отвечает интенсивная полоса с расщеплением в диапазоне 1100 – 1200 см$^{-1}$ [9] (частоты 1130, 1159 см$^{-1}$ для образца 1; 1120, 1161 см$^{-1}$ для образца 2; 1119, 1161 см$^{-1}$ для образца 3), а также полосы в интервале 610 – 680 см$^{-1}$ [9] (частоты 617, 675 см$^{-1}$ для образца 1; 616, 676 см$^{-1}$ для образца 2; 613, 675 см$^{-1}$ для образца 3).

Анализ ИК спектра дигидрата сульфата кальция, приведённого в Информационно-поисковой системе по ИК спектроскопии ZAIR^{TM} версии 1,0, выявил полосы поглощения в

тех же диапазонах, как и в случае исследуемых объектов. При этом следует обратить внимание, что для дигидрата сульфата кальция в области 600 $см^{-1}$ наблюдается одна полоса, в то время как для полугидрата в этой области присутствуют две полосы. По нашему мнению это можно объяснить количественным соотношением воды и сульфата кальция. В случае полугидрата это соотношение меньше, что позволяет разделить колебания сульфат-ионов и либрационные колебания молекул кристаллизационной воды, к которым следует отнести полосы 596 $см^{-1}$ для образца 1, 594 $см^{-1}$ для образца 2 и 595 $см^{-1}$ для образца 3.

В ИК спектрах присутствуют слабо выраженные полосы (2135, 2359, 2850, 2930 $см^{-1}$ для образца 2; 2136, 2859, 2924 $см^{-1}$ для образца 3) однозначно интерпретировать которые не представляется возможным, поскольку они могут принадлежать сложным соединениям различной природы.

Таким образом, на основании проведённых исследований выполнен сравнительный анализ ИК спектров солеотложений с подогревателей маточного щелока производства хлорида калия и образцов сравнения, в качестве которых использованы гидраты сульфата кальция. Показана идентичность спектральных кривых проб отложений спектру полугидрата сульфата кальция. Полученные результаты могут быть использованы для разработки методики количественного анализа отложений методом ИК-Фурье спектрометрии.

Список литературы

1. Технология калийных удобрений / Под ред. *В.В. Печковского*. – Минск: Вышэйшая школа, 1978. – 304 с.
2. *Позин М.Е.* Технология минеральных удобрений. – Л.: Химия, 1989. – 352 с.
3. *Середкина О.Р., М.А. Куликов, С.Г. Козлов, О.К. Косвинцев* Исследование фазового состава отложений на теплообменном оборудовании галургического производства хлорида калия. – Научно-технический вестник Поволжья, 2014. № 6. С. 324 – 328.
4. *Куликов М.А., Козлов С.Г.* Проблема отложения нерастворимых солей при эксплуатации вакуум-кристаллизационной установки ОАО «Уралкалий». – Научно-технический вестник Поволжья, 2014. № 4. С. 140 – 142.
5. *Кудряшов А.И.* Верхнекамское месторождение солей. – Пермь: ГИ УрО РАН, 2001. – 429 с.
6. *Косвинцев О.К., Нисина О.Е., Лановецкий С.В.* Разработка способа очистки карьерной соли от сульфата кальция. – Химическая технология, 2014. №6. С. 321-324.
7. *Куликов М.А., Козлов С.Г., Середкина О.Р.* Отложение нерастворимых солей на технологическом оборудовании производства хлорида калия. – Научно-технический вестник Поволжья, 2014. № 1. С. 100 – 103.
8. *Пентин Ю.А., Вилков Л.В.* Физические методы исследования в химии. – М.: Мир, ООО «Издательство АСТ», 2003. – 683 с.
9. Nakamoto K. Infrared and Raman Spectra of Inorganic and Coordination Compounds: Part A: Theory and Applications in Inorganic Chemistry. – John Wiley & Sons, Inc., 2009. – 419 p.

05.00.00

В.Х. Май, Н.Н. Черникова, А.И. Сердюк д.т.н.

Оренбургский государственный университет,
Аэрокосмический институт, кафедра систем автоматизации производства,
Оренбург, natalchernikova@yandex.ru,

ФОРМАЛИЗОВАННЫЙ АППАРАТ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

В работе описывается подход к разработке систем автоматизированного проектирования технологических процессов механической обработки. Все задачи инженера-технолога разбиты на интеллектуальные и типовые. Предложен формализованный аппарат для решения задач обоих уровней. Разработана опытная версия системы автоматизированного проектирования технологических процессов.

Ключевые слова: *машиностроение, механическая обработка, технологический процесс, автоматизация проектирования технологических процессов.*

Технологические процессы (ТП) изготовления изделий призваны гарантировать выпуск продукции требуемого качества в нужных количествах в установленные сроки и при минимальной себестоимости.

Решаемые в процессе разработки технологических процессов задачи могут быть дифференцированы как интеллектуальные и типовые.

К интеллектуальным относятся слабо формализованные задачи, включающие а) выбор технологических баз для первой и последующих операций; б) формирование вариантов технологического маршрута; в) назначение и распределение технологических переходов между операциями; г) выбор режущих инструментов, материала режущей части и степени форсирования режимов резания.

Решение интеллектуальных задач в работы инженера-технолога состоит в проектировании оптимальных технологических процессов на множестве вариантов возможных решений при варьирующихся технологических ограничениях и производственных критериях.

Под типовыми задачами понимаются часто повторяющиеся элементарные действия, включающие а) назначение числа стадий обработки; б) расчет припусков и межпереходных размеров для выбранных технологических переходов; в) расчет размеров исходной заготовки для выбранного метода ее получения и рассматриваемого варианта технологического процесса; г) расчет режимов резания для выбранного инструмента и материала его режущей части, и т.д.

Очевидно, что в условиях частой смены объектов производства, используемые системы автоматизированного проектирования технологических процессов (САПР ТП) должны обеспечивать автоматизированное решение задач обоих уровней.

В разработанной САПР ТП механической обработки для решения интеллектуальных задач использован аппарат технологических размерных цепей, изложенный в работах Абрамова К.Н. [1], Ашихмина В.Н., Барсукова М.Ф., Бойкова Ф.И., Емельянова С.Г. [2], Иванова В.А., Матвеева В.В. [3], Пименова О.В., Репина А.С., Симанина Н.А., Скрябина В.А., Слуцкера В.А., Соколова В.О., Сорокиной Н.В., Схиртладзе А.Г., Тверского М.М., Фридлендера И.Г. и других ученых.

Аппарат размерного анализа технологических процессов представляет собой строго формализованный инструментарий, адекватно отображающий последовательность проектирования, расчета и анализа маршрутно-операционных технологических процессов механической обработки.

Разработанная интерактивная экранная форма цифрового и графического описания ТП представляет собой удобную форму визуализации структуры и содержания

технологического процесса, включая схемы размеров заготовки и детали, технологические переходы и используемые технологические базы.

Целью автоматизированного расчета размерных цепей служит проверка разработанного ТП на требуемую точность обеспечения размеров детали в соответствии с требованиями электронного чертежа.

В качестве математического аппарата при разработке исходного кода типовых процедур использован математический аппарат, изложенный в справочнике [4]. Данный аппарат представляет собой расчетные формулы для определения нормативных значений и поправочные коэффициенты.

При разработке типовых процедур проектирования режимов резания использован метод, предложенный профессором Сердюком А.И. [5, 6]. Данный метод позволяет автоматизировать расчет комплектов режимов резания с разной степенью форсирования. Выбор текущего комплекта режимов может осуществляться в зависимости от текущего производственного критерия работы оборудования: обеспечение максимальной производительности оборудования, минимальной себестоимости изготовления изделий, выпуск сборочных комплектов к заданному сроку и прочее.

Исходный код типовых процедур проектирования оформлен в виде программного модуля с двумя экранными формами: формы типовых процедур проектирования режимов резания и формы разработки содержания ТП (рис. 1).

На форме разработки содержания ТП вводится необходимая технологическая информация, а также выполняются расчеты с использованием типовых процедур проектирования. Формируемая таблица технологического процесса в нижней части экрана заполняется автоматически по мере выполнения необходимых расчетов.

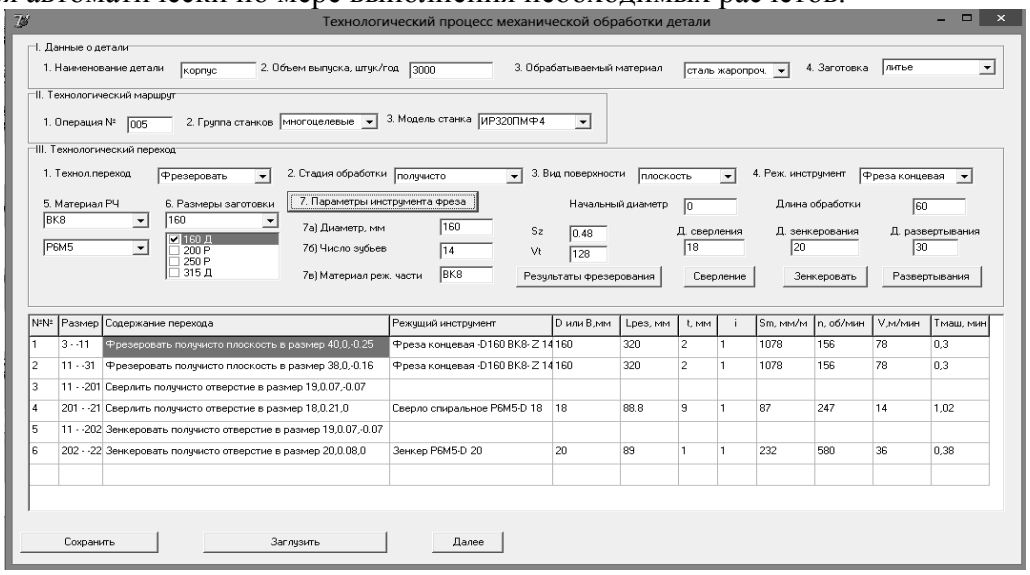


Рис. 1 – Экранная форма разработки содержания ТП

В любой момент времени может быть сгенерирована маршрутно-операционная карта технологического процесса с промежуточными или окончательными результатами проектирования.

Таким образом, с использованием аппарата размерного анализа и математического аппарата для выполнения типовых проектных процедур разработана опытная версия САПР ТП [7].

В дальнейшем планируется перейти к интерактивному построению размерных цепей одновременно по всем координатным осям. Прорабатывается вопрос и использования 3D-моделей. Возможным развитием работы может стать и автоматическая генерация множества допустимых вариантов размерных схем ТП и выбор оптимального по заданным ограничениям и критериям варианта с последующим автоматическим формированием маршрутно-операционных карт.

Уже имеющаяся опытная версия САПР ТП создает для этого необходимые предпосылки.

Выводы

Разработан новый подход к построению САПР ТП, реализованный в виде методик построения и программного кода проектных процедур и включающий структурный и параметрический уровни проектирования.

На структурном уровне с использованием аппарата технологического размерного анализа в диалоговом режиме оптимизируется структура технологического процесса и рассчитываются припуски на обработку, используемые в качестве входных данных на следующем уровне.

На параметрическом уровне используются разработанные типовые процедуры проектирования, результаты выполнения которых позволяют перейти к автоматической генерации маршрутно-операционных карт технологического процесса.

Список литературы

1. *Абрамов, К.Н.* Технологические размерные расчеты и их автоматизация: учебное пособие/ К.Н. Абрамов. – Оренбург: ОГУ, 2011. – 111 с.

2. *Емельянов, С.Г.* Размерный анализ в машиностроении: учеб. Пособие для вузов / С.Г. Емельянов [и др.]. – Старый Оскол: ТНТ, 2010. – 331 с.

3. *Матвеев, В.В.* Размерный анализ технологических процессов / В.В. Матвеев [и др.]. – М.: Машиностроение, 1982. – 264 с.

4. Общемашиностроительные времени и режимов резания для норми-рования работ, выполняемых универсальных и многоцелевых станках с числовым программным управлением: в 2-х ч./ – Ч.2 Нормативы режимов резания. – М.: Экономика, 1990. – 472 с.

5. *Сердюк, А.И.* Практические расчеты гибких производственных ячеек. Модели, алгоритмы, приложения : монография / Р.Р. Рахматуллин, А.И. Сердюк, А.М. Черноусова и др. – Оренбург: ИПК ГОУ ОГУ, 2010. – 237 с. – ISBN 978-7410-1118-8.

6. *Сердюк, А.И.* Автоматизация проектирования режимов резания на многоцелевых станках/ Р.Р. Рахматуллин, А.И. Сердюк, А.О. Казаков и др. // Программные продукты и системы. – 2013.- № 1 – С. 114 – 118.

7. *Май, В.Х.* Компьютерное моделирование в анализе процессов механической обработки/ Е.В. Щавелев, Н.Н. Черникова, В.Х. Май // Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн : материалы международной научно-практической конференции. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2015. – С.61 – 65. – ISBN 978-5-8265-1379-8.

05.13.19

А.А. Медведев, Е.Н. Созинова, к.т.н.

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, факультет «Институт комплексного военного образования», кафедра мониторинга и прогнозирования информационных угроз, Санкт-Петербург, a.medvedev.spb@mail.ru, s.ekaterina-nik@mail.ru

РАЗРАБОТКА КОНЦЕПТУАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ

В статье описывается разработанная автором концептуальная модель информационной безопасности организации. Кратко характеризуются предложенные компоненты модели.

Ключевые слова: *информационная безопасность, защита информации, риски, ущерб, угроза.*

Обеспечение информационной безопасности (ИБ) - является одной из самых важных задач любой организации. Это очень важный, сложный и многоуровневый процесс. Этот процесс в обязательном порядке должен быть комплексным и систематизированным. Сейчас, в период нарастающей информатизации, глобализации и жёсткой конкуренции, этот вопрос становится особенно «острым» и актуальным.

Обеспечение 100% информационной безопасности – невозможно. В рамках обеспечения ИБ возможно только уменьшить риски ИБ до минимально возможных значений или свести к минимуму последствия после реализации угроз ИБ. Для того, чтобы эффективно управлять информационной безопасностью организации, необходимо разработать и рассмотреть концептуальную модель информационной безопасности организации.

Концептуальная (содержательная) модель — это абстрактная модель, определяющая структуру моделируемой системы, свойства её элементов и причинно-следственные связи, присущие системе и существенные для достижения цели моделирования. Часто модель имеет вид схемы, в которой фиксируются наиболее существенные параметры и связи между ними.

При разработке концептуальной модели можно предложить следующие компоненты модели информационной безопасности организации:

- нарушители ИБ;
- уязвимости;
- угрозы ИБ;
- риски ИБ;
- ущерб от нарушения ИБ;
- меры обеспечения ИБ;
- отношение организации к рискам ИБ;
- уровень ИБ.

В обобщенном виде, рассмотренные компоненты концептуальной модели информационной безопасности организации представлены на рисунке 1.

Объектами угроз информационной безопасности выступают сведения о составе, состоянии и деятельности объекта защиты (персонала, материальных и финансовых ценностей, информационных ресурсов). Угрозы ИБ выражаются в нарушении доступности, целостности и конфиденциальности информации в организации. Источниками угроз выступают конкуренты, преступники, коррупционеры, административно-управленческие органы.

Рис. 1- Концептуальная модель информационной безопасности организации

Риск ИБ - это возможность того, что произойдет определенное неблагоприятное событие, связанное с реализацией некоторой угрозы, имеющее определенную вероятность наступления и приводящее к возможным потерям (ущербу). Оценка риска информационной безопасности производится только для актуальных угроз.

Ущерб от нарушения ИБ - это потери, которые оцениваются с учетом затрат на восстановление организации в исходное состояния после реализации угрозы. Количественные и качественные измерения ущерба могут осуществляться несколькими способами: установлением финансовой стоимости; назначением эмпирической шкалы степени опасности; использованием в качестве критерия качественной оценки прилагательных, выбранных из определенного списка. Например: низкий, средний, высокий.

Основными направлениями обеспечения ИБ являются правовая, организационная и инженерно-техническая защиты информации, как выразители комплексного подхода к обеспечению информационной безопасности. Средствами защиты информации являются физические средства, аппаратные средства, программные средства и криптографические методы. В качестве способов защиты выступают всевозможные меры, пути, способы и действия, обеспечивающие упреждение противоправных действий или снижение вероятности реализации угроз.

Обеспечение ИБ во многом зависит от отношения организации к рискам ИБ. Обработка рисков информационной безопасности – это процесс выбора и осуществления защитных мер, снижающих риск нарушения ИБ, или мер по переносу, принятию или уходу от риска. Следует помнить, что любой деятельности свойственны риски, и понизить их можно, лишь, до определенного остаточного уровня, а не до нуля.

При оценке уровня обеспечения информационной безопасности организации можно учитывать только три параметра, от которых зависит уровень информационной безопасности в организации:

1. Общий уровень риска по блоку параметров;
2. Затраты организации для предотвращения общего риска (которые уже потрачены);
3. Отношение к риску информационной безопасности: его принятие, передача или снижение

В основе исходной концептуальной модели информационной безопасности организаций лежит противоборство собственника и нарушителя за контроль над ценными активами

организации. Под собственником здесь понимается субъект хозяйственной деятельности, имеющий права владения, распоряжения или пользования активами, который заинтересован или обязан (согласно требованиям законов или иных законодательных или нормативно-правовых актов) обеспечивать защиту активов от угроз, которые могут снизить их ценность или нанести ущерб собственнику. Под нарушителем (злоумышленником) здесь понимается лицо, которое совершает или совершило заранее обдуманное действие с осознанием его опасных последствий или не предвидело, но должно было и могло предвидеть возможность наступления этих последствий.

На основе разработанной концептуальной модели информационной безопасности организации можно проводить анализ и оценку рисков информационной безопасности, аудит ИБ и выбрать наиболее эффективный подход к обеспечению ИБ организации.

Необходимо постоянно и систематически производить мониторинг информационной безопасности организации. Это позволит оценить эффективность применяемых защитных мер, которые используются для понижения уровня риска. Любые защитные меры, в силу ряда объективных причин, со временем имеют тенденцию к ослаблению своей эффективности, в результате чего общий уровень ИБ может снижаться. Это неминуемо ведет к возрастанию рисков нарушения ИБ. Для того, чтобы этого не допустить, необходимо постоянно проводить мониторинг, аудит и оценку уровня обеспечения информационной безопасности организации.

Список литературы

1. Созинова Е.Н. Метод проведения внутреннего аудита информационной безопасности организаций на основе риск-ориентированного подхода / Е.Н. Созинова // В мире научных открытий. – 2013. - №10. - С. 11-24.
2. Жигулин Г.П. Организационное и правовое обеспечение информационной безопасности в органах государственной власти : учебное пособие; М-во образования и науки РФ, СПб НИУ ИТМО, Каф. мониторинга и прогнозирования информ. угроз .— СПб. : [Университет ИТМО], 2014 .— 173 с.
3. Созинова Е.Н. Аудит, как способ обеспечения информационной безопасности организаций / Е.Н. Созинова // Проблема комплексного обеспечения информационной безопасности и совершенствование образовательных технологий подготовки специалистов силовых структур. Межвузовский сборник трудов III Всероссийской научно-технической конференции ИКВО НИУ ИТМО. - СПб : НИУ ИТМО. – 2013. – С. 74-77.
4. Жигулин Г.П., Новосадов С.Г., Яковлев А.Д. Информационная безопасность. СПб: СПб ГИТМО (ТУ), 2003. 340 с.
5. 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.
6. Доктрина информационной безопасности Российской Федерации. Указ призедента РФ №1895 от 09.09.2000 г. // Российская газета. - 2000.
7. Носаков. В. Создание комплексной системы управления информационной безопасностью // Jet Info. - 2006. - №7.
8. Основы информационной безопасности: Учебное пособие / О.А.Акулов, Д.Н.Баданин, Е.И.Жук и др. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2008. – 161 с.
9. Ярочкин В.И. Информационная безопасность: Учебник для студентов вузов. – 3-е изд. – М.: Академический Проект: Трикста, 2005. – 544 с.

05.02.07

Е.И. Ивкин, Ю.Д. Козинер, А.В. Мельников, Д.Ю. Козинер

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), г. Москва stats15@bk.ru

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ГАЗОРАЗРЯДНЫХ КАМЕР ДЛЯ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ПЛАЗМЕННЫХ ЭНЕРГОУСТАНОВОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ

В работе рассмотрена технология изготовления кварцевых газоразрядных камер для плазменных энергоустановок. Разработаны приспособления для закрепления заготовок на токарном станке. Предложена конструкция алмазного режущего инструмента. Определены режимы ультразвуковой обработки, обеспечивающие технические требования, предъявляемые к газоразрядным камерам.

Ключевые слова: *технология обработки, камера, приспособления, инструмент, ультразвук.*

Плазменные энергетические установки нашли большое применение во многих областях техники таких как: космические летательные аппараты, микроэлектроника, нанесение сверхпрочных защитных плёночных покрытий, модификация поверхностей деталей, и т.д. Несмотря на наличие большого количества различных конструкций энергетических установок, большинство из них имеют общие элементы конструкции, такие как катод и анод.

Катод и анод являются самыми теплонапряжёнными элементами конструкции и для их изготовления применяют тугоплавких металлы и малолегированные сплавы на их основе. Однако при использовании химически активных рабочих тел, значительно уменьшается ресурс работы электродов изготовленных из тугоплавких металлов. Одним из решений этой проблемы является использование для получения плазмы без электродного высокочастотного (ВЧ) разряда.

Переход на ВЧ разряд предполагает определённые требования к стенкам разрядной камеры. Она должна выдерживать температуру до 300 ^{0}С, быть прозрачной для электромагнитного поля и иметь небольшой тангенс угла диэлектрических потерь. Исходя, из этих требований наиболее подходящим материалом для газоразрядной камеры является чистый кварц.

В данной работе была разработана технология изготовления двух вариантов кварцевой газоразрядной камеры.

Первый вариант камеры (Рис. 1а) прост в изготовлении, но при его использовании имеют место большие потери ионов на стенках [1]. Второй вариант камеры имеет полусферическую стенку, что уменьшает эти потери, но его изготовление становится более сложным и затратным.

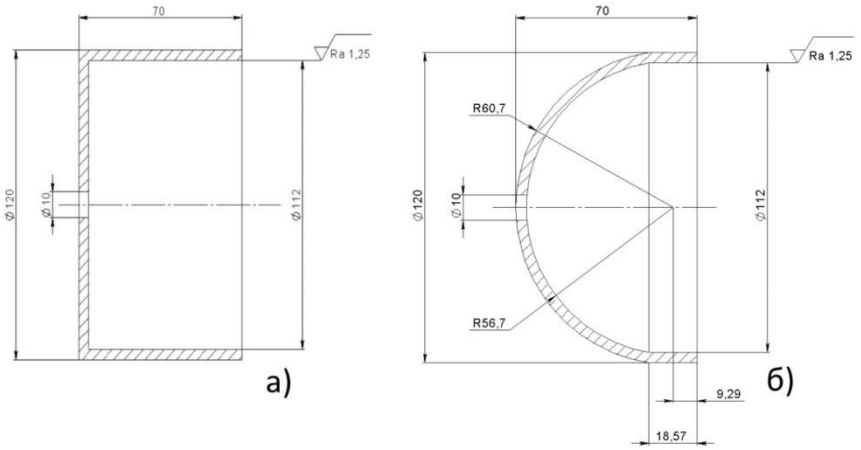


Рис. 1 - Варианты газоразрядной камеры: а - цилиндрическая; б – полусферическая

При изготовлении деталей из кварца необходимо учитывать физико-механические характеристики этого материала. Обработка кварца связана со значительным износом режущего инструмента и опасностью возникновения трещин в поверхностном слое. Поэтому при его обработке необходимо применять алмазные инструменты и оптимальные режимы обработки.

Проведенными исследованиями было установлено, что применение ультразвука при механической обработке может не только повышать производительность, но и улучшать качество поверхностного слоя детали.

Ультразвуковой метод обработки наиболее эффективен при изготовлении отверстий и полостей сложной формы в деталях из хрупких неметаллических материалов, обработка которых другими методами затруднительна или вообще невозможна [2].

Для изготовления камер была выбрана заготовка цилиндрической формы из чистого кварца (SiO_2). Однокомпонентное кварцевое стекло из чистого оксида кремния было получено плавлением горного хрусталя, жильного кварца и кварцевого песка.

Так как высокочастотный источник ионов предполагает использование химически активного вещества, то для газоразрядной камеры необходимо обеспечить отсутствие в поверхностном слое микротрещин, для предотвращения ухода через них рабочего тела.

Чтобы не допустить появления микротрещин при обработке, необходимо выбирать оптимальные режимы резания и методы закрепления заготовки. Так как кварц является хрупким материалом, то при закреплении заготовки необходимо тщательно контролировать зажимное усилие и не допускать избыточных напряжений.

Были рассмотрены два метода закрепления заготовки:

а) В гидропластовом приспособлении.

б) С помощью оптического клея на цилиндрической оправке.

При проектировании гидропластового приспособления был произведён его расчёт [3], который позволил определить его основные геометрические размеры и требуемое усилие закрепления заготовки, препятствующее её смещению под действием сил резания.

В качестве рабочего тела в приспособлении использовался дибутилфталат в смеси с вакуумным маслом.

Полученное расчётным путём усилия закрепления P= 2455 кгс = 9,3 кгс/см^2=0,912 МПа намного меньше предельной прочности кварца (1,1 ГПа на сжатие и 50 МПа на растяжение) и обеспечивает надежное закрепление заготовки.

По рассчитанным геометрическим параметрам было спроектировано гидропластовое приспособление, конструкции, которого представлен на рисунке 2.

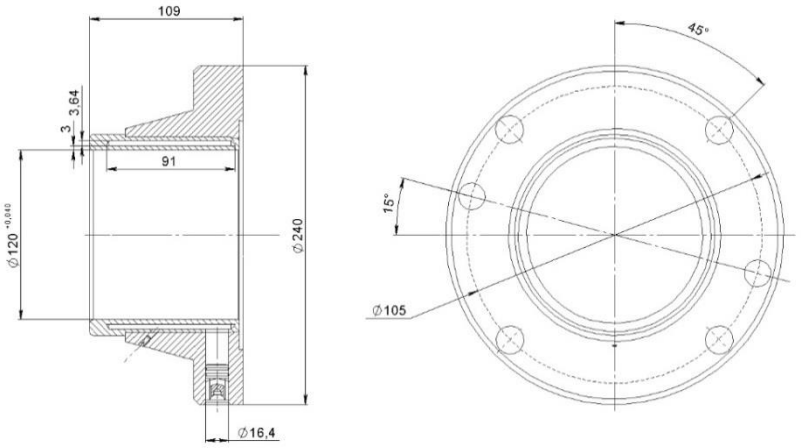


Рис. 2 - Специальное гидропластовое приспособление для закрепления кварцевой заготовки

Использование гидропластового приспособления позволяет более точно центрировать заготовку, что приводит к увеличению точности обработки. Однако существует опасность возникновения микротрещин, из-за силового воздействия деформирующейся мембраны на

поверхность заготовки. Кроме того, изготовление этого приспособления достаточно трудоёмко.

Второй способ закрепления заготовки предполагает использовать клей-расплав. Приспособление, представленное на рис. 3 проще в изготовлении, чем гидропластовое, однако оно обеспечивает меньшую точность обработки.

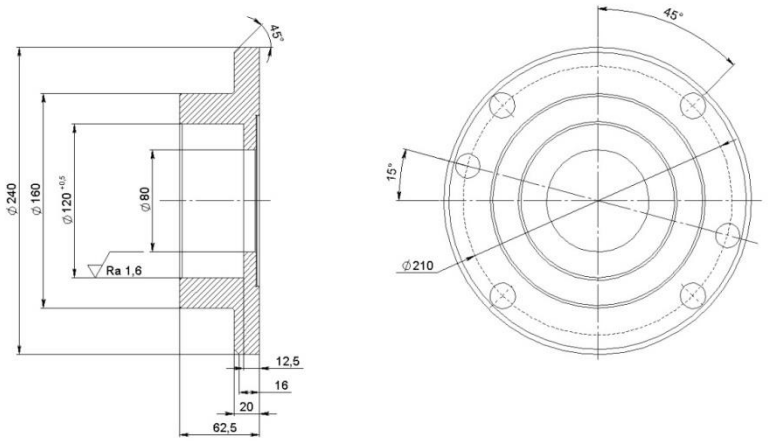


Рис. 3 - Специальное приспособления для фиксации кварцевой заготовки оптическим клеем

Нанесение клея-расплава на посадочные места приспособления проводили при его нагреве до 100^0С.а нанесение на кварцевую заготовку при её температуре 40-60^0С . После чего заготовку фиксировали в приспособлении. После остывания и затвердевания клея толщина клеевой прослойки составляет 0,1 – 0,05 мм.

После завершения обработки производят нагрев заготовки до температуры размягчения клея, после чего извлекают заготовку из приспособления и промывают деталь в растворе КОН с добавлением поверхностно-активных веществ. Окончательную очистку детали производят в ультразвуковой ванне при частоте 44 кГц в течение 15 мин, при температуре моечного раствора 60 ^{0}С.

Для изготовления детали первого варианта (Рис. 1а) необходимо предварительно просверлить сквозное отверстие диаметром 10 мм, после чего производить рассверливание глухого отверстия с шагом в 2 мм.

В качестве базового станка использовался токарный станок мод. 16К20Т1. К шпинделю станка крепится переходной фланец, на котором устанавливается приспособление (Рис. 2 или Рис. 3), в зависимости от выбранного метода закрепления. Обрабатывающий инструмент через переходник закреплялся в ультразвуковой головке, которая с помощью конуса Морзе №3 фиксировалась в револьверной головке станка.

При отработке технологий изготовления газоразрядных камер различных видов особое внимание было уделено алмазной обработке с применением ультразвука. Оценка влияния ультразвуковых колебаний инструмента проводилась на процессах алмазного сверления сквозных и глухих отверстий.

Таблица - Режимы ультразвуковой обработки

Вид обработки	Режимы	Инструмент	Примечание
Сверление сквозных отверстий	F=37 кГц A=6,2 мкм V=0,78 м/с $P_{ст}$=34-38 кГс/см^2	$D_{нар}$=6,2 мм, $D_{вн}$=3,9 мм, K_A=100%, связка М5-6, зернистость А125/100	Материал-кварцевое стекло. Торец инструмента с одной канавкой.
Обработка глухих отверстий	F=42,5 кГц A=10 мкм V=1,6 м/с $P_{ст}$=24-80 кГс/см^2	$D_{нар}$=15,25 мм, $F_р$=0,75 см^2, К=100%, связка М5-10, зернистость А400/315	Материал-кварцевое стекло. Торец инструмента с двумя поперечными канавками.

Было установлено [4] что увеличение статической нагрузки на инструмент приводит к значительному росту производительности ультразвуковой обработки как для сквозных, так и глухих отверстий. Все полученные зависимости $V=f(P_{ст})$ и $S=\Psi(P_{ст})$ имеют свой оптимум. Величина оптимальной удельной статической нагрузки $P_{ст}$ зависит от свойств обрабатываемого материала, режимов резания, характеристик и конструкции алмазного инструмента. Так, например, при обработке кварцевого стекла снижение окружной скорости инструмента приводит к уменьшению производительности и смещению оптимума статической нагрузки в сторону больших значений. Износ инструмента при этом значительно возрастает. Шероховатость обрабатываемой поверхности в обоих случаях находятся в пределах одного класса и практически не зависит от $P_{ст}$.

Небольшой износ инструмента при ультразвуковой обработке сквозных и глухих отверстий можно объяснить, во-первых, значительным облегчением работы алмазных зёрен (ультразвук вызывает более интенсивное трещинообразование в обрабатываемом материале), во-вторых, улучшением условий охлаждения алмазных зёрен и условий отвода продуктов износа из рабочей зоны. Зависимость производительности V, минутной подачи S и удельного износа инструмента q_v от статической нагрузки $P_{ст}$ при обработке кварцевого стекла имеют вид:

при сверлении сквозных отверстий

$$S = 4{,}2 + 41{,}8\exp\left[-\left(\frac{P_{ст} - P_{опт}}{10}\right)^2\right] \text{ мм/мин};$$

$$q_v = 0{,}44{P_{ст}}^{0{,}96} \ \%;$$

при обработке глухих отверстий

$$V = 963 + 399P_{ст} - 38{,}7{P_{ст}}^2 + 1{,}12{P_{ст}}^3 - 0{,}0089{P_{ст}}^4 \text{ мм}^3\text{/мин};$$

$$q_v = -0{,}024 + 0{,}015P_{ст} - 0{,}27\cdot 10^{-4}{P_{ст}}^2 + 0{,}27\cdot 10^{-6}{P_{ст}}^3 \ \%.$$

Эксперименты по изучению влияния окружной скорости проводились при следующих условиях: $P_{ст}$=30 кГс/см^2 – сквозное сверление; $P_{ст}$=53 кГс/см^2 – обработка глухих отверстий (остальные условия опытов согласно таблице).

Увеличение окружной скорости вызывает значительный рост производительности (это особенно заметно при использовании инструментов с крупной зернистостью алмазов), шероховатость обработанной поверхности улучшается (в пределах одного класса), а износ инструмента снижается. Поэтому для ультразвуковой алмазной обработки сквозных и глухих отверстий следует рекомендовать максимальное число оборотов. Однако это условие не является решающим, так как даже при n=1000 об/мин производительность достаточно высока (при небольшом износе инструмента). Обработка результатов экспериментов позволила получить следующие, характеризующие влияние окружной скорости на процесс ультразвуковой обработки отверстий:

для сквозных отверстий

$$S = 1{,}55n^{0{,}43} \text{ мм/мин}$$

для обработки глухих отверстий

$$V = -3490+6{,}6n+0{,}00025n^2 \text{ мм}^3\text{/мин};$$

$$q_v=0{,}126-0{,}00015n+0{,}76\cdot 10^{-7}n-0{,}14\cdot 10^{-10}n^3 \ \%.$$

На основе проведенных исследований была выбрана конструкция режущего инструмента и режимы обработки цилиндрической и полусферической газоразрядной камеры.

Для получения сквозного отверстия использовалось трубчатое алмазное сверло с зернистостью 160/125 представленное на чертеже. Сверление производить при частоте вращения шпинделя n=1800-2500 об/мин, скорости подачи S=80-100 мм/мин с использованием ультразвука с амплитудой колебаний A=12 мкм и частотой f=22 кГц. Смазочно-охлаждающая жидкость(СОЖ) подавалась через внутреннюю полость сверла. В качестве СОЖ использовать 8-10% водный раствор соды.

Для изготовления детали второго варианта (Рис. 1б) также использовалось рассверливание с последующей обработкой специальным алмазным инструментом (Рис. 4), обеспечивающим формообразование криволинейной поверхности детали.

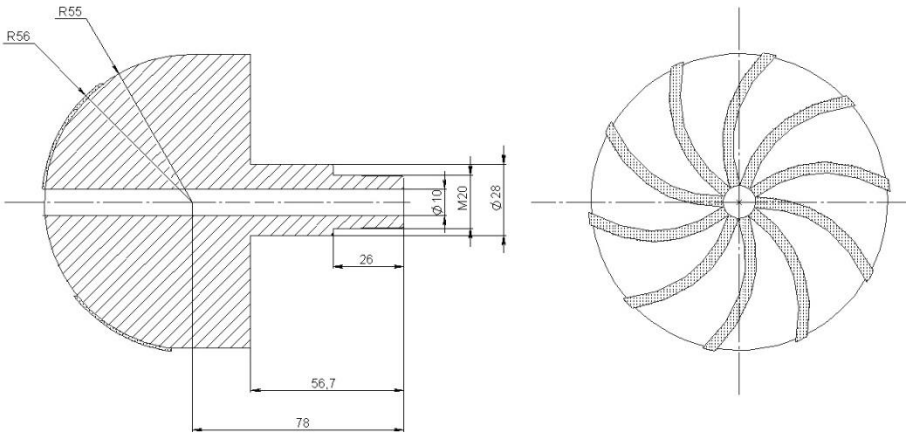


Рис. 4 - Специальный алмазный инструмент

Таким образом разработанная технология изготовления газоразрядных камер из хрупких неметаллических материалов с применением ультразвука может быть применена в опытном (единичном) и мелкосерийном производстве.

Список литературы

1. *Hans J. Leiter, Horst W. Loeb, Karl-Heinz Schartner* The RIT15 Ion Engines – A survey of the present state of Radio-Frequency Ion Thruster technology and its future potentiality, 1st Institute of Physics, Giessen University, Germany, 2000

2. Ультразвук: Маленькая энциклопедия / под ред. И. П. Голяминой. — М.: Советская энциклопедия, 1979. - 400 с.

3. *Шманев В.А., Шулепов А.П., Анипченко Л.А.* Приспособления для производства двигателей летательных аппаратов. Конструкция и проектирование: Учебное пособие для авиационных вузов. – М.: Машиностроение, 1990. – 256 с.

4. *Ивкин Е.И., Марков А.И.* Ультразвуковое алмазное сверление глубоких отверстий и алмазное фрезерование, //Машиностроение. Энциклопедия. Технология изготовления деталей машин. Т. III-3/ под ред. К.В. Фролова. – М.: Машиностроение, 2000. – 840с.

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

ВЕКТОРНЫЙ АНАЛИЗАТОР СЕТЕЙ НА ОСНОВЕ АМПЛИТУДНО-ФАЗОВОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ОПТИЧЕСКОЙ НЕСУЩЕЙ

В статье рассмотрены принципы построения оптического векторного анализатора сетей (ОВАС) на основе амплитудно-фазового преобразования несущей, позволяющего повысить точность измерений амплитудных и фазовых параметров исследуемых элементов. В отличие от существующих ОВАС на основе однополосной и разбалансированной амплитудной модуляции для анализа амплитудных и фазовых параметров исследуемых элементов используются соотношения по двум боковым составляющим зондирующего излучения, причем излучение оптической несущей подавлено, либо последняя используются как гетеродин. Разработанный ОВАС предназначен как для исследования элементов с тонкими особенностями спектра (волоконные решетки Брэгга (ВРБ) с фазовым π-сдвигом), так и широкополосных (чирпированные ВРБ).

Ключевые слова: *оптический векторный анализатор сетей, амплитудно-фазовое преобразование оптической несущей, амплитудные и фазовые параметры оптических элементов сетей, ВРБ с фазовым π-сдвигом, чирпированная ВРБ.*

Введение. Оптические векторные анализаторы сетей (ОВАС) играют существенную роль в разработке структуры телекоммуникационных и сенсорных сетей и изготовлении их элементов. Современный этап их развития характеризуется применением модуляционных схем, например, однополосной модуляции. Перестройка частоты в однополосных ОВАС осуществляется с помощью задающего генератора радиочастотного сигнала с разрешающей способностью в единицы Гц, что соответствует разрешающей способности в оптическом диапазоне в единицы фемтометров. Недостатком указанного класса ОВАС является невозможность измерения с его помощью широкополосных оптических элементов, зависимость погрешности измерения от амплитуды не до конца подавленной второй боковой полосы и узкополосность системы управления модулятором Маха-Цендера (ММЦ) для получения однополосного излучения [1, 2].

Одним из возможных путей решения задачи повышения точности измерения амплитудных и фазовых параметров исследуемых элементов, как узко, так и широкополосных, является применение балансной амплитудной модуляции оптической несущей и формирование разбалансированного двухчастотного излучения с подавленной несущей в оптическом полосовом фильтре [1, 2]. В [1] для этого используется поляризационный модулятор, в [2] амплитудный ММЦ, работающий в «нулевой» рабочей точке, и фильтры, позволяющие одновременную раздельную перестройку средней частоты и полосы частот. В данной работе нами предложено использовать амплитудно-фазовое модуляционное преобразование (АФМП) оптической несущей по методу Ильина-Морозова [3, 4], характеризующееся высокими коэффициентом преобразования, спектральной чистотой и возможностью получения разностной частоты, равной частоте модуляции.

Принципы амплитудно-фазового модуляционного преобразова-ния оптической несущей. Для анализа была рассмотрена классическая обобщенная схема однопортового радиофотонного звена для модуляционного преобразования оптической несущей и исследования оптических элементов, например, ВРБ, которая была трансформирована из параллельной в схему последовательного типа (рис. 1) с целью реализации АФМП по методу Ильина-Морозова [5].

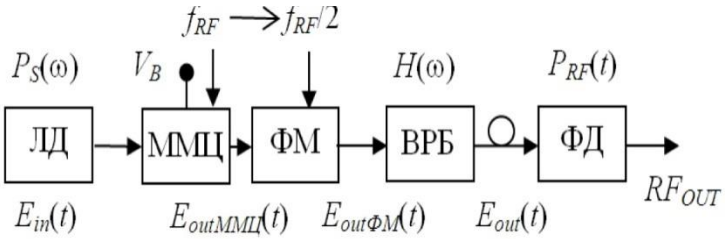


Рис. 1 – Обобщенная структурная схема однопортового радиофотонного звена АФМП оптической несущей последовательного типа

В результате проведенных исследований теоретически показана возможность реализации АФМП на основе последовательно расположенных амплитудного и фазового ММЦ. Получены соотношения для расчета спектра излучения на выходе системы модуляторов при реализации указанного АФМП оптической несущей. Показано, что при реализации АФМП возможно получение разностной частоты, равной измеряемой частоте радиосигнала. При этом оптимальными коэффициентами модуляции являются m=5/9 в случае использования модулирующего колебания вида $S_1(t) = S\cos(2\Omega t + \pi)$ и m=1 – в случае колебания вида $S_2(t) = S|\sin \Omega t|$, где $\Omega = f_{RF}/2$, а f_{RF} – частота радиосигнала.

Спектр излучения для двух составляющих на выходе модуляторов в случае $S_1(t)$ описывается выражением:

$$E_{\text{АФМ}}(t) = 0{,}49E_0\{\sin(\omega+\Omega)t - \sin(\omega-\Omega)t\} + \\ + 0{,}007E_0\{\sin(\omega+3\Omega)t - \sin(\omega-3\Omega)t\} + \ldots, \quad (1)$$

а в случае модуляции колебанием $S_2(t)$:

$$E_{\text{АФМ}}(t) = 0{,}56E_0\{\sin(\omega_0+\Omega)t - \sin(\omega_0-\Omega)t\} + \\ + 0{,}05E_0\{\sin(\omega_0+3\Omega)t - \sin(\omega_0-3\Omega)t\} + \ldots. \quad (2)$$

Как видно из (1) и (2) разностная частота между составляющими двухчастотного излучения 2Ω равна частоте модулирующего сигнала f_{RF}. Составляющие высших гармоник можно не учитывать в силу малости их амплитуд. Получено сужение разностной частоты в два раза по сравнению с классическими схемами ее удвоения, применяемыми в практике известных ОВАС [1, 2], что позволит повысить разрешающую способность измерений.

Принцип работы двухчастотных симметричных ОВАС. При работе ОВАС по схеме прямого детектирования (рис. 1) двухчастотное излучение с выхода блока модуляторов поступает на ОПФ (на рис. 1 не показан), а затем на исследуемый элемент ВРБ. Для формирования диапазона измерений по длине волны и частоте используется перестраиваемый лазер ЛД и электронный векторный анализатор сетей (ЭВАС) (также не показан на рис. 1), соединяющий выход фотоприемника ФД и вход АММЦ. В фильтре для составляющих на разных частотах формируется различное ослабление a_1 и a_2.

Измеряя с помощью ЭВАС продетектированное излучение дважды на каждой из боковых частот, может быть сформирована матрица, по которой вычисляется передаточная функция $H(\omega)$ исследуемого элемента. Ток на выходе ФД при различных ослаблениях компонент двухчастотного излучения можно представить, как:

$$\begin{bmatrix} i_1(\Omega) \\ i_2(\Omega) \end{bmatrix} \propto \begin{bmatrix} a_1 E_0 E_{-1}^* H(\omega_0) & E_0 E_1 H^*(\omega_0) \\ a_2 E_0 E_{-1}^* H(\omega_0) & E_0 E_1 H^*(\omega_0) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} H^*(\omega_0-\Omega) \\ H(\omega_0+\Omega) \end{bmatrix}, \quad (3)$$

где $E_0, E_{\pm 1}$- амплитуда соответственно не до конца подавленной несущей и боковых составляющих (нижней и верхней). Ключевой момент рассматриваемой технологии заключается в том, что передаточные характеристики на частотах нижней и верхней составляющих будут различны, следовательно детерминант матрицы не равен 0, а указанные характеристики будут определяться как

$$H(\omega_0+\Omega)=[a_2 i_1(\Omega)-a_1 i_2(\Omega)]/(a_1-a_2)E_0E_1H^*(\omega_0), \quad (4)$$

$$H^*(\omega_0-\Omega)=[i_1(\Omega)-i_2(\Omega)]/(a_1-a_2)E_0E_{-1}^*H\ (\omega_0). \quad (5)$$

Поскольку ослабления a_1 и a_2 известны, $H(\omega_0)$ – комплексная постоянная, комплексные амплитуды $E_0, E_{\pm1}$ определяются в процессе калибровки, перестройка Ω с помощью ЭВАС позволяет с точностью до единиц Гц измерить амплитудные и фазовые параметры исследуемой ВРБ $H(\omega)$.

При работе ОВАС по схеме с гетеродинированием (на рис. 1 не показано) часть оптической несущей с выхода ЛД поступает на вход ФД. Положение ОПФ выбирается так, что оптическая несущая находится на краю его среза, таким образом что, на вход исследуемого элемента поступает только верхняя боковая составляющая на частоте $(\omega_0+\Omega)$. При переходной функции исследуемого элемента, равной $H(\omega)$, сигнал на его выходе будет описан следующим образом:

$$E_{\text{ВРБ}}(\omega)=(\sqrt{2}/2)E_1H(\omega_0+\Omega)\delta(\omega-\omega_0-\Omega). \quad (6)$$

При фотогетеродинировании (6) и оптической несущей на входе ФД получим:

$$E_{\text{ФД}}(\omega)=E_0(\omega-\omega_0)+(\sqrt{2}/2)E_1H(\omega_0+\Omega)\delta(\omega-\omega_0-\Omega), \quad (7)$$

а ток на его выходе

$$i(\Omega)=E_0E_1H(\omega_0+\Omega). \quad (8)$$

Таким образом, передаточная функция исследуемого элемента будет определяться как:

$$H(\omega_0+\Omega)\propto i(\Omega)/E_0E_1. \quad (9)$$

Поскольку комплексные амплитуды E_0, E_1 определяются в процессе калибровки, перестройка Ω с помощью ЭВАС позволяет с точностью до единиц Гц измерить амплитудные и фазовые параметры исследуемой ВРБ $H(\omega)$.

При однополосной модуляции несущая и боковая составляющая вместе проходят через исследуемый элемент, что делает невозможным измерение широкополосных ВРБ. В наших схемах это ограничение снято.

Заключение. Таким образом, нами показано, что использование АФМП по методу Ильина-Морозова может найти широкое применение для построения ОВАС для анализа как узко- так и широкополосных элементов, например, ВРБ с фазовым π-сдвигом и линейно чирпированных ВРБ соответственно. Экспериментальные результаты подтвердили теоретические положение, однако в данной статье не приведены. Спектральное разрешение составило единицы МГц.

Работа выполнена при финансовой поддержке МОН РФ в рамках госзадания КНИТУ-КАИ программа «Радиофотоника», 3.1962.2014/К и договора №02.G25.31.0004 от «12» февраля 2013 г.

Список литературы

1. *M. Wang, J. Yao.* Optical vector network analyzer based on unbalanced double-sideband modulation // IEEE Photon. Techn. Lett. 2013. V. 25. № 8. P. 753-756.
2. *Z. Tang, S. Pan.* A high-resolution optical vector network analyzer with the capability of measuring bandpass devices // IEEE International Topical Meeting on Microwave Photonics (MWP). 2013. P. 225-228.
3. *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.
4. *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.
5. *Морозов О.Г., Морозов Г.А., Нургазизов М.Р., Талипов А.А.* Оптико-электронные системы измерения мгновенной частоты радиосигналов с амплитудно-фазовым модуляционным преобразованием оптической несущей // Прикладная фотоника. 2014. № 2. С. 5-23.
6. *Morozov O.G., et al.* Methodology of symmetric double frequency reflectometry for selective fiber optic structures // Proceedings of SPIE. 2008. V. 7026. P. 70260I-8
7. *Morozov O.G., et al.* Metrological aspects of symmetric double frequency and multi frequency reflectometry for fiber Bragg structures // Proceedings of SPIE. 2008. V.7026. P.70260J-6.
8. *Natanson O.G., et al.* Development problems of frequency reflectometry for monitoring systems of optical fiber structures // Proceedings of SPIE. 2005. V.5854. P.215-223.
9. *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.

05.13.18

Б.П. Перелыгин, С.А. Борисов

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ АЭРОСТАТА В АТМОСФЕРЕ МАРСА С ПОМОЩЬЮ СИСТЕМЫ MAPLE

В статье приводится постановка и решение задачи вертикального движения аэростата с гайдропом в атмосфере Марса на поверхностном участке в условиях перепада суточных температур окружающей среды. Интегрирование уравнений движения и анализ результатов выполняется в системе символьных вычислений Maple. Приведен пример численного решения опорного варианта движения.

Ключевые слова: *аэростат, гайдроп, атмосфера, Марс, уравнения движения, система Maple.*

Накопленные знания о поверхности и атмосфере Марса позволяют решать задачи посадки космических аппаратов и их дальнейшего функционирования. Для изучения динамики процессов, происходящих на планете, представляются рациональными исследования с помощью аппаратов, постоянно работающих в атмосфере и на поверхности Марса. Например, это могут быть аэростатные зонды, работающие на малых высотах и позволяющие выполнять обзорные исследования поверхности в сочетании с контактными методами изучения атмосферы и грунта.

Одним из вариантов аэростатного зонда является плавающая аэростатная станция (далее – аэростат) /4/, функционирующая в режиме челночного дрейфа на расчетной высоте в сочетании с посадками на поверхность в ночное время. Ночью происходит радиационное выхолаживание оболочки, и возникает отрицательная разница температур между подъемным газом и атмосферой. В результате объем подъемного газа в аэростатной оболочке становится меньше конструктивного (максимального) объема оболочки. Соответственно подъемная сила аэростата становится меньше его веса, и аэростат начинает снижаться до момента касания гайдропом поверхности планеты.

Гайдроп исключает соударение оболочки аэростата и полезного груза с поверхностью планеты и дрейф станции с волочением гайдропа по поверхности. Характеристики гайдропа (масса, длина) должны быть такими, чтобы при максимальном дефиците подъемной силы ночью и соответствующей скорости снижения он не ложился бы целиком на поверхность планеты. После восхода Солнца происходит разогрев подъемного газа, аэростатическая подъемная сила становится больше веса аэростата, и аэростат начинает подъем на высоту дрейфа.

Таблица 1 – Параметры ночной и дневной экваториальной атмосферы Марса (по данным /1,2,3/):

	h [км]	*ρ [кг/м^3]*	*T [˚K]*	*P [Па]*
ночь	0	0.012090	222.9	509.1
ночь	5	0.008030	213.4	323.7
ночь	10	0.005272	201.0	200.2
день	0	0.011580	228.6	499.9
день	5	0.007788	218.1	321.0
день	10	0.005197	206.1	202.5

Рассмотрим закономерности движения аэростата на приповерхностном участке в атмосфере Марса. Некоторые массовые и габаритные характеристики аэростата приняты по данным из /4/. Это информационные материалы (в том числе из Интернета) о совместном нереализованном проекте 90-х годов НПО им. Лавочкина и ESA (Франция).

На рис. 1 показана схема плавающего аэростата в двух режимах функционирования: (а) – свободный полет (снижение, $V < 0$) при недостаточной подъемной силе в ночное время; (б) –

движение при лежании части гайдропа на поверхности (подъем, $V > 0$). Предельная высота полета в дневное время может достигать нескольких километров, но здесь рассматривается движение при посадке на гайдроп – колебательный процесс, амплитуды, периоды, минимальное расстояние точки "С" от поверхности и переход в статический режим висения с гайдропом. Посадка на гайдроп считается аварийной, если точка "С" касается поверхности.

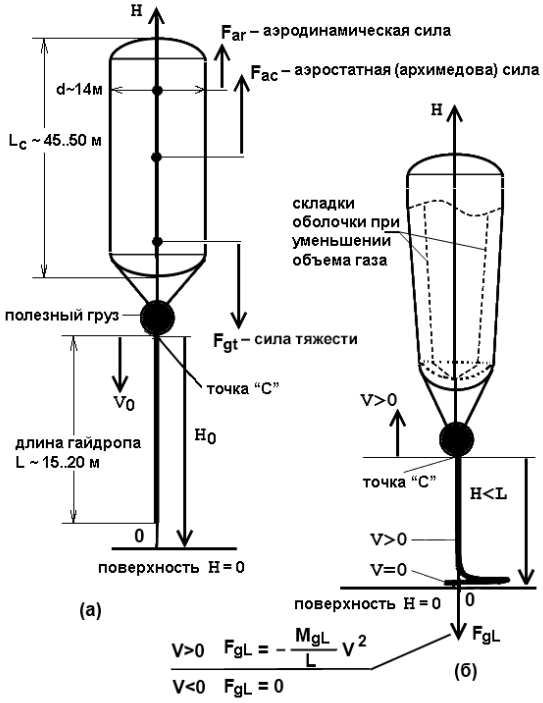


Рис. 1 – Некоторые габаритные характеристики и режимы движения плавающего аэростата на приповерхностном участке

При записи дифференциальных уравнений движения используется описанная ниже модель движения аэростата.

Таблица 2 – Используемые обозначения, формулы и численные значения с единицами измерения в системе СИ.

V	Скорость
W	Абсолютная скорость отделяющихся или присоединяющихся масс гайдропа
$U = W - V$	Относительная скорость отделяющихся или присоединяющихся масс гайдропа
H	Высота
d	Диаметр цилиндрической части станции
L	Длина гайдропа
V_{C0}	Объем газа в оболочке на нулевой высоте
S_C	Площадь поперечного сечения цилиндра (площадь миделя): $Sc := \frac{1\,\pi\, d^2}{4}$
C_C	Коэффициент сопротивления при продольном обтекании цилиндра: $C_C = 0.4$ (по данным из /4/)
ρ_{a0}	Плотность атмосферы на нулевой высоте
g_0	Ускорение свободного падения на нулевой высоте: $g_0 = 3.7$
$M\sum$	Суммарная "плавающая" масса при отсутствии контакта ($L < H$) гайдропа с поверхностью; это сумма масс полезного груза и системы управления, оболочки аэростата с узлами усиления и крепления полезного груза, систем контроля и управления давлением газа, собственно газа и гайдропа (рис. 1а)

M_h	Масса, которая определяет величину силы тяжести при наличии контакта ($L > H$) части гайдропа с поверхностью (рис. 1б)
M_{gL}	Масса гайдропа
ρ_{gl}	Линейная плотность гайдропа: $\rho_{gl} = \frac{M_{gL}}{L}$
F_{gL}	Инерционная сила от гайдропа при $L > H$
F_{gt}	Сила тяжести: $F_{gt} = -M_{\Sigma}\, g0$ или $F_{gt} = -M\, g0$
M_{pr}	Присоединенная масса атмосферы для цилиндра при продольном обтекании: $M_{pr} := \frac{1\, \rho_{a0}\, \pi\, d^3}{12}$ (по данным из /4/)
F_{ac}	Аэростатическая (архимедова) сила: $F_{ac} := Vc0\, \rho_{a0}\, g0$
F_{ar}	Аэродинамическая сила ($\lvert F_{ar}\rvert = \frac{1\, Cc\, Sc\, \rho_{a0}\, V^2}{2}$) с учетом знака проекции на ось $0H$ (рис. 1а): $F_{ar} = -\frac{1\, Cc\, Sc\, \rho_{a0}\, V\, \lvert V\rvert}{2}$
F	Равнодействующая всех сил, исключая инерционную (реактивную) силу от гайдропа

Движение рассматривается в диапазоне высот 0..100 м, и величины ускорения свободного падения g_0 и плотности ρ_{a0} принимаются постоянными и равными на высоте $H = 0$. Движение системы (оболочка, газ, полезный груз, гайдроп) рассматривается как прямолинейное поступательное движение твердого тела (недеформируемого). Если тело движется поступательно, то для моделирования его движения достаточно рассмотреть движение его произвольной точки (например, движение центра масс). В данном случае рассматривается движение характерной точки полезного груза – точки "С". Для режима движения с частью гайдропа на поверхности это положение относится к указанной системе, исключая часть гайдропа, лежащего на поверхности. Движение системы также определяется величинами скорости и координатами точки "С".

Для режима движения при $H < L$ (рис. 1б) к рассматриваемой системе, в зависимости от знака скорости, будут "присоединяться" ($0 < \frac{dM}{dt}$) или "отсоединяться" ($\frac{dM}{dt} < 0$) части массы гайдропа (это уже система переменной массы). Уравнение для скорости точки "С" имеет вид:

$$M\left(\frac{dV}{dt}\right) = W\left(\frac{dM}{dt}\right) - V\left(\frac{dM}{dt}\right) + F$$

где W – это проекция абсолютной скорости массы гайдропа $\frac{dM}{dt}$ на ось OH.

Если определить проекцию относительной скорости отделения или присоединения $U = W - V$, то можно записать

$$M\left(\frac{dV}{dt}\right) = U\left(\frac{dM}{dt}\right) + F$$

Рассмотрим режим движения $H < L$ (рис. 1б). При $V < 0$ части гайдропа ложатся на поверхность ($H = 0$) со скоростью V, уменьшая массу системы и оказывая некое силовое воздействие на поверхность. Но гибкий гайдроп не передает реакцию поверхности на рассматриваемую систему. Кроме того, скорость масс гайдропа, ложащихся на поверхность, $W = V$ и $U = W - V$ равна нулю, поэтому инерционная сила $F_{gL} = U\left(\frac{dM}{dt}\right)$ также равна нулю.

При $V > 0$ части гайдропа поднимаются с поверхности $(H = 0)$ со скоростью V, увеличивая массу системы. Но эти части имели нулевую начальную скорость $W = 0$, поэтому из уравнения $U = W - V$ следует, что $U = -V$ и $F_{gL} = -V\left(\frac{dM}{dt}\right)$, т.е. эта инерционная сила тормозит движение аэростата вверх при $V > 0$.

Определим погонную массу гайдропа $\rho_{gl} = \frac{M_{gL}}{L}$. Тогда при $V > 0$ увеличение массы за единицу времени будет $\frac{dM}{dt} = \rho_{gl} V$ и $F_{gL} = -\rho_{gl} V^2$. Окончательно получим: при $H < L$, $H > 0$ и $V < 0$ имеем $F_{gL} = 0$ (инерционная сила от гайдропа = 0); при $H < L$, $H > 0$ и $V > 0$ имеем $F_{gL} = -\rho_{gl} V^2$ (инерционная сила от гайдропа < 0).

Для решения задачи в системе *Maple* запишем уравнения движения для точки "С" на участке свободного полета аэростата:

```
> restart;Digits:=5:
 (M[Sigma]+M[pr])*diff(V(t),t)=F[ac]+F[gt]+F[ar];diff(H(t),t)=V(t);          (1)
```

Определим другие исходные соотношения:

```
> M[pr]:= 1/12*rho[a0]*Pi*d^3;F[ac]:= Vc0*rho[a0]*g0;F[gt]:= -M[Sigma]*g0; Sc:=
1/4*Pi*d^2;F[ar]:= -1/2*Cc*Sc*rho[a0]*V(t)*abs(V(t));                        (2)
```

Подставляя (2) в (1), получим систему дифференциальных уравнений (3) прямолинейного поступательного движения аэростата в системе координат $0H$ (рис. 1а), которая является исходной для численного моделирования процесса движения и параметрического анализа его закономерностей на участке свободного полета аэростата.

```
> (M[Sigma]+M[pr])*diff(V(t),t)=F[ac]+F[gt]+F[ar];diff(H(t),t)=V(t);          (3)
```

Для анализа влияния изменения величин конструктивных параметров аэростата (массы, объема и формы оболочки, длины и массы гайдропа и др.) на процесс движения нужно иметь опорный вариант для некоторых численных величин. Некоторые из них, примерно определяющие габариты и массу станции, взяты из /4/. Например, суммарная масса $M\sum = 50$, диаметр $d = 14$, плотность ночной экваториальной атмосферы Марса $\rho_{a0} = 0.012090$ (табл. 1) и др. Определим численные величины для опорного варианта.

```
> M[Sigma]:=50;rho[a0]:=0.01209;d:=14;Vc0:=3500;
g0:=3.7;Cc:=0.4;M[gL]:=15;L:=15;rho[gl]:= M[gL]/L;                           (4)
```

Подставляя (4) в (3), получим систему (5), которую можно использовать для численного интегрирования и параметрического анализа относительно начальных условий движения $V(0) = V0$ и $H(0) = H0$.

```
> evalf((M[Sigma]+M[pr])*diff(V(t),t)=F[ac]+F[gt]+F[ar]);
diff(H(t),t)=V(t); V(0)=V0;H(0)=H0;                                          (5)
```

При записи общих уравнений движения на участке взаимодействия гайдропа и поверхности ($0 < H < L$) для опорного варианта нужно учитывать изменение массы, которая определяет величину силы тяжести и инерционную силу от гайдропа, которая в этом диапазоне высот является функцией линейной плотности гайдропа, высоты, модуля скорости и знака скорости.

Запишем уравнения движения для точки "С" в общем виде:

```
> restart;Digits:=5:
 (M[h]+M[pr])*diff(V(t),t)=F[ac]+F[gt]+F[ar]+F[gL];diff(H(t),t)=V(t);        (6)
>          M[pr]:=1/12*rho[a0]*Pi*d^3;F[ac]:=          Vc0*rho[a0]*g0;F[ar]:=
 -1/2*Cc*Sc*rho[a0]*V(t)*abs(V(t));Sc:= 1/4*Pi*d^2;F[gt]:=-M[h]*g0;          (7)
```

Масса, которая определяет величину силы тяжести $F_{gt} = -M_h g_0$, определяется следующим логическим выражением (8):

- если высота полета больше или равна длине гайдропа $L \le H(t)$, то $M_h = M\sum$;
- если высота $0 < H(t) < L$, то $M_h = M\sum - \rho_{gl}\,(L - H(t))$;
- если $H(t) \le 0$, то $M_h = M\sum - \rho_{gl}\ L$ или $M_h = M\sum - M_{gL}$, и происходит аварийная посадка.

```
> M[h]:=M[Sigma]-piecewise(H(t)>=L,0,H(t)<L and H(t)>0,
  rho[gl]*(L-H(t)),H(t)<=0,rho[gl]*L);                    (8)
```

Инерционная сила от гайдропа F_{gL} определяется следующим логическим выражением (9):

- если высота $0 < H(t) < L$ и скорость $V(t) > 0$, то $F_{gL} = -\rho_{gl}\,V(t)^2$;
- для других высот $L \le H(t)$ и $H(t) < 0$ при скорости $V(t) \le 0$ имеем $F_{gL} = 0$.

```
> F[gL]:= piecewise(H(t)<L and H(t)>0 and V(t)>0,-rho[gl]*V(t)^2);   (9)
```

Подставляя соотношения (7), (8), (9) в (6), получим систему дифференциальных уравнений движения аэростата (5), которая описывает движение на участках свободного полета и посадки с учетом изменения массы и инерционных сил при взаимодействии с гайдропом на поверхности.

Это общие уравнения движения для произвольного диапазона высот при постоянной погонной массе гайдропа в диапазоне указываемой длины.

```
> M[h]+M[pr])*diff(V(t),t)=F[ac]+F[gt]+F[ar]+F[gL];diff(H(t),t)=V(t);   (10)
```

Подставляя численные величины опорного варианта (5) в (10), получим систему уравнений (11), для которой, после задания начальных условий движения V_0 и H_0, можно получить результаты численного интегрирования.

```
> M[Sigma]:=50;rho[a0]:=0.01209;d:=14;Vc0:=3500;g0:=3.7;
  Cc:=0.4;M[gL]:=15;L:=15;rho[gl]:= M[gL]/L;
> evalf((M[h]+M[pr])*diff(V(t),t)=F[ac]+F[gt]+F[ar]+F[gL]);
  diff(H(t),t)=V(t);V(0)=V0;H(0)=H0;                      (11)
```

Для получения графиков функций M_h и F_{gL} в диапазоне высот $H = -2..17$ при положительной скорости $V(t) = 1$, длине гайдропа $L = 15$ и постоянной погонной массе гайдропа $\rho_{gL} = 1$, запишем инструкции *Maple*:

```
> restart;M[h]:=M[Sigma]-piecewise(H(t)>=L,0,H(t)<L and H(t)>0,
  rho[gl]*(L-H(t)),H(t)<=0,rho[gl]*L);
> F[gL]:= piecewise(H(t)<L and H(t)>0 and V(t)>0,-rho[gl]*V(t)^2);
> M[Sigma]:=50;L:=15;rho[gl]:=1;V(t):=1;
> plot(M[h],H=-2..17,labels=[H,M],thickness=4);
> plot(F[gL],H=-2..17,labels=[H,F],thickness=4);
```

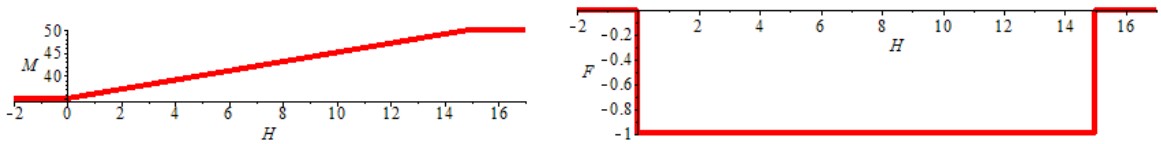


Рис. 2 – Графики зависимости значений M_h и F_{gL} от высоты

В заключение приведем пример численного решения для опорного варианта, используя инструкции *Maple*, указанные ранее.

```
> restart;(M[h]+M[pr])*diff(V(t),t)=F[ac]+F[gt]+F[ar]+F[gL];diff(H(t),t)=V(t);
> M[pr]:=1/12*rho[a0]*Pi*d^3;F[ac]:= Vc0*rho[a0]*g0;F[ar]:=
 -1/2*Cc*Sc*rho[a0]*V(t)*abs(V(t));Sc:= 1/4*Pi*d^2;F[gt]:=-M[h]*g0;
> M[h]:=M[Sigma]-piecewise(H(t)>=L,0,H(t)<L and H(t)>0,rho[gl]*
 (L-H(t)),H(t)<=0,rho[gl]*L);
> F[gL]:= piecewise(H(t)<L and H(t)>0 and V(t)>0,-rho[gl]*V(t)^2);
> (M[h]+M[pr])*diff(V(t),t)=F[ac]+F[gt]+F[ar]+F[gL];diff(H(t),t)=V(t);
> # - численные величины
> M[Sigma]:=50;rho[a0]:=0.01209;d:=14;Vc0:=3500;g0:=3.7;Cc:=0.4;
  M[gL]:=15;L:=15;rho[gl]:= M[gL]/L;
```

```
> #- начальные условия {V(0)=0,H(0)=15}, интегрируемые функции {V(t),H(t)} и
  интегрируемая система si;
> nusi:={V(0)=0,H(0)=15};fusi:={V(t),H(t)};q1:=evalf((M[h]+M[pr])*diff
 (V(t),t)=F[ac]+F[gt]+F[ar]+F[gL]):q2:=diff(H(t),t)=V(t):si:={evalf(q1),q2};
> #- процедура численного интегрирования;
> resi:=dsolve(si union nusi,fusi,type=numeric,method=rkf45,
  output=listprocedure);
> # - решение для большого времени 1800 сек,-это практически стационарный
  режим равновесия;
> st:=time();resi(1800);time()-st;
> # - построение графиков для высоты и скорости в диапазоне времени 0..180 с;
> Ht:=subs(resi,H(t));Vt:=subs(resi,V(t));
> plot(Ht,0..180,labels=[t,H],thickness=4);
```

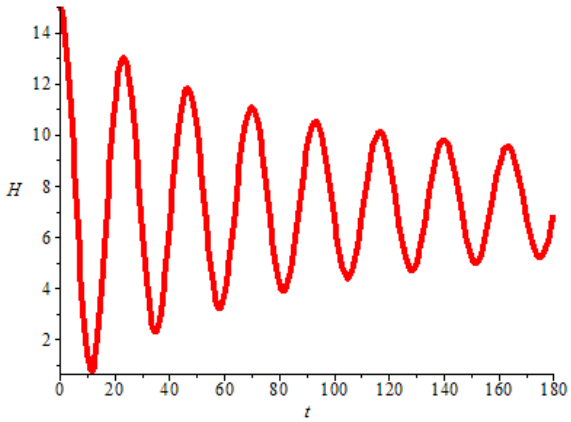


Рис. 3. График зависимости высоты точки "С" от времени

Список литературы

1. Интернет-ресурс ru.wikipedia.org/wiki/Марс.
2. Материалы по атмосфере Марса. Модели атмосфер для экваториальных широт.– Москва: НПО им. Лавочкина, 2004.
3. Mars Global Reference Atmospheric Model, 2001 Version (Mars-GRAM 2001). – NASA/TM-2001-210961.
4. Методические материалы по аэростатной станции.– Москва: НПО им. Лавочкина, 2000.

05.05.04

С.В. Прохоров

Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых (ВлГУ),
Архитектурно-строительный факультет, кафедра Строительное производство,
Владимир, oc204@bk.ru

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕХНИЧЕСКОЙ ГОТОВНОСТИ СТРОИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ С УЧЕТОМ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОНЫХ И ВОЗРАСТНЫХ ФАКТОРОВ

В представленной статье предлагается методика определения коэффициента технической готовности машин на основе изменения технического состояния техники под действием эксплуатационных и возрастных факторов. В основу методики положено определение вероятности безотказной работы при помощи математического аппарата и статистических данных. В качестве основных факторов влияющих на надежность техники выбраны срок эксплуатации, природно-климатические условия и категория сложности производства работ.

Ключевые слова: *машинные парки, надежность, безотказность, экономические затраты, срок эксплуатации, температурные воздействия.*

Падение курса рубля к иностранной валюте во второй половине 2014 года спровоцировало ажиотаж на рынке недвижимости. Вместе с тем эксперты, опрошенные порталом «РБК-Недвижимость» прогнозируют, что спад во втором квартале 2015 года составит около 30%, а в дальнейшем эта цифра может только увеличиться.[1] Эти прогнозы с одной стороны подкрепляются ужесточившимися требованиями банков к ипотечным заемщикам, с другой стороны потенциальными сокращениями персонала в компаниях, которые по оценкам некоторых экономистов ожидаются во второй половине 2015 года.

Падение темпов строительства, по мнению аналитиков, спровоцирует падение уровня продаж строительно-дорожной техники. К традиционным поставщикам строительной техники, в последние годы добавились производители из Южной Кореи и Китая. Данные производители ведут агрессивную политику в области ценового демпинга и технического обслуживания (отсрочка платежей, лизинговые программы и т.д.). Продукция из Китая, как правило, является лицензионными машинами мировых производителей предыдущих моделей по более низкой цене.[2]

Однако этот конкурентный прессинг оказывает влияние не только на зарубежных производителей, но и на отечественные предприятия. Помимо низкого качества российские производители не могут обеспечить потребителя полной номенклатурой машин и оборудования.

Одной из мер государственной политики направленной на поддержание российской экономики является импортозамещение продукции. Это позволяет стимулировать не только отечественного производителя, но и иностранные компании, которым для участия в госзакупках теперь необходимо обеспечить локализацию производства не менее 50%. Однако следует отметить, что это касается только государственных корпораций и компаний, число которых в строительстве незначительно. Кроме этого локализовать производство в России не так просто и многие корпорации предпочитают консервировать производство и уходить с рынка. Вместе с тем существуют отдельные типы элементной базы, не имеющие полноценных аналогов в линейках отечественных производителей комплектующих или на территории нашей страны невозможно найти поставщиков комплектующих требуемого уровня.

Дополнительной опасностью является ограничение конкуренции, т.к. это является деструктивным подходом и не оказывает благоприятного воздействия на повышение технологического уровня производства и его потенциала.

Затраты при эксплуатации техники зависят от многих причин, но наиболее значимыми являются затраты направленные на поддержание машины в работоспособном состоянии и штрафы от простоя машины на объекте в ходе отказа оборудования. Вопрос минимизации затрат на техническое обслуживание и ремонт техники был рассмотрен в работе [3] , где одновременно рассматривался вопрос составления графика ТО и Р машинных парков.

Рассмотрим вопрос потерь денежных средств организаций от простоя техники в результате внезапных отказов. В работе [4] представлена математическая модель определения оптимального уровня надежности строительных машин с учетом ущерба от простоя. В качестве вероятности нахождения машины в работоспособном состоянии принят коэффициент технической готовности $К_г$. Проведенные исследования показывают, что на уровень безотказности машин непосредственно на строительной площадке влияют «возраст» техники (срок эксплуатации), природно-климатические условия производства работ и категория сложности производимых работ.

Таким образом, коэффициент технической готовности может быть определен по формуле:

$$К_г = K_{ti}*K_{vi}*K_{ri} \quad (1)$$

где K_{ti} – коэффициент учитывающий влияние температуры на безотказность систем и оборудования машины; K_{vi} - коэффициент учитывающий влияние срока эксплуатации (возраста) машин на их безотказность; K_{ri} - коэффициент учитывающий влияние условий производства работ на безотказность техники.

Коэффициент, учитывающий влияние температуры на удорожание работ (K_{ti}) определяется из следующих предпосылок:

$$K_{ti}=P_e*(П_э / П_{э.опт}) \quad (2)$$

где P_e - вероятность безотказной работы в заданных природно-климатических условиях или температурном диапазоне, $П_э$ – эксплуатационная производительность в заданных условиях; $П_{э.опт}$ – эксплуатационная производительность в оптимальных условиях.

Вероятность безотказной работы определяется на основании обработки статистических данных учитывающих воздействие низких температур на различные системы и оборудование. В частности для экскаватора ЭО- 4124 было получено следующее изменение вероятности безотказной работы в зависимости от температуры окружающего воздуха (рис.1):

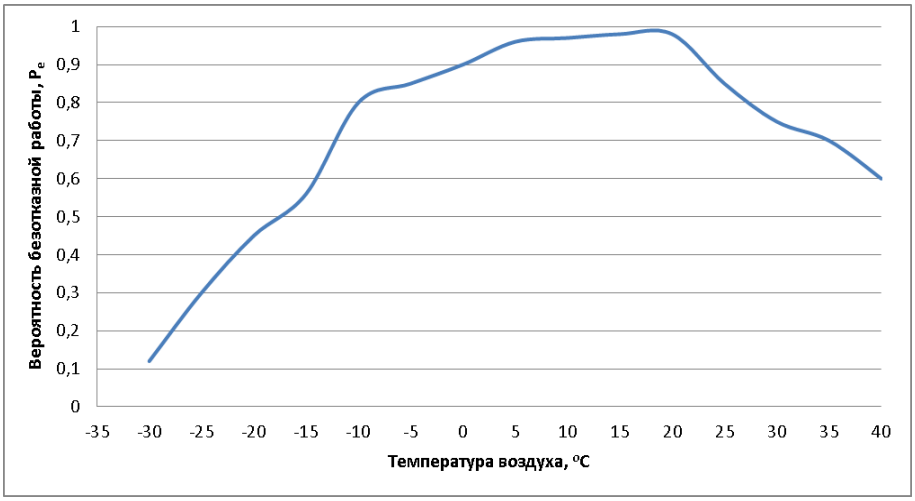


Рис. 1- Изменение вероятности безотказной работы для экскаватора ЭО-4124 в зависимости от температуры воздуха

Коэффициент, учитывающий влияние возраста техники на стоимость эксплуатации (K_{vi}) определяем по формуле:

$$K_{vi}=(n_{отк}+n_{год})/ n_{год} \quad (3)$$

где $n_{отк}$ - количество дней простоя из-за отказов в год; $n_{год}$ - количество рабочих дней в году.

Количество дней простоя выражается математическим ожиданием:

$$n_{отк} = M(t)= \sum_i\sum_j\sum_r(t_{ijr}/(\lambda_{ijr}*T_{ijr})) \quad (дней) \quad (4)$$

где t_{ijr} - общее время простоя на заданную наработку i- й машины, j – го возраста, r – го типа; λ_{ijr} – интенсивность потока отказов на наработку i- й машины, j – го возраста, r – го типа; T_{ijr} - наработка i- й машины, j – го возраста, r – го типа.

Общее время простоев определялось на основании статистических данных и норм времени на устранение неисправностей согласно регламенту завода – изготовителя строительной техники. Поток отказов определялся на основе обработки статистических данных для машин каждого типоразмера и срока эксплуатации (рис.2).

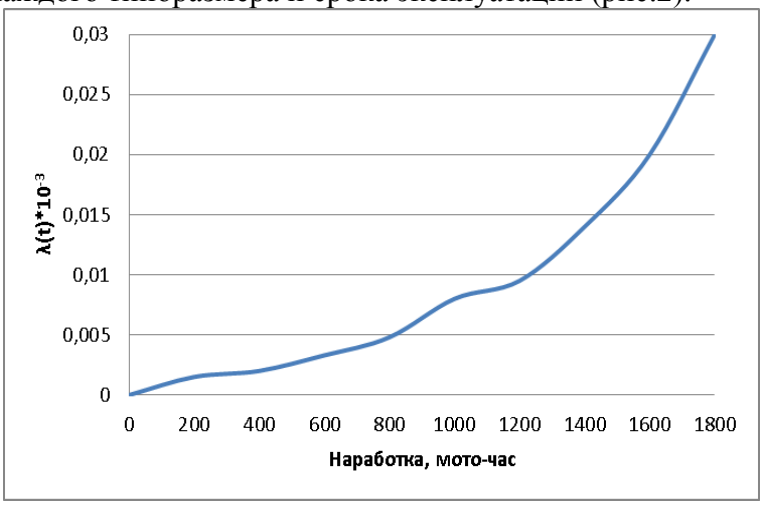


Рис. 2- Изменение потока отказов для экскаватора ЭО-4124 со сроком эксплуатации 6 лет

Коэффициент, учитывающий влияние условий эксплуатации и структуры работ K_{ri} определяем следующим образом:

Для решения задачи необходимо определить, какова вероятность того, что в процессе эксплуатации отказ в тяжелых условиях произойдет хотя бы один раз. В результате обработки статистических данных была получена следующая формула:

$$K_{ri}=(2*C_k^x*p^x*(1-p)^{k-x})/p^{365} \quad (5)$$

где k - общее число испытаний; x – число появления отказов в заданных условиях; p – вероятность появления отказа; C – число сочетаний событий.

Выявленные закономерности отказов строительной техники в зависимости от природно-температурных условий, возраста и условий производства работ позволяют минимизировать затраты на содержание парка техники в работоспособном состоянии и уменьшить число внезапных отказов. Кроме этого, определение коэффициента готовности по данной методике позволяет решать задачу распределения техники по объектам исходя из минимальных приведенных затрат на выполнение работ.

Список литературы

1. Валютный кризис как изменятся цены на жилье и строительные материалы//РБК-Недвижимость URL:http://realty.rbc.ru/articles/30/01/2015/562949993835997.shtml (дата обращения 30.05.2015)

2. Импорт спецтехники в РФ (+страны-импортеры и бренды) //Экскаватор.ру: URL:http://exkavator.ru/useful/analytic/import_4_2014 (дата обращения 30.04.2015)

3. *Прохоров С.В.* Методика составления графика технического обслуживания машинных парков на основе оценки воздействия эксплуатационных факторов // Научно-технический вестник Поволжья , 2015, №2. - с.161-163

4. *Гринчар Н.Г, Кузьмин Д.В.* Математическая модель определения оптимального уровня надежности строительных машин с учетом ущерба от простоя // Механизация строительства. — 2013. — № 3. — с. 18-21.

05.07.09

Ю.Н. Разумный д.т.н., П.Г. Козлов, В.Ю. Разумный

Московский авиационный институт (Национальный исследовательский университет),
Аэрокосмический факультет, кафедра 604 «Системный анализ и управление»,
Москва, yury.razoumny@gmail.com

МЕТОДИКА РАСЧЕТА МНОГОЯРУСНЫХ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ НА КРУГОВЫХ И ЭЛЛИПТИЧЕСКИХ НОДАЛЬНО-СИНХРОННЫХ ОРБИТАХ

Рассматривается методика расчета параметров многоярусных систем, состоящих из спутников, располагаемых на круговых и/или эллиптических орбитах с различным наклонением и отличающейся геометрией. С целью обеспечения структурной устойчивости получающихся орбитальных структур для формирования ярусов системы используются так называемые нодально-синхронные орбиты, характеризующиеся постоянством скорости смещения восходящих узлов орбит. При этом каждый ярус системы представляет собой традиционную систему из спутников на орбитах с одинаковыми значениями наклонения, большой полуоси и эксцентриситета.

Ключевые слова: *орбиты искусственных спутников Земли, многоярусные спутниковые системы, круговые и эллиптические орбиты, нодально-синхронные орбиты.*

Введение. В основе традиционного подхода к формированию систем искусственных спутников Земли лежит априорный выбор одинаковых значений большой полуоси, эксцентриситета и наклонения орбит для всех спутников системы. Это делается с целью обеспечения одинаковой прецессии восходящих узлов орбит всех спутников системы, обусловленной за счет влияния полярного сжатия Земли. Поскольку коррекция плоскости орбиты является одним из наиболее энергоемких типов маневров, то указанное размещение спутников на одинаковых орбитах позволяет добиться минимальных затрат характеристической скорости на решение задачи поддержания орбит спутников системы в процессе их активного функционирования.

По указанной причине системы из спутников на орбитах с различными значениями большой полуоси, эксцентриситета или наклонения до настоящего времени практически не рассматривались. В настоящей работе излагается методика расчета так называемых многоярусных систем, включающих спутники, движущиеся по орбитам с отличающимися значениями большой полуоси, эксцентриситета и/или наклонения при отсутствии дополнительных затрат на поддержание орбитальной структуры (по сравнению с традиционной схемой формирования систем на орбитах с одинаковыми значениями большой полуоси, эксцентриситета и/или наклонения) за счет использования так называемого свойства нодальной синхронности (синхронности векового смещения узлов орбит спутников).

Общая характеристика многоярусных спутниковых систем на нодально-синхронных орбитах. Системы из спутников на нодально-синхронных орбитах в общем случае характеризуются как многоярусные спутниковые системы на круговых и эллиптических орбитах, т.е. системы, состоящие из отдельных традиционных систем (подсистем, называемых ярусами) с одинаковыми значениями большой полуоси, эксцентриситета и наклонения орбит для всех спутников каждого яруса. В общем случае такие системы состоят из

$$N = \sum_{j=1}^{m} n_j \qquad (1)$$

спутников, где m – число ярусов в системе, n_j – число спутников в j-ом ярусе (j=1, 2, … , m). Значения большой полуоси a_j, эксцентриситета e_j и наклонения i_j орбит спутников многоярусной системы рассчитываются, как будет показано ниже, специальным образом,

обеспечивающим одинаковую скорость прецессии узлов орбит всех спутников системы. Используемое для описания таких систем понятие «ярусности» подразумевает, что отдельные ярусы системы могут в общем случае иметь один или большее число спутников в своем составе. Ярусы спутниковой системы могут пересекаться между собой и располагаться в любом порядке в околоземном пространстве как на круговых, так и на эллиптических орбитах с различными эксцентриситетами и наклонениями в соответствии со схемой на Рис. 1. Каждый ярус системы характеризуется либо набором параметров

$$a_j, e_j, i_j, \quad j = \overline{1, m} \tag{2}$$

для эллиптических орбит, либо набором параметров

$$r_j, i_j, \quad j = \overline{1, m} \tag{3}$$

для круговых орбит.

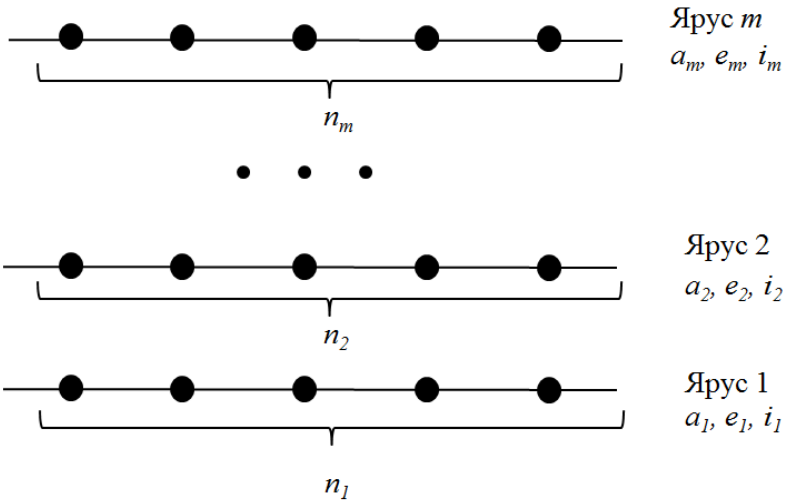


Рис. 1 – Схема формирования многоярусной спутниковой системы

В основе предлагаемого способа формирования ярусов спутниковой системы лежит специальный выбор сочетаний большой полуоси, эксцентриситета и наклонения орбит спутников в этих ярусах, обеспечивающих одинаковую скорость прецессии восходящих узлов орбит для всех спутников такой многоярусной системы.

Для характеристики данного способа введем следующее определение: две или более орбит, будем называть *синхронизированными по прецессии узлов*, если они отличаются значениями большой полуоси, эксцентриситета и/или наклонения (всеми тремя или двумя из этих параметров) и имеют одинаковую скорость прецессии долгот узлов.

Предлагаемый способ формирования ярусов системы непосредственно вытекает из следующего *свойства рассматриваемых многоярусных спутниковых систем*: они характеризуется тем, что орбиты любых произвольно выбранных, по одному из m ярусов, m спутников системы являются синхронизированными по прецессии узлов.

Каждый ярус системы характеризуется своим значением большой полуоси, эксцентриситета и наклонения. Эти значения определяют величины векового ухода долгот восходящих узлов спутников яруса и величину драконического периода. Условие постоянства скорости прецессии восходящих узлов орбит всех спутников многоярусной системы задается соотношением:

$$\frac{\Delta\Omega_1}{T_{\Omega_1}} = \frac{\Delta\Omega_2}{T_{\Omega_2}} = \ldots = \frac{\Delta\Omega_m}{T_{\Omega_m}}. \tag{4}$$

Здесь $\Delta\Omega_1$ и T_{Ω_1} – вековые уходы и драконические периоды спутников, расположенных в различных ярусах системы (j=1, 2, … , m). Их значения для эллиптических и круговых орбит вычисляются по формулам [1]:

для эллиптических орбит

$$T_{\Omega_1} = 2\pi \frac{a_j^{3/2}}{\sqrt{\mu}} \left\{ 1 - \frac{\frac{3}{2} J_2 R_E^2}{a_j^2 \left(1 - e_j^2\right)^2} \left[\frac{10\cos^2 i_j - 2}{4} - \frac{3\cos^2 i_j - 1}{4} (1 - e_j^{\,2})^{1/2} \right] \right\}; \quad (5)$$

$$\Delta\Omega_j = -3\pi J_2 \frac{R_E^2}{a_j^2 (1 - \mathrm{e}_j^2)^2} \cos i_j; \quad (6)$$

для круговых орбит

$$T_{\Omega_1} = 2\pi \frac{r_j^{3/2}}{\sqrt{\mu}} \left[1 - \frac{3}{8} J_2 \left(\frac{R_E}{r} \right)^2 \left(7\cos^2 i - 1 \right) \right]; \quad (7)$$

$$\Delta\Omega_j = -3\pi J_2 \left(\frac{R_E}{r_j} \right)^2 \cos i_j \cdot \quad (8)$$

Методика расчета параметров многоярусных спутниковых систем на нодально-синхронных орбитах. С использованием выражений (5)-(8) могут быть получены следующие соотношения между параметрами эллиптических нодально-синхронных орбит спутников многоярусной системы, когда параметры a_1, e_1, i_1 орбит первого яруса полагаются фиксированными, а большая полуось, эксцентриситет и наклонение орбит j-го яруса (j=2,3, …, m) записаны в отклонениях Δa_j, Δe_j, Δi_j от соответствующих величин первого яруса:

$$f(a_1 + \Delta a_j, e_1 + \Delta e_j, i_1 + \Delta i_j) = \frac{\Delta\Omega_j (a_1 + \Delta a_j, e_1 + \Delta e_j, i_1 + \Delta i_j)}{T_{\Omega_j} (a_1 + \Delta a_j, e_1 + \Delta e_j, i_1 + \Delta i_j)} = C_{ЭЛ}, \quad j = \overline{2, m}, \quad (9)$$

$$C_{ЭЛ} = \frac{-3\pi J_2 \frac{R_E^2}{a_1^2 (1 - e_1^2)^2} \cos i_1}{2\pi \frac{a_1^{3/2}}{\sqrt{\mu}} \left\{ 1 - \frac{\frac{3}{2} J_2 R_E^2}{a_1^2 \left(1 - e_1^2\right)^2} \left[\frac{10\cos^2 i_1 - 2}{4} - \frac{3\cos^2 i_1 - 1}{4} (1 - e_1^{\,2})^{1/2} \right] \right\}}. \quad (10)$$

Для круговых орбит аналогичные выражения имеют вид:

$$\varphi(r_1 + \Delta r_j, i_1 + \Delta i_j) = \frac{\Delta\Omega_j (r_1 + \Delta r_j, i_1 + \Delta i_j)}{T_{\Omega_j} (r_1 + \Delta r_j, i_1 + \Delta i_j)} = C_{KP}, \quad j = \overline{2, m}, \quad (11)$$

$$C_{KP} = \frac{-3\pi J_2 \left(\frac{R_E}{r_1} \right)^2 \cos i_1}{2\pi \frac{r_j^{3/2}}{\sqrt{\mu}} \left[1 - \frac{3}{8} J_2 \left(\frac{R_E}{r} \right)^2 \left(7\cos^2 i - 1 \right) \right]}, \quad (12)$$

где r_1 и Δr_j – соответственно радиус орбиты первого яруса и отклонение от него по радиусу для орбиты j-го яруса (j=2,3, …, m).

Выражения (9) и (11) используются для определения параметров орбит каждого из ярусов, начиная со второго, путем синхронизации каждого последующего яруса относительно первого. Соотношение синхронизированности для эллиптических и круговых орбит характеризуется соответствующей константой (10) и (12).

Из приведенных выражений видно, что синхронизация ярусов спутников на эллиптических орбитах может быть достигнута за счет варьирования любыми двумя параметрами при постоянном третьем параметре из набора Δa_j, Δe_j, Δi_j. В частном случае возможно варьирование всеми тремя параметрами. Для круговых орбит таких варьируемых параметров всего два – Δr_j и Δi_j.

Таким образом, для каждого j-го (j=2,3, …, m) яруса спутниковой системы используется одно из двух уравнений:

$$f(a_1 + \Delta a_j, e_1 + \Delta e_j, i_1 + \Delta i_j) = C \quad (13)$$

для эллиптических орбит или

$$\varphi(r_1 + \Delta r_j, i_1 + \Delta i_j) = C \quad (14)$$

для круговых орбит, где

$$C = \begin{cases} C_{ЭЛ}, \text{ первый ярус на эллиптических орбитах;} \\ C_{КР}, \text{ первый ярус на круговых орбитах.} \end{cases}$$

Решение уравнений (13) и (14) осуществляется численными методами относительно одного из неизвестных Δa_j, Δe_j, Δi_j (эллиптические орбиты), или Δr_j, Δi_j (круговые орбиты) при наложении на оставшиеся неизвестные ограничений типа «равенство», исходя из имеющихся требований к спутниковой системе.

Рассмотренная методика может быть применена в ходе баллистического проектирования перспективных космических систем различного целевого назначения, когда в постановке задачи на баллистическое проектирование требуется или допускается использование круговых и/или эллиптических орбит с отличающимися геометрией и наклонением.

Список литературы

1. *F. Kalil* and *F. Martikan*, "Derivation of Nodal Period of an Earth Satellite and Comparison of Several First-order Secular Oblateness Results." AIAA Journal, September, 1963, pp. 2041–2046.

05.07.09

Ю.Н. Разумный д.т.н., П.Г. Козлов, В.Ю. Разумный

Московский авиационный институт (Национальный исследовательский университет),
Аэрокосмический факультет, кафедра 604 «Системный анализ и управление»,
Москва, yury.razoumny@gmail.com

АНАЛИЗ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ ЗАВИСИМОСТЕЙ ДЛЯ КРУГОВЫХ И ЭЛЛИПТИЧЕСКИХ ОРБИТ, ОБЛАДАЮЩИХ СВОЙСТВОМ НОДАЛЬНОЙ СИНХРОННОСТИ

В статье проводится анализ зависимостей между параметрами круговых и эллиптических нодально-синхронных орбит с точки зрения возможностей их практического применения для формирования многоярусных спутниковых систем различного целевого назначения. Приводятся численные данные и примеры расчета областей оптимизации параметров таких орбит. Описываются перспективные направления практического применения многоярусных спутниковых систем на круговых и/или эллиптических нодально-синхронных орбитах.

Ключевые слова: *орбиты искусственных спутников Земли, многоярусные спутниковые системы, круговые и эллиптические орбиты, нодально-синхронные орбиты.*

Введение. В статье [1] приведена методика расчета параметров многоярусных систем спутников на круговых и/или эллиптических нодально-синхронных орбитах. Использование таких орбитальных структур в практике баллистического проектирования перспективных спутниковых систем позволяет отойти от традиционной схемы построения спутниковых систем на орбитах с одинаковыми геометрией и наклонением, тем самым, с одной стороны, расширяя область оптимизации спутниковых систем, а с другой стороны – получая новые, не известные ранее эффективные варианты орбитальных построений для решения различных целевых задач. В связи с этим представляет практический интерес проведение анализа параметрических зависимостей круговых и эллиптических орбит, отличающихся свойством нодальной синхронности, а также определение перспективных направлений применения многоярусных спутниковых систем, построенных на таких орбитах. Исследованию данных вопросов посвящена настоящая статья.

Постановка задачи исследования. Принимая во внимание особенности нодально-синхронных орбит и используемых методических принципов построения многоярусных спутниковых систем, изложенные в [1], анализ параметрических зависимостей для общего случая эллиптических нодально-синхронных орбит целесообразно проводить на основе анализа сдвигов большой полуоси Δa_j, эксцентриситета Δe_j и наклонения Δi_j некоторого *j*-го яруса системы относительно фиксированных значений большой полуоси a_1, эксцентриситета e_1 и наклонения i_1 орбит некоторого яруса системы, приятого за первый. С учетом этого целесообразно рассмотреть следующие области изменения параметров орбит спутников многоярусной системы, все ярусы которой построены на эллиптических орбитах:

$$\Delta i_j = const, \quad \Delta a_j = f_1(\Delta e_j / a_1, e_1, i_1, \Delta i_j), \tag{1}$$

$$\Delta a_j = const, \quad \Delta i_j = f_2(\Delta e_j / a_1, e_1, i_1, \Delta a_j), \tag{2}$$

$$\Delta e_j = const, \quad \Delta a_j = f_3(\Delta i_j / a_1, e_1, i_1, \Delta e_j), \tag{3}$$

В том случае, когда отдельные или все ярусы системы формируются на круговых орбитах, представляет интерес зависимость

$$\Delta r_j = f_r(\Delta i_j / r_1, i_1) \tag{4}$$

где r_1 и Δr_1 – соответственно радиус орбит в первом ярусе и сдвиг радиуса для орбит *j*-го яруса.

Исследование параметрических зависимостей (1)–(4) для нодально-синхронных орбит представляет практический интерес с точки зрения разработки новых методических подходов к оптимизации процедуры формирования многоярусных спутниковых систем по различным критериям. В ходе анализа указанных параметрических зависимостей для каждого *j*-го яруса системы относительно первого яруса для удобства в дальнейшем для обозначения *j*-го яруса системы вместо индекса “*j*” будем использовать индекс “2”.

Целью проводимого исследования является, с одной стороны, демонстрация многовариантности реализации различных типов многоярусных спутниковых систем и наличия возможности существенно расширить область оптимизации спутниковых систем по сравнению с традиционным подходом построения спутниковых систем на орбитах с одинаковыми геометрией и наклонением, а с другой стороны – определение рациональных областей оптимизации параметров нодально-синхронных орбит при формирования многоярусных систем в интересах решения различных практических задач.

Особенности параметрических зависимостей для круговых и эллиптических нодально-синхронных орбит. На Рис. 1 представлены зависимости величины изменения радиуса (высоты орбиты) в зависимости от величины изменения наклонения круговой орбиты, обеспечивающего нодальную синхронность. На Рис. 1а такие зависимости показаны для различных наклонений i_1 и фиксированной высоты H_1 орбиты первого яруса, а на Рис. 1б – для различных высот H_1 орбит и фиксированного наклонения i_1 орбиты первого яруса. Данные графики показывают, какие синхронизирующие «затраты» сдвига по высоте требуются для компенсации изменения поворота орбиты по наклонению. Из данного рисунка, в частности, следует, что при приближении наклонения к 90 градусам затраты на поднятие высот орбит второго яруса, необходимые для сохранения нодальной синхронности, увеличиваются, так как прецессия узлов орбит при таких наклонениях ослабляется. Аналогично, чем больше высота орбиты первого яруса, тем большие синхронизирующие затраты потребны для формирования последующих ярусов.

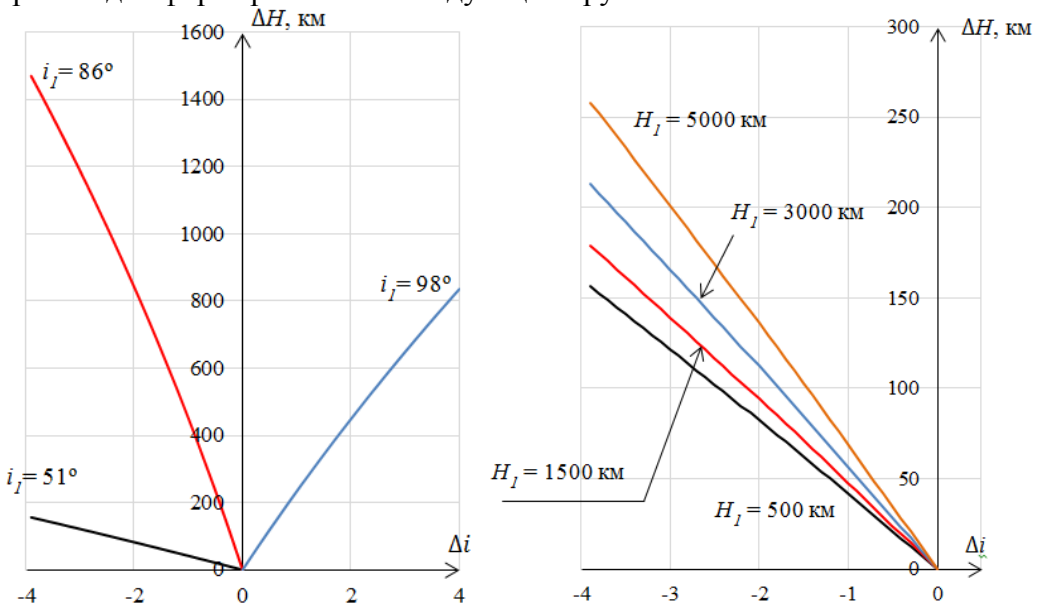


Рис. 1 – Анализ области возможного изменения сдвига радиуса от сдвига наклонения круговой орбиты, синхронизированной по прецессии узлов а) при различных наклонениях i_1 орбит спутников первого яруса (H_1 = 500 км) б) при различных высотах H_1 орбит спутников первого яруса (i_1 = 51 град)

Перейдем к анализу более сложного случая формирования многоярусных спутниковых систем на эллиптических орбитах. Рассмотрим три случая, соответствующие выражениям (1)–(3).

На Рис. 2 показано изменение синхронизирующих затрат в поле параметров $\Delta H_a, \Delta e$. При этом на Рис. 2а отклонение по наклонению фиксировано ненулевым, а на втором оно варьируется. Отсюда, в частности, видно, что с ростом большой полуоси орбит спутников первого яруса синхронизирующие затраты на формирование второго яруса возрастают: при фиксированном потребном изменении эксцентриситета приращение высоты апогея возрастает с ростом базовой полуоси. С увеличением H_a в пять раз наблюдается почти двукратное увеличение сдвига по высоте орбит ярусов.

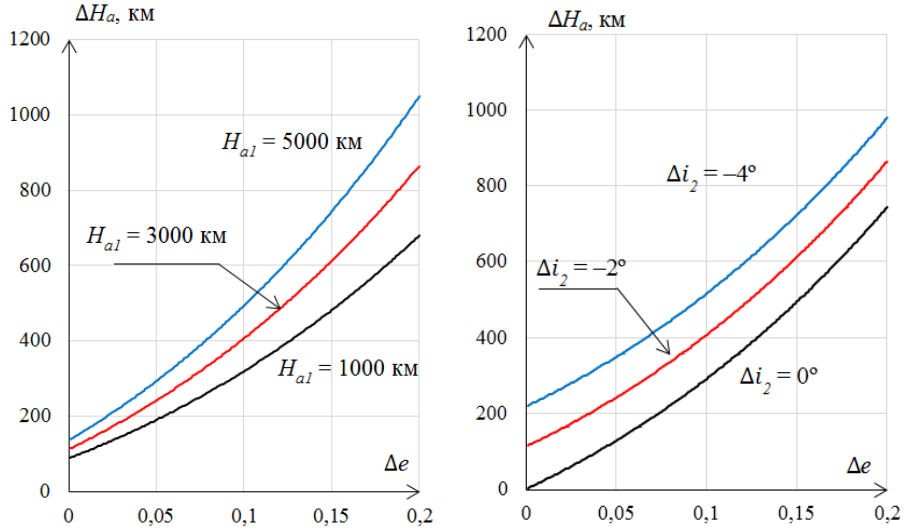


Рис. 2 – Анализ области возможного изменения сдвига по большой полуоси от сдвига по эксцентриситету эллиптической орбиты, синхронизированной по прецессии узлов а) при различных значениях большой полуоси a_1 орбит первого яруса ($e_1 = 0.2$; $i_1 = 51$ град; $\Delta i_2 = -2$ град) б) при различных сдвигах Δi_2 по наклонению орбит второго яруса ($H_{a1} = 3000$ км; $e_1 = 0.2$; $i_1 = 51$ град)

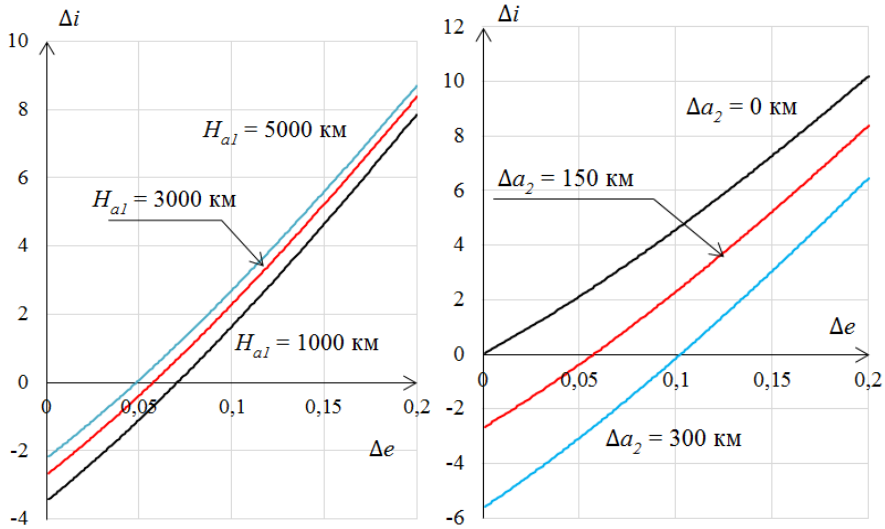


Рис. 3 – Анализ области возможного изменения сдвига по наклонению от сдвига по эксцентриситету эллиптической орбиты, синхронизированной по прецессии узлов а) при различных значениях большой полуоси a_1 орбит спутников первого яруса ($e_1 = 0.2$; $i_1 = 51$ град; $a_2 = 150$ км) б) при различных сдвигах Δa_2 по большой полуоси орбит второго яруса (H_{a1}=3000 км; $e_1 = 0.2$; i_1=51 град)

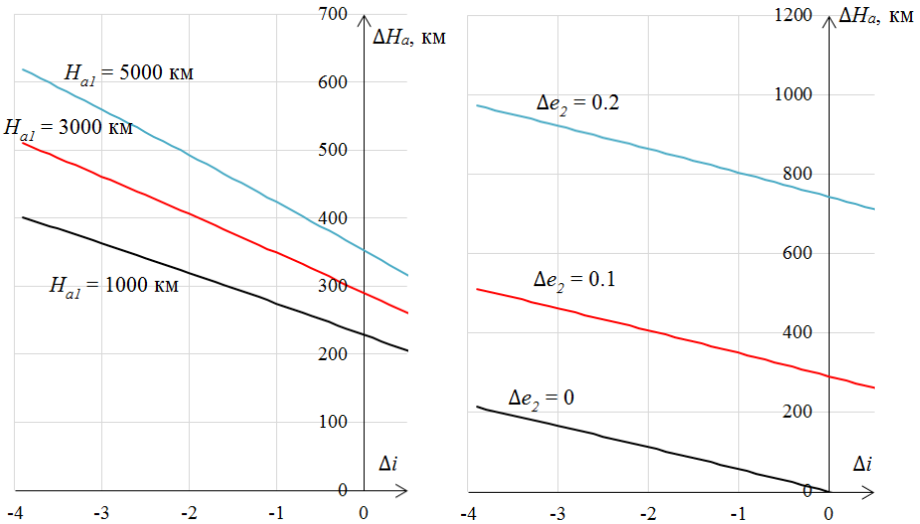


Рис. 4 – Анализ области возможного изменения сдвига по большой полуоси от сдвига по наклонению эллиптической орбиты, синхронизированной по прецессии узлов а) при различных значениях большой полуоси a_1 орбит спутников первого яруса (e_1 = 0.2; i_1 = 51 град; $\Delta e_2 = 0.1$) б) при различных сдвигах Δe_2 по эксцентриситету орбит второго яруса (H_{a1} = 3000 км; e_1=0.2; i_1 = 51 град)

Обратимся теперь к Рис. 3, где представлена область возможного изменения синхронизирующих параметров в поле параметров Δi, Δe. Из данного рисунка видно, что изменение сдвига по эксцентриситету приводит к увеличению сдвига по высоте, а рост большой полуоси орбиты первого яруса приводит к росту синхронизирующих затрат в данном параметрическом поле. Однако, отметим, что при варьировании также третьего параметра, Δa, возможны случаи, когда для синхронизации орбит многоярусной системы определенные значения отклонения эксцентриситета Δe не требуют для синхронизации изменения положения плоскости орбиты: отклонение $\Delta i = 0$.

В поле параметров $\Delta H_a, \Delta i$, показанном на Рис. 4, синхронизирующие сдвиги ведут себя аналогично случаю круговых орбит с поправкой на суперпозицию со сдвигом по эксцентриситету.

Приведенные на последних трех рисунках графики представляют собой наглядные срезы уровней соответствующих трехмерных поверхностей, определяющих границы изменения синхронизирующих затрат. Проведенный анализ показал, что при возникновении ограничений на варьирование какого-либо из параметров орбит j-го яруса достижение синхронизации возможно за счет варьирования третьей доступной величины. То есть, построение многоярусной спутниковой системы поливариантно и может учитывать особые требования к построению каждого яруса.

Рассмотренный анализ далеко не исчерпывает всех возможных вариантов оптимизации параметров многоярусных спутниковых систем на нодально-синхронных орбитах. Вместе с тем он указывает общее направление исследования таких систем, которое может быть с определенными видоизменениями применено в различных случаях баллистического проектирования перспективных космических систем различного целевого назначения.

Перспективные направления практического использования нодально-синхронных орбит. Важным направлением применения многоярусных спутниковых систем на круговых и эллиптических орбитах является их использование по различным назначениям, сводящимся в абстрактной постановке к *обзору Земли или околоземного космического пространства (дистанционное зондирование Земли, космическая навигация и связь, контроль околоземного пространства и др.).* Такие системы могут использоваться для осуществления непрерывного и периодического зонального (в частности, глобального) обзора, а также локального обзора заданных районов Земли или околоземного космического

пространства. Использование многоярусных спутниковых здесь дает дополнительные резервы повышения характеристик обзора в условиях заданного числа спутников в системе за счет расширения области оптимизации орбитальных структур при сохранении основного преимущества традиционных орбитальных построений, связанного с одинаковой прецессией узлов орбит спутников. Применение многоярусных систем позволяет по-новому переосмыслить ряд традиционных подходов к формированию спутниковых систем обзора Земли и околоземного пространства [2].

Многоярусная система из нескольких орбитальных станций, располагаемых в каждом ярусе на равномерно разнесенных по долготе восходящего узла орбитах и оснащаемых отделяемыми автономными управляемыми блоками, может быть использована для создания *перспективной системы технического обслуживания космических объектов на орбитах* в заданном слое околоземного космического пространства. За счет того, что размеры «зон ответственности» в околоземном пространстве таких станций на одинаково прецессирующих орбитах со временем меняться не будут, обслуживание космических объектов может быть выполнено наиболее эффективно с точки зрения минимума потребного запаса характеристической скорости на борту отделяемых от станций блоков (за счет минимизации затрат на изменение плоскостей орбит при перелете к обслуживаемым объектам) [3].

Авторам видится, что указанные направления применения систем спутников на нодально-синхронных орбитах далеко не исчерпываются приведенными двумя случаями и могут быть с успехом дополнены в перспективе решением задач инспекции функционирующих спутников, увода элементов космического мусора на безопасные орбиты, некоторых других перспективных задач современной космонавтики.

Список литературы

1. *Разумный Ю.Н., Козлов П.Г., Разумный В.Ю.* Методика расчета многоярусных спутниковых систем на круговых и эллиптических нодально синхронных орбитах. Научно-технический вестник Поволжья. – №3. – 2015.

2. *Разумный Ю.Н., Козлов П.Г., Разумный В.Ю., Мошнин А.А.* Способ наблюдения поверхности планеты из космоса и космическая спутниковая система для осуществления этого способа. Патент РФ на изобретение №2535375 с приоритетом от 18.10.2013.

3. *Разумный Ю.Н., Козлов П.Г., Разумный В.Ю. и др.* Космическая обслуживающая система и способ ее построения. Патент РФ на изобретение №2535760 с приоритетом от 18.10.2013.

05.13.18

А.Д. Резниченко, А.А. Аббакумов к.т.н., С.А. Панфилов д.т.н.

ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет»,
Саранск, me@wr.su, abbakumov_aa@mail.ru

СОЗДАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ НА БАЗЕ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СЕТЕЙ САЙТОВ

В работе рассматриваются принципы построения сетей сайтов с единым информационным пространством. Основной упор сделан на рассмотрение оптимальных методов организации взаимодействия между различными элементами сети.

Ключевые слова: *единое информационное пространство, сайт, сеть сайтов, социальные сети, ленты обновлений.*

Сеть Интернет стала наиболее важным и актуальным источником информации. Крупные сообщества и организации нуждаются в предоставлении своей информации, разбитой по различным отраслям деятельности. В качестве критериев этого разделения может выступать территориальное расположение, сфера деятельности различных подразделений организации, отдельные персоналии и т.д. [1]. Информатизация образования является одним из приоритетных направлений государственной политики в Российской Федерации. Данный факт подтверждается реализацией федеральных целевых программ в области образования и науки и национального проекта "Образование". В условиях перехода к новой модели и повышения уровня образования возрастает потребность в обеспечении образовательных учреждений средствами автоматизации и информатизации деятельности их различных структурных подразделений [2].

В настоящее время набирает популярность тенденция объединения всей информации на одном крупном портале. Данный метод имеет несколько недостатков. Во-первых, поиск информации на данном ресурсе всегда затруднён из-за низкого качества встроенных поисковых средств и малым процентом индексирования сайта стандартными поисковыми системами. Во-вторых, подобный сайт требует колоссальных аппаратных ресурсов для поддержки его бесперебойного функционирования. Избежать данные затруднения позволит построение информационной системы на базе распределённой сети сайтов. Данная структура позволяет предоставить каждой структурной единице крупного информационного сообщества свой персональный интернет-ресурс и реализовать взаимодействие между всеми ресурсами, входящими в сеть, с помощью центрального сайта.

Распределённая сеть сайтов – совокупность веб-сайтов, объединённых общими информационным пространством, базами данных основных структурных единиц (пользователи, подразделения и пр), расположенных на различных хостинг-платформах, осуществляющих взаимосвязь на основе определённых протоколов. В данном случае организация (сообщество) рассматривается как совокупность некоторых структурных единиц (ячеек), объединённых с общим управляющим центром [3].

Основные признаки, по которым можно выделить распределённые сети сайтов среди множества различных интернет-ресурсов, следующие:

- наличие в рамках интернет-ресурса не менее чем 20 сайтов;
- тематическая взаимосвязь всех сайтов сети;
- единые авторизационные данные пользователей для всех сайтов сети;
- единые принципы работы системы управления сайтами;
- централизованное управление программным обеспечением сайтов;
- выделение единого для всех сайтов общего центрального ресурса;
- информационный обмен сайта-сателлита с центральным сайтом.

На основе рассмотренных признаков можно выделить основные принципы построения данных сетей сайтов: распределение составляющих частей, единая аутентификация,

центральный репозиторий, информационный обмен между сайтами. Подробнее данные принципы описаны в [3].

Авторизация пользователей на сайте осуществляется на основе алгоритма, базирующегося на открытом протоколе авторизации OAuth, который позволяет предоставить третьей стороне доступ к защищенным ресурсам пользователя, без передачи ей логина и пароля. OAuth позволяет скрипту веб-приложения получить ограниченный доступ к данным провайдера (центрального сайта системы), если пользователь разрешает [4]. Протокол для ускоренной регистрации OpenID позволяет пользователю без ввода пароля получить аккаунт на каком-либо сервисе, если он уже зарегистрирован где-то еще в интернете. Основным достоинством данных протоколов является безопасность данных пользователя и сложность перехвата его личной информации.

Центральный сайт и сайты-сателлиты связанны в единое информационное пространство. Для реализации этой связи, необходимо осуществление быстрого и удобного обмена информацией между сайтами в автоматическом режиме. Слабым местом существующей модели построения распределённых сетей сайтов является сложность сбора пользователем обновлений с множества сайтов сети. Поэтому необходима реализация специализированной платформы для удобного просмотра всех обновлений в реальном времени, обеспечивающая отображение всех обновлений на всех сайтах сети в специализированном разделе центрального сайта. Сайты автоматически уведомляют центральный сервер обо всех происходящих на них изменениях, тем самым в реальном времени формируя ленту новостей и обновлений для каждого. Пользователь может самостоятельно выбирать список сайтов, обновления с которых ему необходимо получать.

Каждый из сайтов изменяется администратором или посетителями ресурса. Администратор может создавать, изменять или удалять различные «элементы» на сайте (статьи, записи блога, фотографии, видео- и аудио файлы). Пользователи могут обсуждать заинтересовавшие их «элементы» сайта, тем самым создавая, редактируя или удаляя комментарии к ним. При каждом из указанных действий сайт порождает «событие», которое несёт в себе информацию об изменении.

Все изменения на сайтах собираются в единой ленте на центральном сайте сети. Если рассматривать сайт, как своеобразный интерфейс к базе данных, чем он, в сущности, и является, мы можем выделить несколько типов запросов. Данные запросы являются основой функционирования и администрирования сайта, все операции над сайтом могут быть так или иначе сведены к ним: получение элемента (SELECT * FROM … LIMIT 1), список элементов (SELECT … FROM … WHERE …), добавление элемента (INSERT), изменение элемента (UPDATE), удаление элемента (DELETE).

Первые два запроса не вносят никаких изменений в структуру сайта, соответственно, не порождают каких-либо событий на изменение. Таким образом, все изменения на сайте могут быть сведены к событиям трёх типов: добавление, удаление и редактирование. Основываясь на сказанном выше, каждый из сайтов может порождать шесть типов событий: создание элемента (ADD), редактирование элемента (EDIT), удаление элемента (DEL), создание комментария (COMMENT), редактирование комментария (RECOMMENT), удаление комментария (UNCOMMENT).

Для синхронизации комментариев между сайтом и лентой новостей, необходимо добавить ещё три дополнительных события, генерируемых центральным сайтом и обрабатываемых сайтами-сателлитами. Это сообщения создания, редактирования и удаления комментария в ленте новостей (соответственно, SITECOM, SITERECOM, SITEUNCOM). По своему составу они полностью аналогичны соответствующим сообщениям, генерируемым самим сайтом.

При возникновении события на сайтах, генерируется соответствующие им сообщения. За связь между сайтами-сателлитами и центральным сайтом сети отвечает специализированный выделенный сервер: сервер обработки сообщений. Важной задачей повышения эффективности работы распределённой сети сайтов является оптимизация доставки сообщений. За функционирование сервера обработки сообщений отвечают два процесса.

Первый процесс осуществляет приём и предварительную обработку сообщений, поступающих от сайтов. В очереди не может содержаться более одного сообщения, относящегося к одному и тому же элементу сайта. Второй процесс отвечает за выборку сообщений из очереди и их исполнение. За формирование очереди сообщений отвечают два параметра: приоритет и задержка. Исполняется сообщение с наивысшим приоритетом, у которого время задержки уже истекло или не было установлено. Сами параметры задержки и приоритета устанавливаются для сообщений в момент их обработки первым процессом. Данные параметры зависят от различных факторов и должны формироваться на основании аппарата нечёткой логики.

Алгоритм обработки поступающих на сервер сообщений, работает в два этапа. На первом определяются характеристики каждого из сайтов и сети в целом с некоторой периодичностью, а затем, на основе полученных характеристик, каждому сообщению выставляется параметры приоритета и задержки.

Первый этап оценки сайта и сети выполняется раз в несколько часов или после обработки каждой тысячи сообщений. Более точные показатели периодичности будут уточнены в ходе исследования. Входными параметрами на данном этапе являются параметры сообщений, обработанных определённым сайтом или всей сетью: тип сообщения, тип контента, время публикации. Выходными параметрами являются: частота публикации и кучность. Данные о времени прихода сообщения разбиваются в зависимости от типа контента: по одному типу на комментарии и каждый из типов записей (блог, статья, фото, видео и пр.). Частота публикации определяется количеством записей, опубликованных за определённый период времени. Данный параметр применим к записям всех типов.

Параметр «кучности» принимает следующие значения: нет, малая кучность и высокая кучность. Данный параметр принимает значение «нет» для всех сообщений редактирования и удаления, и для всех сообщений о комментариях. Для определения «кучности» анализируются идущие друг за другом пары сообщений создания элементов, разбитые по типам. Для каждой пары подсчитывается разница во времени между публикацией. Показатель малой кучности (k) считается как отношение количества сообщений с разницей меньше пяти минут (параметр a) к общему количеству сообщений, параметр высокой кучности определяется аналогично для разницы в одну минуту (аналогично, параметр a).

$$k = \frac{\sum_{i=2}^{n} t_i - t_{i-1} < a}{n-1}$$

Второй этап обработки сообщения происходит непосредственно в момент его получения. В качестве входных параметров выступают: тип сообщения (создание, редактирование и удаление), тип контента (комментарий, различные типы записей), частота публикации (часто, средне, редко), «кучность» публикации. Выходными параметрами являются приоритет сообщения и задержка. Приоритет сообщения принимает значения «важное», «среднее», «не важное» в словестной формулировке, и значения от 100 до 700 (500-1000 для комментариев) в числовой форме. Задержка может отсутствовать либо принимать значения «задержать слабо» или «задержать сильно». Для каждого из сайтов формируется две «группы задержки» - для сильной и слабой задержки соответственно. Слабая группа может быть задержана не более чем на 1 минуту с поступления первого сообщения в группу. Задержка сильной группы – до 5 минут. При поступлении первого сообщения, для сайта задаётся значение соответствующей группы, равное времени поступления данного сообщения плюс 1 или 5 минут. Данное значение становится временем публикации поступившего сообщения. Все последующие задерживаемые сообщения получают такое же время публикации, до момента истечения этого времени. После истечения времени оно обнуляется и снова выводится из следующего поступающего сообщения.

Для сообщений создания алгоритм определения приоритета и задержки значительно усложняется. В зависимости от типа контента (пост или комментарий) алгоритм действует по-разному. Обработка сообщений на создание постов зависит от параметра кучности.

В результате обработки каждому из сообщений присваивается параметр приоритета и задержки. Задержка берётся из соответствующих групп задержки для сайта. Приоритет для постов выставляется в диапазоне от 100 до 700. Для комментариев приоритет преобразуется по формуле:

$$prio_{comment} = 500 + 500 \cdot \frac{prio_{post} - 100}{600}$$

Использование данного алгоритма обработки сообщений позволяет исключить излишние обращения API-сервера к центральному сайту, тем самым снизив нагрузку на него. Сокращение количества изменений ленты новостей сайта увеличивает эффективность используемых алгоритмов кеширования данной ленты новостей, сокращая число запросов на получение новой ленты взамен «устаревшей», содержащейся в кэше.

Указанные принципы реализованы в составе программного продукта AlterVision CMS Core. Ядро сети состоит из трёх основных компонентов: центрального сайта сети, контент-сервера и API-сервера. В случае работы в малой сети сайтов, для развёртывания всех компонентов может быть использован один физический или виртуальный сервер. Для работы с высоконагруженной сетью может потребоваться разделение и дублирование компонентов. Схема развёртывания сети представлена на рисунке 1. Сеть указанной структуры может быть использована для обслуживания крупных информационных систем.

В целях исследования, была разработана и запущена сеть «Клуб Писателей». Всё пространство сети разделяется на два крупных блока – центральный блок социальной сети Клуб Писателей, сайт www.writer-club.ru, и сеть персональных сайтов авторов, а также писательский форум – forum.writer-club.ru и книжный интернет-магазин – shop.writer-club.ru.

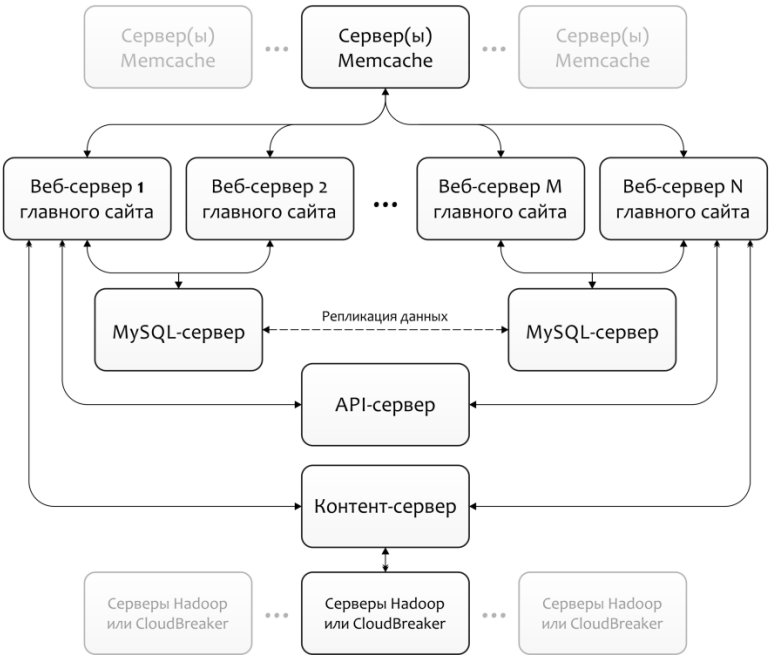


Рис. 1 – Схема развёртывания для крупной сети

Приведенная выше архитектура позволяет совместить в себе достоинства социальных сетей и обособленных сайтов. С одной стороны, ресурсы центрального сайта позволяют осуществлять мониторинг обновлений и обсуждение опубликованных материалов в привычном для многих формате социальных сетей. С другой стороны, использование в качестве структурных единиц стандартных сайтов вместо урезанных социальных страниц позволяет обеспечить удобный поиск информации штатными средствами поисковых систем и тем самым максимизировать аудиторию потребителей размещаемого в сети материала.

Высокая производительность и низкая ресурсоёмкость представленной технологии позволяет использовать её не только в дорогостоящих коммерческих, но и в социальных проектах. Одним из примеров её применения может быть создание единой сети

образовательных сайтов вуза, включающей в себя сайты всех факультетов, смежных учреждений, персональные ресурсы преподавателей и единый центральный ресурс.

Список литературы

1. *Васенев С.Л., Акатьев Д.А., Абрамова А.И.* Развитие IT-организаций малых городов, проблемы организации производства и управления // Инженерный вестник Дона, 2015, №1(2). URL: http://www.ivdon.ru/ru/magazine/issue/118 (дата обращения: 03.03.15)
2. *Аббакумов А.А., Егунова А.И., Таланов В.М.* Применение технологий "1С" для повышения эффективности деятельности организаций образования // Сборник научных трудов 15-й международной научно-практической конференции "Новые информационные технологии в образовании". 2015. С. 61 – 63.
3. *Резниченко А.Д.* Технология построения распределённых сетей сайтов // Электронное научное издание "Электроника и информационные технологии". 2011г. №1 (10). URL: http://fetmag.mrsu.ru/2011-1/pdf/distributed-site-networks-theory.pdf (дата обращения: 03.03.15)
4. *Mark Ciampa.* Security + Guide To Network Security Fundamentals. 4th Edition. CourseTechnology - 2012. - С - 400.

05.13.01

А.А. Родькин

Набережночелнинский институт (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет», кафедра «Системный анализ и информатика», Набережные Челны, temnyi@gmail.com

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ РАБОТЫ АЛГОРИТМА РАСПОЗНАВАНИЯ НОМЕРА ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ВИОЛЫ-ДЖОНСА

В данной статье описываются основные последовательности применения алгоритмов распознавания номера в видеопотоке, а так же применямое для реализации алгоритмов программное обеспечение.

Ключевые слова: *автономные транспортные роботы; алгоритмы машинного зрения; распознавание.*

На данный момент наблюдается значительный рост рынка автономных мобильных роботов [1, 2, 3] для использования как в обычных, так и в сложных, быстро меняющихся условиях. Существует большое количество областей человеческой деятельности, где желательной является замена оператора-человека на автономного мобильного робота. Исследованиям в этой области посвящено большое количество научных работ, что привело к значительному прогрессу в разработке алгоритмов для автономных мобильных роботов.

Как первое приближение к решению глобальной задачи создания алгоритмов управления автоматизированным мобильным объектом может быть рассмотрена задача распознавания номера впереди едущего транспортного средства [1]. Номер потребуется для однозначной идентификации «ведущего» всей группы, а также служит «маркером» движения. Также с помощью разработанного алгоритма при использовании определённого набора классифицирующих признаков может осуществляться распознавание других типов объектов, служащих маркерами движения (дорога, тропа), или распознанных как препятствия (камни, деревья, реки).

Целью данной работы является модификация ранее разработанного алгоритма [1] при помощи модифицированного метода Виолы-Джонса с целью повышения точности работы и повышения процента эффективного распознавания номерных знаков. Как дополнение — предложим такой вариант, чтобы время исполнения алгоритма оставалось в тех же временных рамках, что и до модификации, а саму модификацию, таким образом, будем производить за счёт повышения требований к минимальной необходимой для работы вычислительной мощи.

Был проведен анализ существующих на Российском рынке программных продуктов определения номерных знаков. Эти коммерческие проекты имеют довольно высокую стоимость €1500 — 3000. Заявленная точность распознавания обычно завышена и не совпадает с реальной. При испытании демо-версий надежно распознаются лишь чистые номера высокой контрастности и относительно большого разрешения. В итоге на заявленную точность 90-98%, приходится реальная — 80-87% [1, 2].

Используемые алгоритмы локализации и распознавания номерных знаков естественно не публикуются, лишь некоторые компании называют их типы. Для распознавания обычно используют нейро-подобные и шаблонные алгоритмы.

Весомым ограничивающим фактором на цель использования системы является максимальная скорость автомобиля, при которой программа способна локализовать и распознать номер на движущемся транспорте. На что влияют во-первых способ установки камеры — высота и наклон; а во-вторых быстродействие обработки изображения автомобиля [4, 5, 6].

Решение многих проблем науки и практики приводит к необходимости извлечения полезной информации из различного рода многомерных данных, которые, по аналогии с оптическими изображениями, будем называть многомерными изображениями или просто изображениями [7]. Характерно, что эти задачи приходится решать при наличии различного рода мешающих факторов – помех, переменчивости условий наблюдения, динамики наблюдаемого объекта, взаимного перемещения приемника и объекта и т.п. Полезный сигнал может быть очень слаб по отношению к помехам и визуально неразличим. Нередко объем исходных данных очень велик, они поступают с большой скоростью и требуют обработки в режиме реального времени. Единственным выходом из такой ситуации является компьютерная обработка изображений. Для этого необходимо создание соответствующих математических методов описания и обработки изображений, а также программного обеспечения применительно к конкретным задачам.

Несмотря на огромное разнообразие практических задач обработки изображений, они сводятся к небольшому количеству следующих основных задач [7].

1) Фильтрация и улучшение визуального восприятия. Как уже отмечалось, полезное изображение может наблюдаться на фоне различных помех, которые и требуется по возможности ослабить. Кроме того, может потребоваться сделать изображение более контрастным, выделить контуры и т. д.

2) Обнаружение объектов и их идентификация. Требуется на фоне мешающих изображений найти интересующие нас объекты. Если таких объектов может быть несколько типов, то дополнительно нужно их классифицировать. В качестве примеров можно привести распознавание номеров проезжающих автомобилей, обнаружение и идентификацию летательных аппаратов и т. д. Иногда задача обнаружения ставится менее определенно – требуется обнаружить аномалии, т. е. участки изображений, чем-то отличающиеся от своего окружения [7].

3) Оценка геометрических трансформаций и совмещение изображений. В процессе наблюдения все изображения или отдельные его части могут перемещаться из-за динамики сцены, движения приемника. Таким образом, одни и те же части изображений находятся на наблюдаемых кадрах в разных местах, т.е. имеются геометрические трансформации изображений. Требуется оценить геометрические трансформации, т. е. совместить элементы одного изображения с соответствующими им элементами на другом [7].

4) Сжатие изображений. Большой объем и высокая скорость поступления данных ставят повышенные требования к накопителям и каналам передачи изображений. Использование специфики изображений часто дает возможность достигнуть значительно большего сжатия, чем это позволяют обычные архиваторы.

Кроме перечисленных задач собственно обработки, иногда возникает задача их понимания, т. е. «а что бы это значило и какие отсюда следуют выводы?»

В свою очередь, узкую задачу распознавания номера можно декомпозировать до нескольких мини-задач (каждая со своим собственным алгоритмом). При этом часть этих мини-задач можно возложить на оборудование и программное обеспечение сторонних производителей (применяя их в качестве т.н. «чёрных ящиков»).

Предлагаемая связь модуля видеозахвата и распознавания номера с оборудованием, функциями захвата и кодеками, а также другим дополнительным программным обеспечением сторонних производителей и разработчиков в наиболее общем виде представлена на рисунке 1:

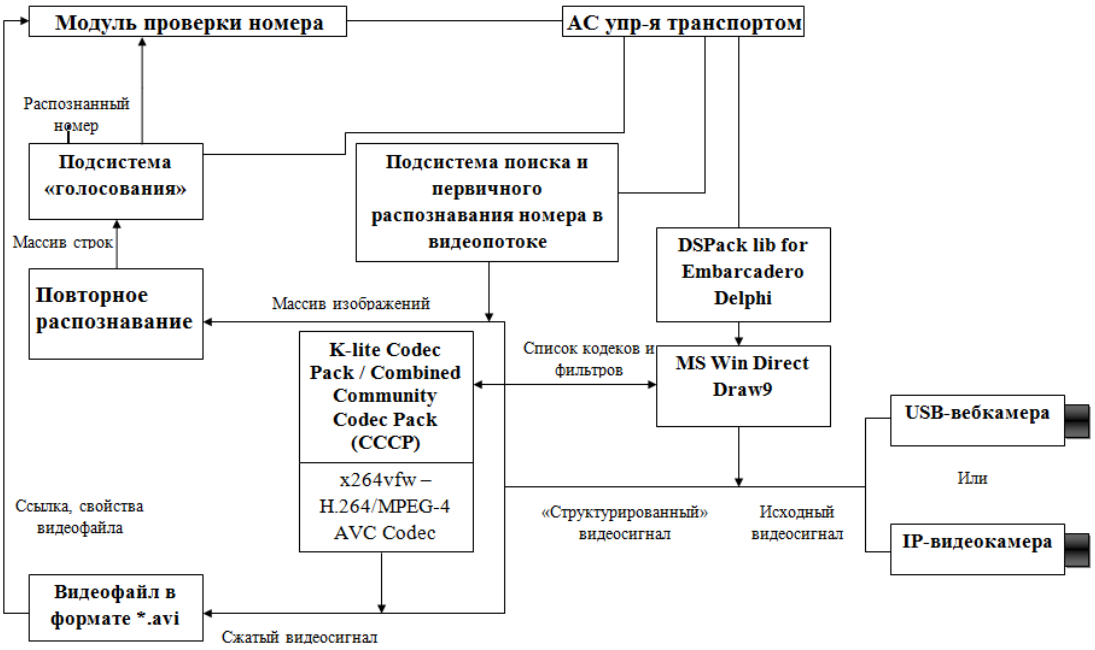


Рис. 1 — Схема связи модуля распознавания номера с оборудованием и внешним программным обеспечением

Таким образом, сигнал может поступать как с USB-вебкамеры, так и с IP-видеокамеры., далее система с помощью функций MS DirectDraw9 получает доступ к отдельным кадрам или всему видеопотоку. Видеопоток кодируется сжимается и записывается на носитель в режиме «на лету». При использовании указанного выше кодека суточный объём видеоданных составляет около 4-10 Гб (в зависимости от разрешения). С помощью подсистемы определения номера АС получает момент его появления в кадре, кадры этого момента времени передаются алгоритму уточнения и с помощью подсистемы «голосования» определяется номер.

Алгоритм поиска номера в видеопотоке состоит из нескольких этапов:

1. Сканировать изображение до появления чего-нибудь, похожего на номер;
2. Найти номер на первом годном кадре;
3. Отследить положение номера на 10 кадрах;
4. Попытаться распознать номер на каждом кадре;
5. Провести голосование между кадрами за итоговый номер
6. Выдать результат.

В свою очередь, алгоритм определения области номерного знака в кадре (1, 2 этапы вышеописанной последовательности) состоит из следующих этапов:

– Линейное растяжение;
– Медианная фильтрация;
– Фильтр Laplacian of Gaussian;
– Бинаризация;
– Морфологичекое раскрытие;
– Раскраска сегментов (в самом алгоритме не применяется, сделана для наглядности — позволяет оценить работу всего набора фильтров, направленного на превращение кадра в совокупность замкнутых контуров).

Рис. 2 — этапы работы алгоритма определения области номерного знака

Следует заметить, что этот алгоритм не предназначен для распознавания цифровых и буквенных знаков на номере, а лишь для первичного выявления возможной области номера в пределах кадра, с целью последующей передачи более точным и ресурсоемким алгоритмам (и/или стороннему ПО для распознавания).

Так же на первом и втором этапах в качестве дополнительного алгоритма воспользуемся методом Виолы-Джонса для поиска границ номера в исходном кадре [8]. Ключевой момент — это использование каскадной модели (или вырожденного дерева принятия решений): в каждом узле дерева с помощью каскада принимается решение — может ли на изображении содержатся объект или нет. Если объект не содержится, то алгоритм заканчивает свою работу, если он может содержаться, то выполняется переход к последующему узлу. Обучение построено таким образом, чтобы на начальных уровнях с наименьшими затратами отбрасывать большую часть окон, в которых не может содержаться объект. В случае распознавания автомобильных номеров первый уровень содержит шесть классификаторов [9].

Следует учесть, что высокая скорость обсчета признака не компенсирует значительное количество различных возможных признаков. Поэтому с методом Виолы-Джонса используется вариация алгоритма обучения AdaBoost [10], как для выбора признаков, так и для настройки классификаторов. Мы же воспользуемся следующим решением: ограничим время работы алгоритма Виолы-Джонса временем, которое первый вычислительный поток центрального процессора потратит на обработку изображения вышеупомянутыми фильтрами (линейное растяжение, медианная фильтрация, фильтр Laplacian of Gaussian, бинаризация, морфологичекое раскрытие). При завершении работы первого алгоритма — оборвём выполнение второго (выполняемого за счёт второго вычислительного потока) и совместим координаты границ объектов, найденных первым и вторым методами. Пересечения карт этих уровней дадут карту возможных областей местонахождения номера со значительно выросшей вероятностью.

Время ограничивается для того, чтобы выигрыш в точности поиска номерной пластины в пределах кадра не привёл к увеличению времени поиска, что критично для дальнейших этапов распознавания. В то же время требуется фактическое удвоение минимальной требуемой вычислительной мощи, что компенсируется выбором более мощного ЦПУ, обладающего двумя вычислительными потоками.

Рис. 3 — работа алгоритма Виолы-Джонса (уровень 3)

Дальнейшее распознавание цифр и букв на номерном знаке происходит следующим образом:

1. С помощью подпрограммы распознавания находим в области номера цифры и буквы (сам алгоритм работает, как уже упоминалось, на уровне сравнения с готовыми образцами);
2. Повторный запуск алгоритма распознавания с целью исключения ошибок (только для найденных областей цифр, а не для всей области пластины);
3. Полученные на 10 кадрах номера сравниваются, набравшие большинство голосов символы передаются далее, для использования той или иной АС.

Рис. 4 — полное распознавание номера через алгоритм сравнения с образцами

Таким образом, в ходе работы модифицированного алгоритма пройден полный цикл распознавания номерного знака. В ходе тестов на базе из 1400 номерных знаков при среднем времени в 800 мс на номер точность распознавания составила 94,8%.

Недостатком алгоритма выступает его возросшая по сравнению с протестированными аналогами ресурсоёмкость (требуется двухпоточный процессор), а так же время распознавания в 800 мс. В то же время удалось значительно увеличить эффективный процент распознавания до ~95%.

Список литературы

1. *Родькин А.А.*, Разработка и исследование математических моделей и алгоритмов распознавания номера транспортного средства, Материалы Международной научно-технической конференции "Инновационные машиностроительные технологии, оборудование и материалы - 2014" (МНТК "ИМТОМ-2014"), посвященной 90-летию со дня рождения Юнусова Файзрахмана Салаховича. Ч. 2. - Казань, 2014. -С. 104-108.
2. *Umit Ozguner, Tankut Acarman, Keith Alan Redmill*, Autonomous Ground Vehicles, Artech House, 2011, 288 стр.
3. *Лисицкий Д.Н.*, Разработка алгоритмов управления движением автономных мобильных роботов, автореферат диссертации, 2012
4. *Jahne, B., Haussbecker, H.*, Computer Vision and Applications, Academic Press, 2000.
5. *Конушин, А.* Введение в компьютерное зрение — курс лекций [Электронный ресурс] URL: http://coursesgraphiconru/main/cvint.
6. *Батанов, П.* Распознавание регистрационных номеров с автомобилей с помощью Simulink MatLab [Электронный ресурс] URL: http://habrahabr.ru/blogs/image_processing/114529/
7. *Крашенинников В.Р.* Основы теории обработки изображений: Учебное пособие. – Ульяновск: УлГТУ, 2003. – 150 с.
8. *Viola P., Jones M.*, Robust real-time face detection. IJCV 57(2), 2004
9. *Lienhart R., Kuranov E., Pisarevsky V.*: Empirical analysis of detection cascades of boosted classifiers for rapid object detection. In: PRS 2003
10. A decision-theoretic generalization of on-line learning and an application to boosting Journal of Computer and System Sciences, no. 55. 1997

05.13.19

Е.Н. Созинова к.т.н., А.А. Медведев

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики,
факультет «Институт комплексного военного образования»,
кафедра мониторинга и прогнозирования информационных угроз,
Санкт-Петербург, s.ekaterina-nik@mail.ru, a.medvedev.spb@mail.ru

РИСК-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ПОДХОД К ПРОВЕДЕНИЮ АУДИТА ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

В статье рассматривается влияние рисков на информационную безопасность организаций, важность и необходимость риск-ориентированного подхода к аудиту информационной безопасности.

Ключевые слова: *информационная безопасность, риск, аудит, управление информационной безопасностью.*

На данный момент наиболее часто можно услышать словосочетание «риск-ориентированный аудит». Риск-ориентированный аудит – это анализ и оценка аудиторского риска, это риск, что аудитор выразит ненадлежащее аудиторское мнение. Словосочетание «риск-ориентированный подход к проведению аудита информационной безопасности» - имеет совершенно другой смысл. Анализ литературы, посвященной проблемам риск-ориентированного подхода к проведению аудита, позволяет сделать вывод о том, что к настоящему времени, еще не сформировалось точное определение данного термина и структура подобного аудита. В настоящее время, данное словосочетание в таком виде используется очень редко.

Наиболее часто под риск-ориентированным подходом к проведению аудита понимается:

- аудит посредством применения всех методов риск-менеджмента;
- аудит, направленный на риски и процесс управления рисками в качестве целей аудита;
- это методология, позволяющая соединить аудит и общую систему управления рисками организации;
- это основанный на риске аудит, позволяющий менеджменту организации получить независимое и объективное мнение, на каком уровне происходит управление рисками.

В том, что риски играют очень важную роль, сомнений не возникает. Раньше это были кредитные, финансовые, экономические, коммерческие и производственные риски. Теперь, с развитием информационного общества, появился и новый вид риска – информационный риск. Управление собственными информационными рисками — важнейшая задача любой организации. Риск присутствует в любой экономической деятельности и без должного внимания к данной области, не может существовать ни один бизнес. Существует бесчисленное множество видов и типов риска, поэтому любая классификация рисков весьма условна, так как границу между отдельными видами риска можно провести весьма приблизительно. Многие риски взаимосвязаны, и изменения в одном из них, вызывают изменения в другом, но все они, в конечном счете, влияют на результаты деятельности организации и соответственно требуют оценки и управления. Особенностью риска ИБ является то, что он зависит от большого количества факторов. Из всех рисков, риски ИБ наиболее сложные по своей природе, имеют самую большую неопределенность как по рисковым событиям, так и по наносимому ущербу. Поэтому факторные модели рисков ИБ имеют большую размерность и разнообразные причинно-следственные связи и отношения по сравнению с другими рисками.

Управление рисками является фундаментальным элементом в управлении организацией. Управление рисками внутри организации дает достаточно много преимуществ в результате

своего структурированного, последовательного и скоординированного подхода. Именно поэтому, на наш взгляд, аудит информационной безопасности должен быть ориентирован на информационные риски. А в качестве объектов аудита должны рассматриваться не только финансовые документы, но и бизнес-процессы, и бизнес-среда, и связанные с ними риски.

В современных условиях выдвигаются дополнительные требования к процедурам и методам обеспечения и проведения аудита информационной безопасности. Инструментарием для проведения аудита должна стать теория управления рисками и выстроенная на ее базе методология внутреннего контроля и аудита, что позволит своевременно выявлять и анализировать проблемы организации, формировать рациональный план проверки и эффективно распределять ресурсы. В связи с этим, необходимо использовать новейшие методики и научно-обоснованные методы выявления рисков, проведения оценки и ранжирования рисков по степени значимости, наличие критериев выбора эффективных методов управления информационными рисками.

Использование и совершенствование существующих методик и моделей выявления актуальных для организации рисков, их качественной и количественной оценке, управления внутренними рисками, позволит организациям снизить свои риски с одновременным повышением качества выполняемых работ, повысить эффективность систем обеспечения информационной безопасности, выполнить требования законодательства и внутренних регламентирующих документов, а также усилить предупредительный характер работы по выявлению источников рисков, уязвимостей и угроз.

Основываясь на вышеперечисленных факторах и анализах, можно уточнить и сформулировать понятие «риск-ориентированный подход к проведению аудита информационной безопасности».

Риск ориентированный подход к аудиту информационной безопасности – это когда обеспечение и проведение аудита информационной безопасности базируется и ориентируется на информационных рисках организации.

При таком подходе на основе расчетно-аналитических методов производится анализ и оценка информационных рисков, что позволяет получить объективные качественные и количественные оценки о текущем состоянии информационной безопасности организации. Опираясь на полученные в ходе аудита результаты, аудитор определяет для организации индивидуальный набор требований информационной безопасности, в наибольшей степени учитывающий особенности организации, среды ее функционирования и существующие в данной среде уязвимости и угрозы информационной безопасности.

Используя риск-ориентированный подход к проведению аудита информационной безопасности, можно:

- оценить текущее состояния информационной безопасности организации;
- выявить недостатки и определить направления развития системы защиты информации;
- систематизировать уязвимости, угрозы и риски информационной безопасности организации;
- спрогнозировать и минимизировать влияние рисков, угроз и уязвимостей, а также управлять их влиянием на бизнес-процессы организации;
- оценить степени соответствия ИБ организации выбранным критериям аудита;
- провести контроль эффективности вложений в обеспечение информационной безопасности организации;
- проконтролировать и оценить реализацию мероприятий по обеспечению информационной безопасности организации;
- и многое другое.

Таким образом, аудит информационной безопасности, основанный на риск-ориентированном подходе позволит руководителям организации получить взгляд со стороны на деятельность компании в целом, а также понять, какие шаги необходимо предпринять для повышения эффективности ее работы. Аудит информационной безопасности, основанный на

риск-ориентированном подходе позволяет дать оценку защищенности компании, выявить риски, создать и (или) скорректировать план мероприятий по минимизации рисков, улучшить взаимодействие отделов, ответственных за контроль и управление рисками и т. д.

Риск-ориентированный подход к аудиту информационной безопасности в данный момент времени и в ближайшие десятилетия – будет наиболее правильным и эффективным.

Список литературы

1. Астахов А.М. Искусство управления информационными рисками. - ДМК Пресс, 2010. - 314 с.
2. Созинова Е.Н. Метод проведения внутреннего аудита информационной безопасности организаций на основе риск-ориентированного подхода / Е.Н. Созинова // В мире научных открытий. – 2013. - №10. - С. 11-24.
3. Проскурняков А.М. Оценка аудиторского риска // Аудитор. – 2008. – № 12. – С. 16-25.
4. Новоселов И.В. Основанный на риске внутренний аудит – современное направление развития внутреннего аудита // Известия ИГЭА. - 2009. - №4.
5. Г.П. Жигулин, А.С. Бузинов, Р.И. Шабаев. Программное моделирование и прогнозирование информационных угроз : учебно-метод. пособие / М-во образования и науки РФ, СПбГУ ИТМО, Каф. мониторинга и прогнозирования информационных угроз .— СПб. : СПбГУ ИТМО, 2011 .— 176 с.

05.13.18

В.А. Столярчук

Московский авиационный институт (Национальный исследовательский университет),
аэрокосмический факультет, кафедра прикладной информатики,
Москва, stolyarchukva609@mail.ru

ПОДДЕРЖКА ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОБИЛЬНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ

В работе представлено описание пилотного проекта информационной поддержки НИОКР ракетно-космической техники на базе кроссплатформенного мобильного приложения. В проекте решены задачи синхронизации данных на нескольких устройствах (без участия пользователя), а также реализовано обеспечение централизованного хранения и обновление информации на сервере.

Ключевые слова: *единая информационная среда, мобильное устройство, кроссплатформенное мобильное приложение, виртуальный научный центр.*

Одним из факторов повышения эффективности профессиональной деятельности исследователей и разработчиков ракетно-космических систем является использование широкой кооперации исполнителей и интеграции их научно-технических заделов на основе концепции единой информационной среды [1].

Реализовать такую координацию можно путём информационного обмена на основе единых баз данных с системами удаленного ввода, синхронизации и обмена информацией о ходе исследований и разработок.

Одной из возможностей обеспечения удаленного доступа к системам информационной поддержки жизненного цикла сложных технических систем являются мобильные устройства. Мобильные устройства рассматриваются далее как инструмент поддержания НИОКР

В настоящее время мобильные устройства образуют крайне динамичный рынок. По состоянию на начало 2013 года, всего в мире имелось около 4.3 млрд мобильных устройств, подключенных к сети Интернет. В 2014 году этот показатель сравнялся с численностью населения Земли, а в 2017 таких устройств будет уже 10 млрд. Объем трафика, генерируемого мобильными устройствами, достигает 1.6 эксабайт/месяц, и, по прогнозам, будет только расти.[2]

Такая ситуация вполне предсказуема – мобильные устройства изначально создавались для упрощения обмена актуальной информацией с целью принятия правильных решений в любом виде деятельности человека. Поэтому все больше компаний используют мобильные устройства в бизнесе. Появляются реализации для поддержки научных исследований, экспериментальных работ, ремонтных и сборочных работ с применением смартфонов и планшетов. На повестке дня применение мобильных технологий для работ связанных с возможностью ввода, обмена и получения данных при выполнении НИОКР.

Ограниченность емкости памяти и вычислительной мощности мобильных устройств преодолевается за счет использования облачных приложений.

По данным Vmware [3], в 2014 году около 20% российских сотрудников стали полностью мобильными. Этот показатель достигнет 40% в течение последующих пяти лет. В среднесрочной перспективе бизнес-системы будут активно мигрировать на мобильные платформы.

По сфере использования мобильные приложения можно разделить на:

- специализированные – направленные на внутреннюю организацию рабочего процесса компаний и недоступные широкой аудитории;
- дополнительные, цель которых – повышение ценности основных продуктов;
- общедоступные для широкого круга пользователей, являющиеся самостоятельным продуктом.

Использование мобильных устройств, а также специализированных приложений на стадии НИОКР упрощает коммуникации между персоналом, позволяет повысить скорость обмена информацией, степень контроля выполнения этапов разработки, а так же сократить время согласования принятия решений. Структурность этапов разработки новой продукции в отдельных областях производства стимулирует создание специализированных приложений, учитывающих специфику отрасли и сокращающих время выполнения подзадач. Являясь одним из способов обеспечения единого информационного пространства, мобильные приложения унифицируют электронный документооборот, что ускоряет анализ и обработку данных в дальнейшем.

Немаловажным аспектом является скорость передачи информации.

Неактуальная информация может привести к решениям худшим, чем ее полное отсутствие. Передача данных должна идти непосредственно из той точки, где они получены – например, из лаборатории, отдела, цеха.

Фактором, ограничивающим возможность применения технологии мобильного ввода данных, является информационная безопасность. Поэтому для использования мобильного ввода данных потребуется некоторое компромиссное решение, устраивающее пользователей и отвечающее нужным стандартам безопасности.

Предел возможностей мобильных устройств как инструментов по быстрому обмену информацией и своевременному доступу к ней определяется функционалом прикладных программ, доступных на таких устройствах. Такие программы создаются сторонними разработчиками для популярных операционных систем мобильных устройств и позволяют значительно расширить эти возможности.

На сегодняшний день можно выделить две наиболее популярные мобильные операционные системы: iOS и Android. Каждая из них обладает определенными преимуществами и недостатками и находит своих приверженцев среди пользователей смартфонов и планшетов.

Примером программного комплекса, предназначенного для автоматизации сбора, обработки, хранения и распространения информации, полученной в ходе экспериментов может служить является кроссплатформенное мобильное приложение Bench Tools компании Zappy Lab [4], структура и идеология которого послужила основой автоматизированной системы, разрабатываемой для поддержки НИОКР ракетно-космических систем (Рис. 1).

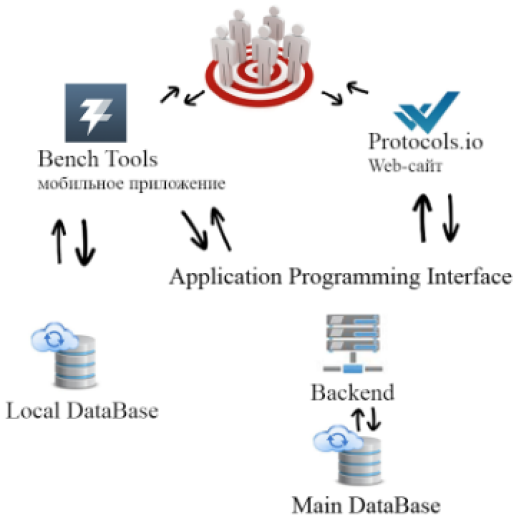


Рис. 1. Структура программного комплекса Bench Tools

- **Backend** представляет собой набор серверов, предназначенных для обработки пользовательских данных.
- **Main DataBase** – центральная база данных, содержащая информацию, внесенную всеми пользователями.
- **Bench Tools** – мобильное приложение, дающее пользователям возможность просматривать и изменять данные.

- **Local DataBase** – локальная база данных, содержит данные, соотвующие учетной записи пользователя. Хранится непосредственно на устройстве.
- **Application Programming Interface** представляет собой набор вызовов протокола HTTP, используемых приложением для синхронизации локальных данных с серверами и обновления центральной БД.
- **Веб-сайт** предназначен для изменения пользователем своей учетной записи, просмотра и редактирования имеющихся данных.

Комплекс имеет следующие возможности [5]:

- инструменты для поддержки проведения НИОКР
- быстрый ввод результатов НИОКР
- запись хода и результатов НИОКР в журнал
- поиск по имеющимся в журнале данным
- синхронизация имеющихся данных между устройствами
- возможность делиться данными с другими пользователями

Основной проблемой технологий глобальных компьютерных сетей является невозможность универсально и эффективно использовать удалённые вычислительные ресурсы. Изначально Интернет-технологии ориентировались на доступ к данным (файлам, базам данных), а не к вычислительным мощностям.

Центральной идеей разработанного программного обеспечения - своеобразного виртуального научного центра является возможность централизованное и скоординированное распределение ресурсов. При этом, под распределением ресурсов понимается не только обмен файлами, но и прямой доступ к периферийному оборудованию и информации.

На основе этого подхода реализуется архитектурное решение, обеспечивающие посредством использования мобильных скоростных телекоммуникаций и системных операционных средств интеграцию информационных и вычислительных ресурсов, находящихся на любых расстояниях друг от друга. В результате различные типы ресурсов: процессоры, память, программы, массивы данных, информационные базы, вычислительные сети – образуют общее поле, и каждый ресурс станет доступным повсеместно, независимо от своего расположения. Конкретный пользователь, применяя мобильное устройство с небольшими возможностями, может воспользоваться всей совокупность данных ресурсов для своей работы.

В результате создано приложение для мобильных устройств, обеспечивающее связь с сервером для хранения результатов исследования или научного эксперимента, позволяющее, тем не менее, работать автономно, например, в случае отсутствия связи с сервером. Тем самым, предложено решение задачи упрощения и систематизации сбора, хранения и обмена данными. Использование подобной архитектуры позволило создать пилотную версию обеспечения НИОКР ракетно-космических систем. Полученный эффект позволяет с оптимизмом смотреть в будущее.

Список литературы

1. Стандарт ИСО 9004-1-94. Управление качеством и элементы системы качества. http://www.docload.ru/Basesdoc/4/4994/index.htm
2. Cisco VNI Global Mobile Data Traffic Forecast, 2014–2019, http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/white_paper_c11-520862.html
3. CNews Analytics. Статья "Обзор: Мобильность в бизнесе 2014", http://www.cnews.ru/reviews/new/mobile_2014/
4. Zappy Lab opens the way to mobile apps for researchers http://connectedresearchers.com 10.06.2013.
5. Zappy Lab: https://www.protocols.io

05.02.11

Р.Г. Хабибуллин д.т.н., Г.А. Семенченко, Р.Р. Хайруллин

Набережночелнинский институт (филиал) Казанского Федерального Университета,
Автомобильное отделение, кафедра сервиса транспортных систем,
SemenchenkoGrigory@gmail.com

ИССЛЕДОВАНИЕ КОНЦЕПЦИИ ОТКРЫТОГО ОБМЕНА ДИАГНОСТИЧЕСКИМИ ДАННЫМИ

В статье ставится задача рассмотреть концепции открытого обмена диагностическими данными на основе стандарта ISO 22901. Анализ стандарта позволил оценить возможность применения формата диагностических данных (ODX) в процессе разработки и эксплуатации транспортного средства. В этой связи база данных ODX становится центральным источником для диагностирования и программирования электронных систем.

Ключевые слова: *электронная система управления двигателем, диагностическая база данных, открытого формата обмена данными, технологическая цепочка, изготовитель, дилер, диагностирование, программирование.*

Диагностическая система двигателя современного автомобиля является частью электронной системы управления двигателем (ЭСУД). Данная система является встроенной системой технического диагностирования, согласно ГОСТ 25176-82 «Техническая диагностика. Средства диагностирования автомобилей, тракторов, строительных и дорожных машин. Классификация. Общие технические требования» и также является автоматической системой технического диагностирования согласно ГОСТ 20911-89 «Техническая диагностика. Термины и определения» [1]. В настоящее время чаще всего используется термин «бортовая диагностическая система» или «БД система». В автомобилестроении назрел вопрос о коммуникации между изготовителем и дилером, с точки зрения возможности диагностирования, перепрограммирования электронных систем на стадии эксплуатации транспортного средства.

Стандарт ISO 22901 определяет новую концепцию организации и применения диагностических данных, в которой диагностические данные имеют единую форму представления – формат ODX (Open Diagnostic eXchange) [2]. Спецификация ODX содержит модели для описания диагностических данных транспортного средства. Требования к модели устанавливаются стандартом ISO 22901-1. Вторая часть стандарта - ISO 22901-2 определяет способы совместного применения формата ODX, MVCI и систем контроля за выбросами EOBD (ISO 15031).

ODX файл является документом XML и использует этот язык для описания диагностической информации. Графическое представление информации возможно в виде UML диаграмм.

В качестве формата открытого обмена диагностическими данными ODX предоставляет следующую информацию: Спецификация протокола связи; Данные для программирования электронного блока управления (далее ЭБУ); Описание диагностического интерфейса транспортного средства (разъем, цоколевка); Описание возможностей диагностического обеспечения ЭБУ.

Применение ODX позволяет перейти от сервисно-ориентированной к функционально-ориентированной модели взаимодействия средств технического диагностирования (далее СТД) и ЭБУ. Функция является абстракцией, которая вводится в процесс диагностики, чтобы исключить зависимость от спецификации конкретного протокола (KWP2000 или UDS) и сделать диагностику более понятной для конечного пользователя [3].

Рассмотрим преимущества применения открытого формата обмена данными для всех заинтересованных сторон.

Производители ЭБУ: Автоматическая конфигурация диагностических данных и протоколов ЭБУ; Автоматическая конфигурация тестов; Генерация кода для конфигурации диагностического ядра ЭБУ.

Автопроизводитель – Отдел разработки: Сокращение затрат на генерацию диагностических данных; Единый источник данных для СТД; Единый формат для обмена данными между различными базами данных.

Автопроизводитель – Производство: Сокращение времени на верификацию диагностического обеспечения; Повторное применение успешных проектов; Уменьшение ошибок за счет сокращения этапов обработки данных.

Автопроизводитель – Отдел технической поддержки: Упрощение повторного использования диагностических данных; Уменьшение затрат на распространение диагностического обеспечения.

Сервисный центр: Конфигурация СТД простой загрузкой файла ODX; Упрощается процедура обновления программного обеспечения СТД.

Контролирующие органы власти: Стандартизированный формат для документирования диагностических данных (например, коды неисправностей, идентификаторы параметров и др.).

Согласно стандарту, ISO 22901 возможны три случая применения ODX в процессе разработки и эксплуатации транспортного средства, рассмотрим их.

1. ODX в технологической цепи

На рис. 1 показан пример того, как данные ODX используются в технологической цепочке, которая состоит из трех фаз:

а) фаза А – процесс разработки происходит между изготовителем ЭБУ и САПР проектирования ЭБУ.

б) фаза В – процесс разработки происходит у изготовителя транспортного средства. Инженерные отделы выпускают ODX данные в базу данных ODX.

в) фаза С – техническая поддержка изделия через сеть дилеров при помощи диагностических и программных инструментов.

База данных ODX является центральным источником данных для диагностирования и программирования.

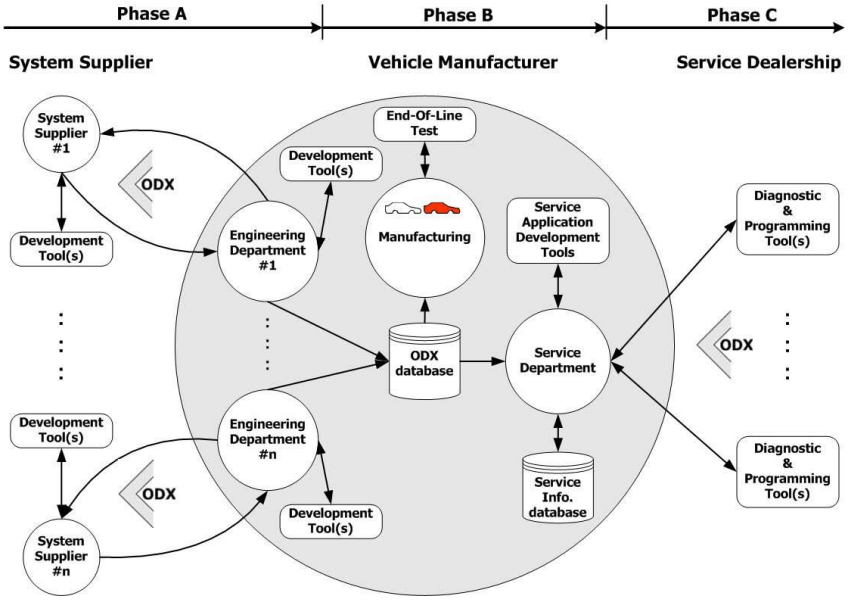


Рис. 1 − ODX в технологической цепи

2. Перекрёстная разработка диагностического функционала ЭБУ

Изготовитель транспортного средства реализует электронные системы в нескольких новых платформах автомобилей. Условия разработки для разных платформ отличаются незначительно. Используя один и тот же ЭБУ во многих различных платформах транспортных средств, производитель снижает затраты на повторную разработку.

Большой автомобильный производитель, как правило, имеет несколько центров, в которых ведется разработка систем автомобиля. Обмен данными может быть основан на применении формата данных ODX, чтобы уменьшить количество операций документирования и оформления диагностических данных на различных участках разработки.

На рис. 2 показан пример перекрёстной (совместной) разработки диагностического обеспечения ЭБУ автомобиля происходящей между двумя инженерными отделами.

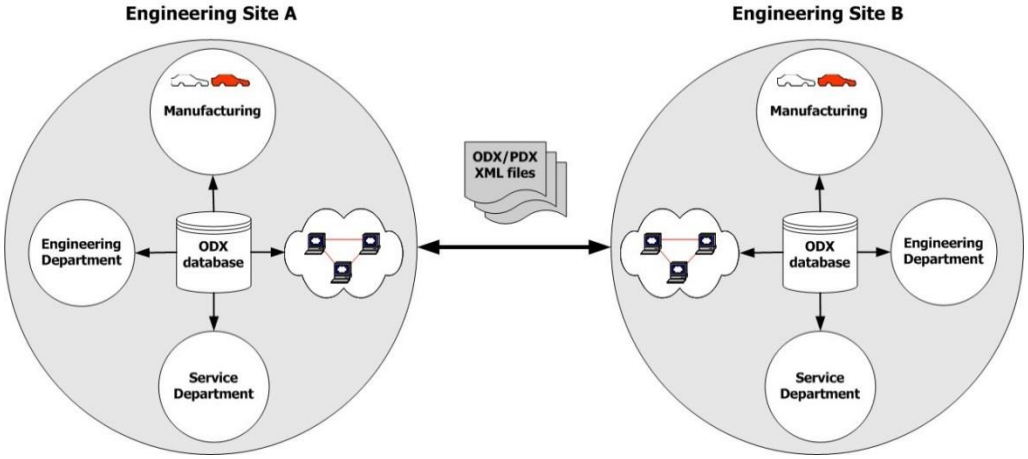


Рис. 2 − Применение ODX при перекрестной разработке

3. Послепродажная поддержка средств диагностирования

На рис. 3 показан один из многих сценариев как изготовитель транспортного средства может реализовать техническую поддержку своих дилеров. По запросу дилера, который может быть реализован через интернет требуемые ODX XML-файлы преобразуются в формат среды ODX и загружается в компьютер дилера. Так как формат ODX может быть отличаться у разных приложений, то используется конвертер.

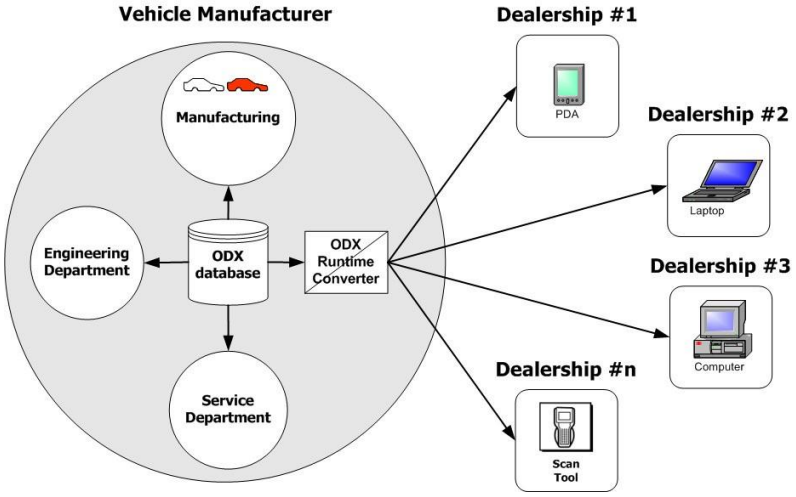


Рис. 3 − Поддержка средств диагностирования дилеров

По результатам исследование концепции открытого обмена диагностическими данными, формируется четкое понимание цикла разработки как самого продукта, так и диагностической системы, позволяющей учесть потребности изготовителя ЭСУ и потребителя в лице дилерской сети.

Список литературы

1. ГОСТ 20911-89 Техническая диагностика. Термины и определения.
2. ISO 22900-1, Road vehicles - Modular vehicle communication. Geneva, Switzerland, 2012. P. 29.
3. *Dr. Klaus Beiter, Oliver Garnatz, Christoph Ratz* «Diagnostics with AUTOSAR and ODX – Part 2: ODX in the AUTOSAR Development Process». Vector Informatik GmbH, Stuttgart, Germany, 2011.

05.16.04

[1]Р.Р. Хайруллин, [2]Н.Н. Сафронов

[1]Набережночелнинский институт Казанского (Приволжского) федерального университета, автомобильное отделение, кафедра материалов, технологий и качества, г. Набережные Челны, ramai2@mail.ru

[2]Набережночелнинский институт Казанского (Приволжского) федерального университета, отделение энергетики и информатизации, кафедра электроэнергетики и электротехники, г. Набережные Челны

СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СВС-АЛЬСИФЕРА ИЗ ДИСПЕРСНЫХ ОТХОДОВ МАШИНОСТРОЕНИЯ.

В работе исследованы структурные особенности альсифера, полученного СВС процессом. В качестве шихтовых материалов использовались дисперсные отходы машиностроения: кузнечная окалина (окислитель), алюминиевая стружка АК18 (восстановитель). Исследованы фазовый состав и их структурные параметры на образцах СВС-альсифера. Для этой цели был использован дифрактометр XRD-6000 на CuK_{α}-излучении. В СВС-альсифере были обнаружены фазы Fe, Fe_3Al, Fe_3Si и определены их количества, параметры решетки, её микроискажения, размеры областей когерентного рассеяния, структурные характеристики.

Ключевые слова: *Алсьифер, фазовый состав, элементный состав, микроструктура.*

Введение

Альсифер - магнитомягкий сплав, содержащий алюминий 5,4%, кремний 9,6%, железо 85%. Этот сплав характеризуется малой коэрцитивной силой и высокими значениями магнитных проницаемостей μ~35000...117000 [1]. Удельное электрическое сопротивление 0,8 мкОм·м. Область применения сплава – изготовление магнитопроводов, корпусов приборов и аппаратуры. Для этого используются такие технологии, как литейная и механическая обработка в основном шлифование. Последнее обстоятельство связано с тем, что альсифер чрезвычайно твёрд, хрупок и легко размалывается в порошок. Указанные механические свойства альсифера предопределяют его использование для изготовления высокочастотных прессованных сердечников из порошкообразного состояния. Что касается литейной технологии, то альсифер в этом плане является неблагоприятным сплавом, так как его расплав обладает низкой жидкотекучестью.

Получение альсифера также проблематично ввиду того, что при приготовлении расплава используют дорогостоящие шихтовые материалы компактного вида, предварительно подвергающиеся прокалке. Полученный расплав разливается в чугунные изложницы при t=1600°С. После охлаждения до t=1000 °С слитки погружают в воду для придания большей хрупкости материалу и подвергают размалыванию в шаровых или вибромельницах. Полученный порошок термообрабатывают для снятия наклепа.

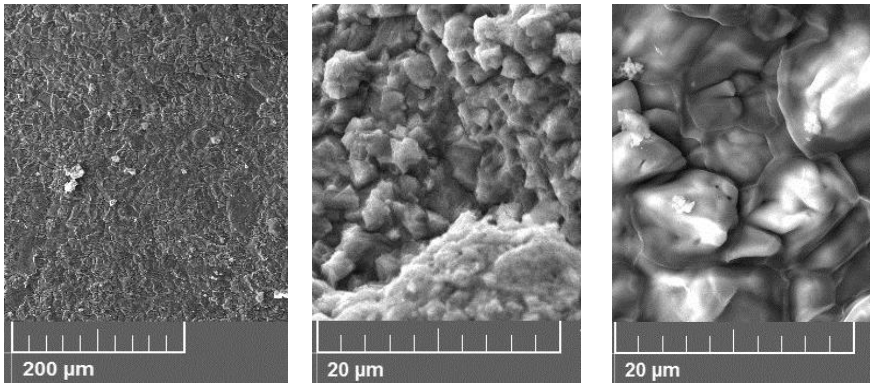
В данной работе для получения альсифера были использованы дисперсные отходы машиностроения ОАО «КАМАЗ» в виде кузнечной окалины, алюминиевой стружки сплава АК18 и отработанных обрезков алюминиевого провода. Синтез альсифера производился в самораспространяющемся режиме, в котором кузнечная окалина исполняла роль окислителя и источника железа, алюминиевая стружка – роль восстановителя и источника кремния. Присутствие обрезков алюминиевого провода в шихте процесса СВС обусловлено необходимым содержанием алюминия в синтезируемом альсифере.

Эксперимент и результаты

Для получения альсифера заданного состава были проведены эксперименты по отработке состава шихты процесса СВС. Было установлено, что массовое соотношение между

кузнечной окалиной, алюминиевой стружкой и обрезками алюминиевого провода в шихте должно быть 610:250:27.

В качестве окалины использовался отход кузнечного завода ОАО «КАМАЗ». На рисунке 1 представлены фрагменты окалины. Она имеет чешуйчатую форму с различающимся качеством поверхностей.



а) б) в)

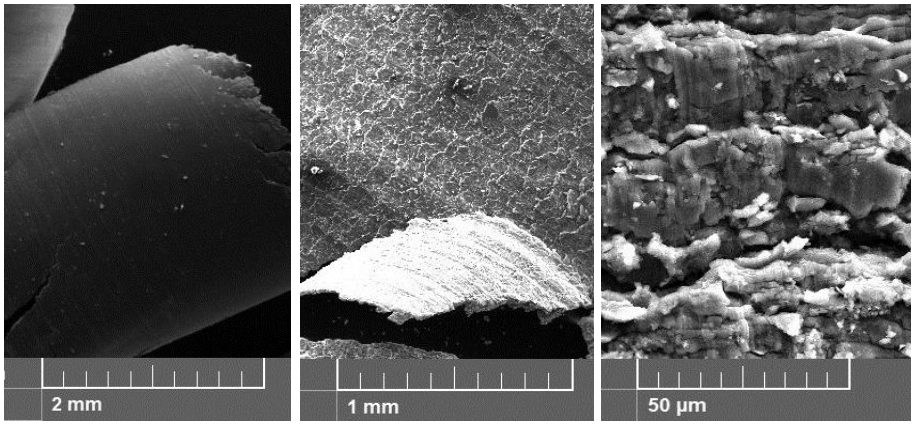
Рис. 1 – Поверхность кузнечной окалины:
а) увеличение х200; б) и в) поверхности чешуйки, увеличение х3000

Был определён также состав используемой в работе кузнечной окалины соответствующего завода ОАО «КАМАЗ». Для этой цели был привлечён волнодисперсионный рентгенфлуоресцентный спектрометр Shimalzu XRF 1800. Результаты испытаний представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Состав кузнечной окалины

Элемент	Содержание, %
O	30,49 – 23,57
Fe	67,97 – 74,12
Si	0,15 – 0,13
Al	0,26 – 0,32
Cu	0,34 – 0,56
Mn	0,23 – 0,46
Ni	0,34 – 0,45
Cr	0,22 – 0,39

Алюминиевая стружка как второй основной компонент шихты (восстановитель) имела дисперсный вид. Отдельные её элементы представлены на рисунке 2.



а) б) в)

Рис. 2 – Алюминиевая стружка:
а) увеличение х30; б) увеличение х60; в) увеличение х1000

Состав используемой алюминиевой стружки был исследован на сканирующем электронном микроскопе TESCAN VEGA 3. Было проанализировано 5 вариантов спектра, результаты которых представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Состав алюминиевой стружки

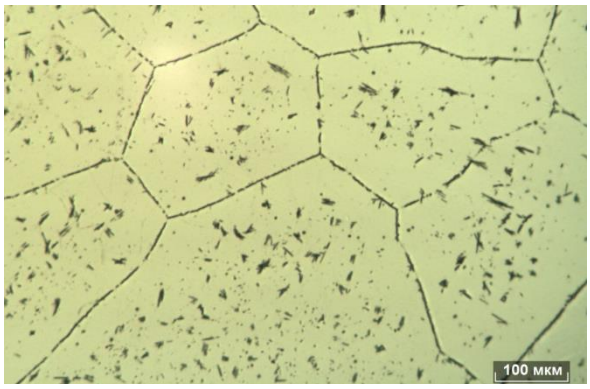
Элемент	Содержание, % (массовая доля)				
	Спектр 1	Спектр 2	Спектр 3	Спектр 4	Спектр 5
Mg	0.79	0.85	0.62	0.75	0.65
Al	76.79	76.34	78.16	74.14	79.02
Si	20.12	20.62	18.18	22.63	17.44
Fe	0.56	0.56	0.96	0.70	0.97
Ni	0.62	0.63	1.13	0.69	0.68
Cu	1.12	1.00	1.91	1.09	1.24

В результате проведенных исследований по самораспространяющемуся высокотемпературному синтезу альсифера из выше приведенных дисперсных отходов машиностроения с соответствующим массовым соотношением друг к другу были получены опытные образцы, подвергнутые анализу на фазовый состав и их структурные параметры. Указанные исследования проводились на дифрактометре XRD-6000 на CuK_{α}-излучении. Результаты исследования приведены в таблице 3.

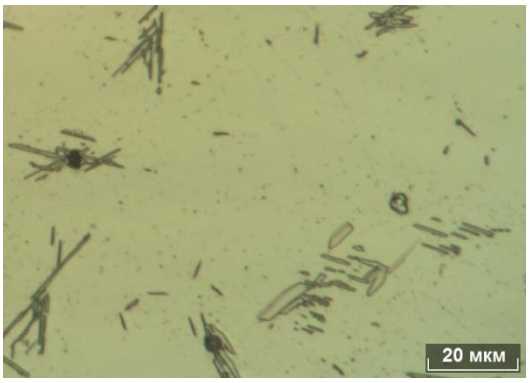
Таблица 3 – Фазовый состав и структурные параметры образца СВС-альсифера

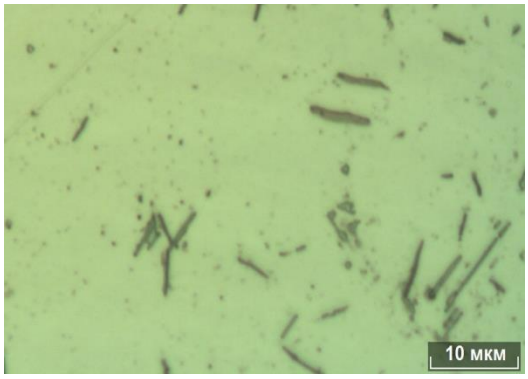
Обнаруженные фазы	Содержание фаз, % (объёмная доля)	Параметры решетки, Å	Размер областей когерентного рассеяния, нм	Микроискажения решетки, Δd/d
Fe	66	A=2.8439	40	3.6*10^-3
Fe_3Al	22	A=5.7293	34	1.9*10^-3
Fe_3Si	12	A=5.6979	14	2.0*10^-3

Был проведен также микроструктурный анализ образцов СВС-альсифера. Из рисунка 3 (позиция а) видно, что СВС-альсифер имеет однофазную структуру металлической основы (высоколегированный феррит) с мелкими включениями фаз Fe_3Al и Fe 3Si пластинчатой, прямолинейной, иглообразной формы (позиция б и в). Зёрна достаточно крупные. Средний их размер составляет dm = 150 мкм.



а)





б) в)

Рис. 3 – Микроструктура образца СВС-альсифера:
а) увеличение х100; б) увеличение х500; в) увеличение х1000

Следует отметить, что образцы СВС-альсифера проявили высокую коррозионную стойкость, что вызвало определённые затруднения в приготовлении шлифов. Традиционные методы травления, хорошо зарекомендовавшие себя для сплавов на железной основе, должного эффекта в нашем случае не проявили. Приведенная на рисунке 3 микроструктура была получена после электролитического травления в реактиве, содержащем 300 г KCl, 30 г лимонной кислоты, 30 мл HCl и 1 л H 2O, при напряжении U = 5 В. Время травления составляло 3 минуты.

В качестве механических характеристик исследовалась твердость СВС-альсифера методом Виккерса при нагрузке на индентор, равной 25 г. На рисунке 4 представлены результаты уколов, которые показали, что ферритная основа имеет твердость 455 HV (укол №1), а пластинчатые включения - 580 HV (укол №2).

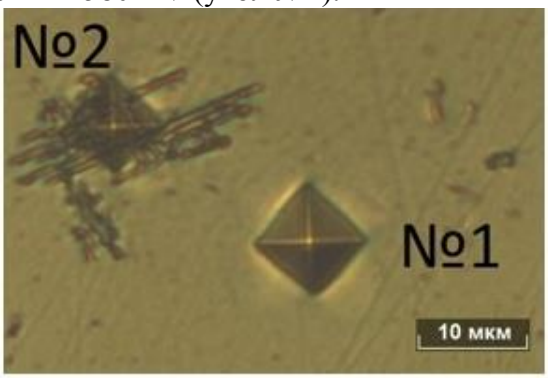


Рис. 4 – Микротвердость СВС-альсифера

Заключение

Результаты проведенного исследования позволяют сделать вывод о том, что дисперсные отходы машиностроения: кузнечная окалина, силуминовая стружка и обрезки алюминиевого провода могут играть роль шихтовых материалов в эффективном, энергонезатратном, безотходном технологическом процессе самораспространяющегося высокотемпературного синтеза альсифера, имеющего хорошие предпосылки для изготовления высокочастотных прессованных сердечников из порошкообразного состояния.

Список литературы

1. *Преображенский А.А., Бишард Е.Г.* Магнитные материалы и элементы: Учебник для студ. вузов по спец. «Полупроводники и диэлектрики». — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Высш. шк., 1986. — с.146.

05.22.10

Р.А. Хлопотов

Тюменский государственный нефтегазовый университет, Институт Транспорта, кафедра «Эксплуатация автомобильного транспорта», Тюмень, romahlopotov@gmail.com

О СТРУКТУРЕ РЫНКА ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ ПО ТИПУ ТРАНСМИССИИ И ТЕНДЕНЦИИ ПОВЫШЕНИЯ ДОЛИ АВТОМОБИЛЕЙ, ОСНАЩЕННЫХ ГИДРОМЕХАНИЧЕСКОЙ КОРОБКОЙ ПЕРЕДАЧ

В данной статье рассмотрены основные тенденции использования разных типов трансмиссий легковых автомобилей. Приведена динамика изменения распределения доли производства легковых автомобилей с разными типами трансмиссии, по отдельным странам и в целом по миру.

Ключевые слова: *автоматическая трансмиссия, гидромеханическая коробка передач, гидротрансформатор, коробка передач с двумя сцеплениями, бесступенчатая коробка передач.*

В современных условиях автопроизводители стремятся найти более эффективные способы передачи энергии от двигателя к колесам транспортного средства. Это способствует появлению новых типов трансмиссий. На сегодняшний день можно выделить две больших группы трансмиссий, применяемых на легковых автомобилях, механическая трансмиссия и автоматическая трансмиссия. К механическим трансмиссиям можно отнести классическую механическую коробку передач и фрикционную муфту (сцепление), предназначенное для передачи крутящего момента. Категория автоматических трансмиссий включает в себя гораздо больший перечень механизмов. В первую очередь, это гидромеханические коробки передач, состоящие из гидротрансформатора (torque converter, ГТ), бесступенчато преобразующего крутящий момент по величине и дополнительной коробки передач (ДКП), которая позволяет ступенчато изменять передаточное отношение [1]. Также к автоматическим трансмиссиям относят коробки переключения передач с двумя сцеплениями (DCT), принципиально этот тип трансмиссий похож на механическую коробку передач, однако DCT имеет в своем составе два сцепления, одно из которых постоянно находится в зацеплении, что обеспечивает автоматический выбор нужной передачи при помощи электроники и гидравлики. Следующий тип — это бесступенчатая трансмиссия (CVT), при использовании в легковых автомобилях представляет собой комбинацию вариатора, бесступенчато передающего часть энергии и зубчатой передачи, передающей оставшуюся часть момента, это позволяет совместить достоинства разных типов передач. Кроме этого к автоматическим трансмиссиям относят автоматизированную механическую трансмиссию (AMT), представляющую собой механическую коробку передач с автоматическим переключением передач при помощи гидравлических или электрических исполнительных механизмов с автоматическим управлением сцеплением и электрическую трансмиссию (ET), обеспечивающую передачу момента от двигателя к движителю, используя электрически соединённые электрогенератор и электродвигатель.

Распределение производства автоматических трансмиссий за 2012 год в регионах, по данным немецкой компании Schaeffler Group, представлено на рис.1, из чего видно, что наибольшее распространение во всех регионах получили ГМКП.

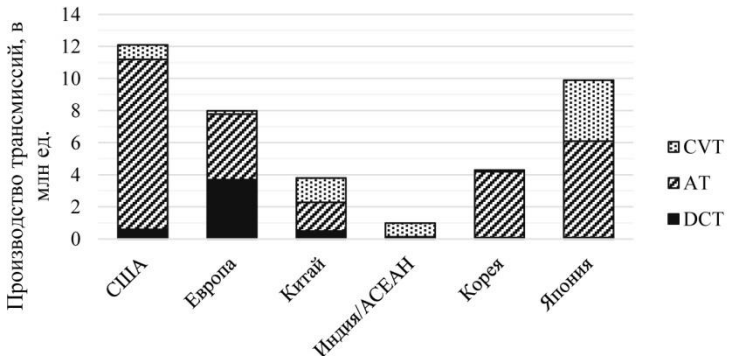


Рис. 1- Объем производства автоматических трансмиссий для легковых автомобилей в 2012 году по странам, млн. ед.

Если рассматривать отношение механических и автоматических трансмиссий в динамике, то также заметна тенденция к росту числа ГМКП при производстве легковых автомобилей, например, в Китае [2], за семь лет доля рынка легковых автомобилей оснащенных автоматической коробкой передач выросла более чем на 12 процентов (рис. 2).

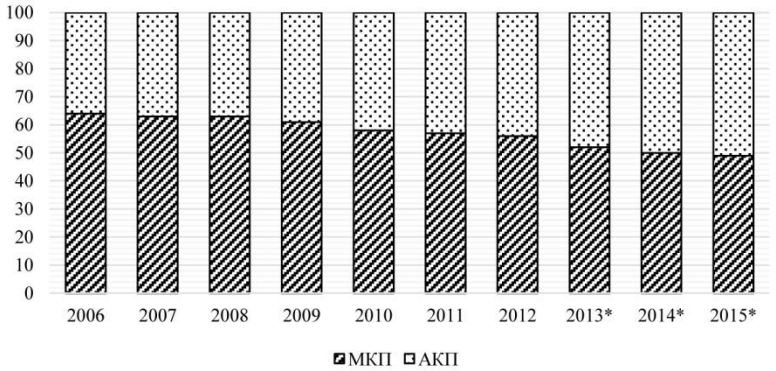


Рис. 2- Производство легковых автомобилей с разными типами коробок передач в Китае, %

На рынке США [3] гидромеханические коробки передач занимают доминирующую позицию (рис. 3), однако бесступенчатые трансмиссии (CVT) в последние годы получили достаточно широкое распространение. Рост числа автоматических механических коробок передач и коробок передач с двумя сцеплениями после 2008 года обусловлен значительным развитием производства DCT коробок передач. Механические коробки передач на рынке США исторически представлены слабо, их доля снизилась с 10% в 2000 году до 3,2% в 2011 году, но немного увеличилась в 2012 году.

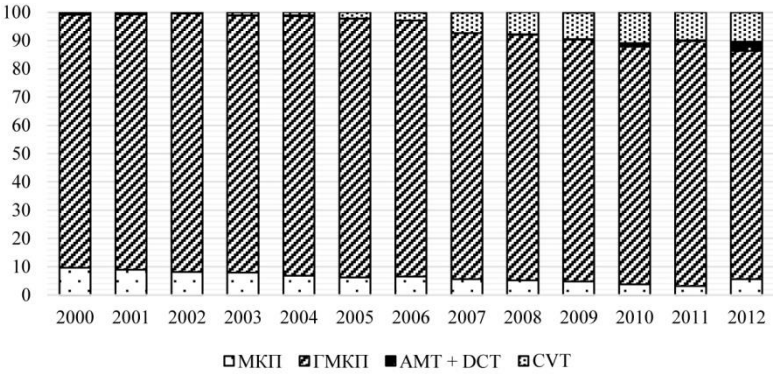


Рис. 3 –Распределение числа легковых автомобилей в зависимости от типа используемой коробки передач на рынке США, %

Таким образом разделение легковых автомобилей по типам используемых на них трансмиссий неравномерно, но видна тенденция увеличения количества автомобилей, оснащенных автоматической трансмиссией. Согласно данным [4], в глобальном масштабе при производстве легковых автомобилей наибольшую долю среди автоматических трансмиссий занимают ГМПК, имеющие более трети всего рынка и 72% среди других типов автоматических трансмиссий.

Таблица 1– Доля коробок передач разных типов при производстве легковых автомобилей в 2012 году

Тип коробки передач	Доля, %
МКП	49,4
ГМКП	35,9
CVT	10,1
DCT	3,4
AMT	0,9
ЭКП	0,2

Ситуация в России соответствует общемировым тенденциям, на рисунке 4 показана доля рынка новых легковых автомобилей, оснащенных автоматическими трансмиссиями всех типов в 2011-2013 годах [5]. По заявлениям экспертов [6] в ближайшее время число легковых автомобилей с автоматическими коробками передач превысит 50%.

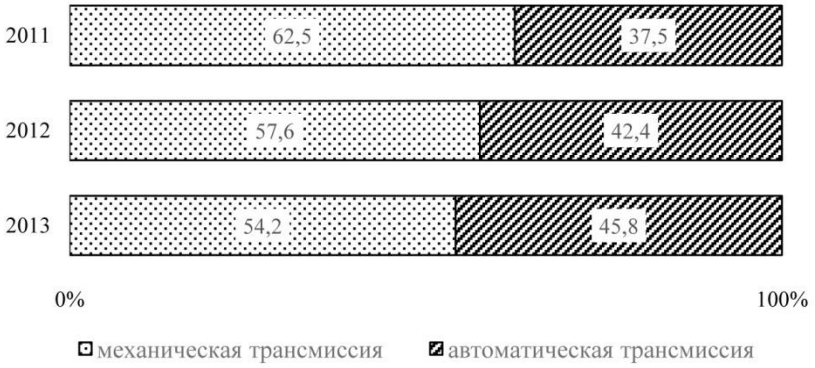


Рис. 4. Изменение доли продаже легковых автомобилей, оснащенных автоматической трансмиссией в России

Таким образом, заметна общемировая тенденция роста выпуска числа легковых автомобилей с автоматической трансмиссией, при этом, среди них, наибольшую долю занимают автомобили, оснащенные гидромеханическими коробками передач.

Список литературы

1. *Хлопотов, Р.А.* Анализ проблемы выбора режимов автоматической трансмиссии на холостом ходу при движении в городских условиях / Р.А. Хлопотов, И.А. Анисимов // Проблемы функционирования систем транспорта: материалы Всероссийской заочной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных, посвящённой 50-летию со дня основания Тюменского индустриального института 20-22 ноября 2013 г. / Отв. редактор В. И. Бауэр – Тюмень: ТюмГНГУ, 2013. – С. 363-366

2. China Automotive Transmission Report, 2012-2015 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.researchinchina.com/UpLoads/ArticleFr. (дата обращения: 02.06.2014)

3. 2013 Market share by transmission type // U. S. Department of energy [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://energy.gov/eere/vehicles/fact-802-november-4-2.. (дата обращения: 03.06.2015)

4. Global light vehicle production by transmission type in 2012 and 2017 // Statistics Portal [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.statista.com/statistics/204123/. (дата обращения: 02.06.2015)

5. *Алеева, С.* Продажи автомобилей с «автоматом» выросли до 45,8% / С. Алеева // Известия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://izvestia.ru/news/567738 (дата обращения: 01.06.2015)

6. Доля автомобилей с АКПП увеличилась до 45% // Автостат [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.autostat.ru/news/view/12505/ (дата обращения: 03.06.2015)

05.17.08

С.С. Хмелёв к.т.н., В.Н. Хмелёв д.т.н., Р.Н. Голых к.т.н., Ю.М. Кузовников к.т.н.

ssh@bti.secna.ru, vnh@bti.secna.ru, grn@bti.secna.ru, kuzovnikov@bti.secna.ru

РАЗРАБОТКА СТЕНДА ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ КАВИТАЦИОННО-АКУСТИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №14-08-31521 мол_а

В статье предложена конструкция и обоснованы требования к экспериментальному стенду для исследования кавитационно-акустических явлений в жидкой фазе. Требования к стенду выработаны на основании теоретических исследований фомирования кавитационной области. Разработанный стенд позволит выявить оптимальные режимы и условия ультразвукового кавитационного воздействия для повышения эффективности процессов химической технологии.

Ключевые слова: *ультразвук, кавитация, технологическая камера, экспериментальный стенд.*

Введение

Использование энергии ультразвуковых колебаний высокой интенсивности, носящих стимулирующий и интенсифицирующий характер, обеспечивает за счет явления кавитации многократное ускорение технологических процессов, протекающих между неоднородными системами (экстрагирование, диспергирование, эмульгирование и т.п.)

Исследованию кавитационных явлений, как основного движущего фактора подобных процессов, в современной науке отводится большое значение [1]. Полученный авторами статьи грант Российского фонда фундаментальных исследований № 14-08-31521 предполагает решение нескольких задач, направленных на повышение эффективности процессов химических технологий: выявление интенсивности ультразвукового воздействия, необходимой для достижения развитой кавитации; исследование влияния форм и положения абсолютно неподвижных границ на распространение кавитационных зон в жидкой среде; нахождение оптимальных численных значений интенсивности ультразвукового воздействия на жидкофазные дисперсии, характеризующиеся значительной вязкостью.

Решить поставленные задачи можно при помощи специализированного экспериментального стенда. Выработке требований по составу и конструктивным особенностям стенда посвящена данная статья.

1. Требования к составу экспериментального стенда

Для обеспечения исследования кавитационных явлений в состав стенда должны входить: ультразвуковой технологический аппарат – источник кавитационного воздействия; технологическая камера – реактор для обеспечения протока обрабатываемой жидкости и заданных условий по давлению и температуре; измерительное и регистрирующее оборудование для проведения измерений и нахождения оптимальных численных значений интенсивности ультразвукового воздействия.

Требования к ультразвуковому технологическому аппарату. Мощность ультразвукового аппарата следует выбирать таким образом, чтобы реализовать режим развитой кавитации, характеризующийся максимальной эффективностью схлопывания пузырьков. Как известно, мощность (Вт) пропорциональна интенсивности вводимых колебаний (Вт/м^2). На рис. 1 приводятся три зависимости максимальной, минимальной и оптимальной интенсивности от вязкости жидкости [1].

Минимальная интенсивность является пороговой интенсивностью, необходимой для возникновения и схлопывания пузырьков. При максимальной интенсивности кавитационные пузырьки начинают вырождаться в долгоживущие и перестают схлопываться.

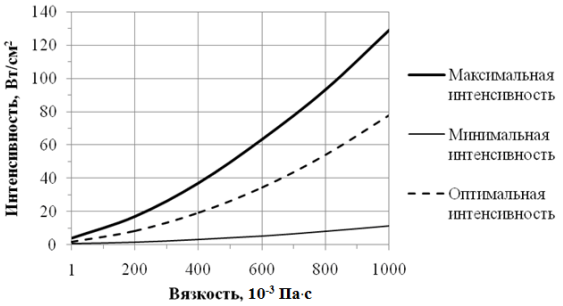


Рис. 1 – Зависимости минимальной, максимальной и оптимальной интенсивностей воздействия для линейно-вязких сред от вязкости

В пределах установленного диапазона существует оптимальная интенсивность, при которой эффективность кавитационного воздействия максимальна, что обеспечивается генерацией ударных волн с максимальной амплитудой давления во фронте.

Как следует из представленных зависимостей, для водной среды (с вязкостью 1 мПа·с) оптимальная интенсивность составляет 1,9 Вт/см^2. При этом для моторного масла 10W по классификации SAE при температуре 20°С (вязкость 100 мПа·с) оптимальная интенсивность – 4 Вт/см^2, а для эпоксидных композиций (ЭД-5, ЭД-20) (вязкость более 500 мПа·с) – более 30 Вт/см^2. Таким образом, для обеспечения возможности исследования различных сред ультразвуковой аппарат должен обеспечивать интенсивность воздействия в диапазоне от 4 до 30 Вт/см^2 или выше.

Необходимая интенсивность определяет мощность УЗКС и всего аппарата. Исходя из этого, имея размер излучателя с площадью рабочего излучающего инструмента в 20 см^2 (диаметр инструмента около 40 мм), необходимо обеспечивать введение акустической мощности более 30 Вт/см^2 × 20 см^2 = 600 Вт. Под эти параметры подходит ультразвуковой технологический аппарат серии «Волна» модель УЗТА-1/22-ОМ [2].

Поскольку, как известно, КПД пьезоэлектрического излучателя составляет 50…60 %, то мощность, рассеиваемая УЗКС в виде тепла, достигает 0,4…0,6 кВт. При этом электрическая мощность, потребляемая УЗ аппаратом, составит 1…1,2 кВт. Для исключения нагрева обрабатываемой среды колебательная система должна содержать в своём составе охлаждающую рубашку, установленную на пьезоэлектрический преобразователь – наиболее подверженный нагреву узел УЗКС.

Требования к геометрическим размерам технологической камеры. Наряду с колебательной системой, эффективность кавитационного воздействия зависит от геометрии технологического объёма, влияющей на распространение УЗ волн в кавитирующей жидкофазной дисперсии. Поэтому далее описаны требования к технологическим объёмам для кавитационной обработки жидкостей.

Как известно [3], интенсивность колебаний на стенке объёма, вблизи которой энергия схлопывания кавитационных пузырьков минимальна, определяется расстоянием между ней и излучающей поверхностью, а также акустическими характеристиками обрабатываемой среды. Соответствующая зависимость для масла (вязкостью 100 мПа·с) приведена на рис. 2.

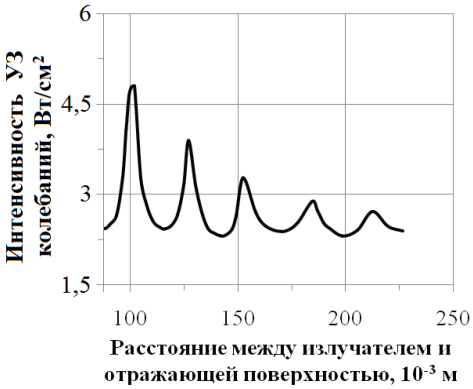


Рис. 2 – Зависимость интенсивности колебаний на стенке технологического объёма от расстояния между ней и излучающей поверхностью.

Как следует из представленной зависимости, интенсивность колебаний на стенке является недостаточной для возникновения схлопывания пузырьков в масле (менее 3 Вт/см^2) при расстояниях L между излучателем и отражающей поверхностью более 130 мм.

Поэтому с учётом геометрических размеров излучателя диаметр технологической камеры должен составлять $D_K = D_2 + 2 \cdot L \cdot \sin\alpha > 40$ мм + 2·130 мм·sin 20° = 129 мм (D_2 – диаметр рабочего инструмента, α – угол расхождения УЗ волны, определяемый на основании форм кавитационных зон, приведённых в [3]), чтобы не допустить возникновение радиальных стоячих волн и их влияние на продольные волны.

Однако для реализации режима как бегущей, так и стоящей волны, необходимо организовать продольное перемещение торцевой отражающей границы (располагаемой напротив излучателя) области обрабатываемой среды на расстояние от 0 до 160 мм (согласно зависимостям на рис. 2) относительно излучающей поверхности.

Таким образом, суммарная длина технологической камеры должна составлять $L_K = L_2 + L$ = 70 мм + 160 мм = 230 мм, где L_2 – длина концентратора УЗКС. Кроме того, для фиксирования зон развитой кавитации в обрабатываемую среду должны погружаться тестовые образцы алюминиевой фольги толщиной 9 мкм [3].

Требования к измерительному оборудованию. Для решения поставленных задач измерительное оборудование должно содержать в своем составе: измеритель звукового давления с преобразователем пьезоэлектрического типа окруженного звукопроводящим гидроизолирующим материалом; оптический измеритель степени рассеяния на кавитирующих пузырьках; комплекс средств измерения электрических и механических параметров ультразвуковых колебательных систем, включающий в себя: измеритель потребляемой электрической мощности (как активной, так и реактивной); лабораторный цифровой термометр для контактного измерения температуры; двуканальный микропроцессорный измеритель-регулятор совместно с термопарой (термометром сопротивления) и датчиком давления, предназначенный для регулирования температуры и автоматического поддержания требуемого избыточного давления.

2. Описание конструкции разработанного экспериментального стенда

Выработав требования по составу, размеру и конструктивным требованиям стенда для проведения экспериментальных исследований кавитационно-акустических явлений, была разработана конструкция технологической камеры, эскиз которой представлен на рис. 3.

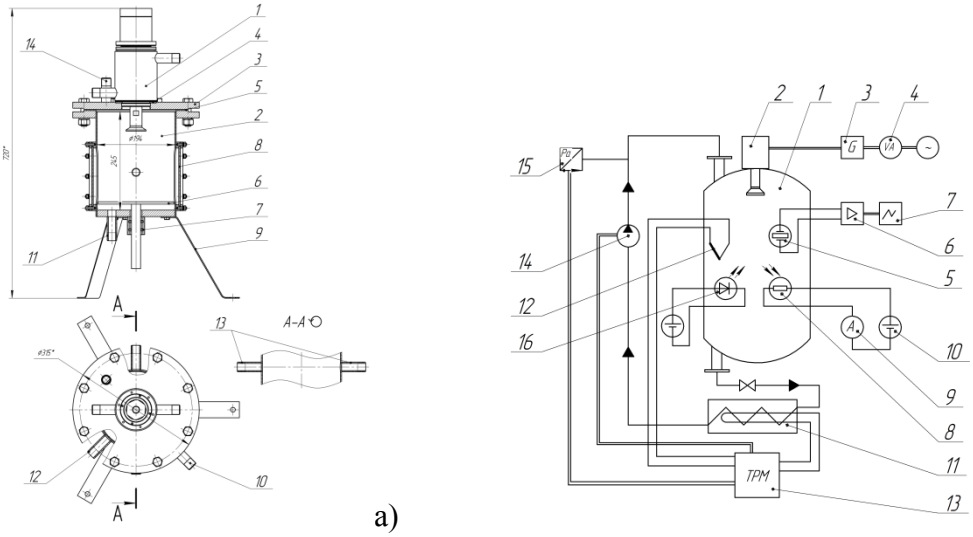


Рис. 3 – Эскиз (а) и условно-графическая схема (б) стенда для проведения исследований кавитационно-акустических явлений

Стенд состоит из ультразвукового технологического аппарата серии «Волна», модель УЗТА-1/22-ОМ. В состав аппарата входит ультразвуковая колебательная система (УЗКС) 1 и электронный генератор. Рабочий излучающий инструмент УЗКС выполнен в форме расходящегося конуса и имеет наружный диаметр 40 мм. Электромеханический

преобразователь и часть концентратора помещены в охлаждающую рубашку, через которую прокачивается охлаждающая жидкость. УЗКС установлена на крышке объема 3 через уплотнение 4. Крышка крепится к технологической камере 2 через уплотнение 5. Внутри технологической камеры установлен перемещающийся поршень 6 позволяющий реализовать режим стоячей волны. Поршень установлен в камере посредством сальникового уплотнения 7. В технологической камере имеются окошки 8 для наблюдения за процессами, происходящими внутри камеры. В нижней части камеры имеются подставки 9, для установки механической части стенда на рабочую поверхность. Так же на камере имеются патрубки для обеспечения протока обрабатываемой жидкости 10, 11 и для подключения необходимого контрольно-измерительного оборудования: измерителя температуры 12, оптического измерителя рассеяния 13; измерителя давления 14.

Условно-графическая схема стенда с указанием контрольно-измерительного оборудования представлена на рис. 3б. В состав стенда входит: 1 – технологическая камера, 2 – УЗКС, 3 – генератор ультразвуковых колебаний, 4 – измеритель потребляемой электрической мощности; 5 – измеритель звукового давления с преобразователем пьезоэлектрического типа, 6 – усилитель, 7 – осциллограф; 8 – приемник светового излучения, 9 – амперметр, 10 – источник питания, 11 – теплообменник, 12 – лабораторный цифровой термометр для контактного измерения температуры, 13 – двуканальный микропроцессорный измеритель-регулятор, 14 – насос, 15 – датчик давления с токовым выводом, 16 – источник светового излучения.

В разработанном экспериментальном стенде могут применяться средства измерения, выпускаемые отечественной промышленностью и зарубежными фирмами.

Заключение

В результате проведенной работы была предложена конструкция и обоснованы требования к экспериментальному стенду для проведения исследований кавитационно-акустических явлений под воздействием ультразвуковых колебаний высокой интенсивности. Разработанный стенд позволит выявить оптимальные режимы (по интенсивности колебаний) и условия (положение отражающих границ) ультразвукового кавитационного воздействия для повышения эффективности химико-технологических процессов.

Список литературы

1. *Khmelev, V.N.* Determination of Ultrasonic Effect Mode Providing Formation of Cavitation Area in High-Viscous and Non-Newtonian Liquids [Текст] / V.N. Khmelev, R.N. Golykh, A.V. Shalunov, S.S. Khmelev, K.A. Karzakova // 15th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices EDM’2014: Proceedings. – Novosibirsk: Publisher of NSTU, 2014. – P. 203-207.

2. Ультразвуковой технологический аппарат серии «Волна-М» [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://u-sonic.ru/devices/volna_m2.

3. *Хмелёв, В.Н.* Выявление оптимальных условий ультразвуковой кавитационной обработки высоковязких и неньютоновских жидких сред [Электронный ресурс] / В.Н. Хмелёв, А.В. Шалунов, Р.Н. Голых, С.С. Хмелёв // Электронный журнал «Южно-Сибирский научный вестник». – 2014. – №2. – С. 138-142. – Режим доступа: http://s-sibsb.ru/images/articles/2014 /2(6)/S-SibSB_Issue_6.pdf.

05.09.07

Т.А. Чуваткина

ФГБОУВПО «Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва»,
светотехнический факультет, кафедра источников света, г. Саранск, niiis.il.elsi@gmail.com

ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ПОТОКА ИЗЛУЧЕНИЯ БАКТЕРИЦИДНЫХ ЛАМП

В работе рассмотрены особенности измерения потока излучения бактерицидных ламп с излучением в длине волны 253.7 нм. Приводятся экспериментальные данные по расчету потока излучения бактерицидных ламп различных мощностей. А также экспериментальные данные по расчету потока излучения ламп, с учетом погрешности от влияния на приемника излучения, отраженного от поверхностей помещения потока излучения.

Ключевые слова: *поток излучения, бактерицидная лампа, метод измерения, приемник излучения, энергетическая освещенность, погрешность.*

В настоящее время для обеззараживания воды, воздуха и поверхностей помещений зачастую используются бактерицидные лампы с излучением в линии 253.7 нм. От технических характеристик данных ламп зависит способность к уничтожению болезнетворных микроорганизмов. В связи с чем, возникает необходимость в достоверной и качественной оценке их параметров и в частности одной из основных характеристик – потока излучения.

В мировой практике и в нашей стране для измерения потока излучения используется методика измерения, описанная в [1]. Согласно данной методике приемник излучения устанавливается на определенном расстоянии от центра источника ультрафиолетового (УФ) излучения рис. 1.

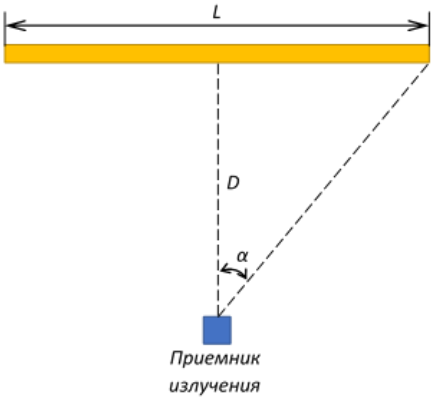


Рис. 1 – Схема измерения потока излучения бактерицидных ламп

При реализации данной методики, методом прямых измерений снимаются показания энергетической освещенности лампы, и производится расчет потока излучения согласно формуле:

$$P = \frac{E2\pi^2 DL}{2\alpha + sin2\alpha},$$

где E – энергетическая освещенность;

D – расстояние от приемника излучения до центра лампы;

L – длина светящейся части лампы;

α – половинный угловой размер светящейся части лампы относительно середины входного окна приемника излучения.

Причем при проведении измерений необходимо соблюдение следующих условий:

- расположение лампы горизонтальное;
- приемное устройство должно иметь косинусную зависимость реакции от угла падения на него излучения при данных значениях длины лампы и расстояния от лампы до приемника;
- расстояние от лампы до приемника должно быть не менее двух длин лампы;
- измерения проводятся в «темной комнате»;

- не должно происходить движение воздуха [2].

В целях оценки и выявления возможных составляющих погрешностей метода измерения потока излучения, описанного выше, в испытательной лаборатории электрических ламп и светотехнических изделий (ИЛ ЭЛСИ) ГУП Республики Мордовия «НИИИС имени А. Н. Лодыгина» были проведены измерения потока излучения бактерицидных ламп с линией 253.7 нм различных мощностей. При этом измерения проводились на различном расстоянии от источника излучения до приемника.

В качестве объектов измерений были взяты следующие типы ламп: ДБ 300, ДБ 75-2, ДКБУ–36, ДКБУ-18, ДКБУ-11, ДКБ-9. Измерения проводились на фотометрической скамье ФС-М с использование в качестве приемника излучения УФ-радиометр «ТКА-ПКМ (13)». Перед измерением лампы горели 20-30 минут для выхода параметров на стабилизированный режим. Результаты измерений представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты измерения потока излучения

ДБ 300							
№-№ лампы \ D, м	Фоток излучения (254 нм), Вт						
	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0
1	86.5	89.6	91.6	91.5	91.1	91.5	93.9
2	89.3	93.0	93.9	94.4	94.7	94.7	96.5
3	89.8	91.4	93.1	95.0	96.3	96.6	97.3
4	87.2	90.2	92.1	91.6	91.8	92.0	94.5

ДБ 75-2								
№-№ лампы \ D, м	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0
1	23.9	24.0	24.2	24.5	24.7	24.9	25.6	25.9
2	22.8	22.8	22.9	23.1	23.4	24.4	24.6	24.7
3	23.1	23.2	23.2	24.1	24.5	24.8	24.8	24.9
4	23.2	23.2	23.6	23.9	24.7	25.0	25.1	25.1

ДКБУ-36							
№-№ лампы \ D, м	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
1	11.0	11.0	11.0	11.2	11.7	11.7	11.8
2	11.1	11.2	11.5	11.9	11.9	11.9	11.9
3	11.2	11.4	11.9	11.9	11.9	11.9	12.0
4	10.9	10.8	11.0	11.8	11.8	11.8	11.8

ДКБУ-18								
№-№ лампы \ *D*, м	0.5	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
1	6.7	6.9	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0
2	6.7	6.9	6.9	6.9	7.0	7.0	7.0	7.0
3	6.6	6.7	6.8	6.8	6.8	6.8	6.8	6.8
4	7.1	7.3	7.4	7.4	7.5	7.5	7.5	7.5

ДКБУ-11								
№-№ лампы \ D, м	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
1	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.8	3.8	3.8
2	3.8	3.8	3.8	3.9	3.9	3.9	4.0	4.0
3	3.7	3.7	3.8	3.8	3.8	3.9	3.9	3.9
4	4.2	4.2	4.2	4.2	4.3	4.3	4.4	4.4

ДКБУ-9					
№-№ лампы \ D, м	0.3	0.5	0.8	1.0	1.2
1	2.0	2.0	2.0	2.0	2.1
2	1.8	1.8	1.8	1.8	1.9
3	1.8	1.8	1.8	1.8	1.9
4	1.7	1.8	1.8	1.8	1.8

По результатам измерений из таблицы 1 видно, что с увеличением расстояния от источника излучения до приемного устройства наблюдается стабильный рост потока излучения, а, как известно, поток излучения параметр, характеризующий саму лампу и не зависящий от расстояний. Причем, чем больше мощность бактерицидной лампы, тем существенней становится разница в значениях потока. В таблице 2 приведены значения относительного увеличения потока излучения, измеряемого на минимальном и максимальном расстоянии от лампы до приемника для всех типов экспериментальных образцов.

Таблица 2 – Относительное увеличение потока излучения

№-№ ламп		Относительное увеличение потока излучения, %	№-№ ламп		Относительное увеличение потока излучения, %
ДБ 300	1	8.6	ДКБУ-18	1	4.5
	2	8.1		2	4.5
	3	8.4		3	3.0
	4	8.4		4	5.6
ДБ 75-2	1	8.4	ДКБУ-11	1	2.7
	2	8.3		2	5.3
	3	7.8		3	5.6
	4	8.2		4	4.8
ДКБУ-36	1	7.3	ДКБУ-9	1	5.0
	2	7.2		2	5.5
	3	7.1		3	5.5
	4	8.3		4	5.9

Для уменьшения роста потока излучения при увеличении расстояния от приемника до источника излучения необходимо учесть влияние потока излучения отраженного от поверхностей помещения. Для этих целей были проведены измерения ламп типа ДБ 300 с применением экрана из черного бархата размером 15^{x}2 м (высота^{x}ширина). При этом экран помещался между лампой и приемником излучения на расстоянии максимального влияния отраженного потока излучения. Результаты измерений представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты измерения потока излучения ламп ДБ 300

№-№ лампы \ D, м	Фоток излучения (254 нм), Вт						
	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0
1	86.6	86.9	87.1	87.1	87.2	87.3	87,3
2	89.1	89.1	89.9	90.2	90.2	90.1	90.1
3	89.2	89.4	90.1	90.2	90.4	90.8	90.8
4	87.2	87.5	87.8	88.0	88.0	88.1	88.1

По результатам измерений из таблицы 3 видно, что увеличение потока излучения при увеличении расстояния от источника до приемника излучения не значительное. В частности, максимальное относительное увеличение потока излучения составило 1,8 %, минимальное 0,8 % вместо 8,6 и 8,1 % при измерении потока без учета влияния отраженного от поверхностей помещения излучения. Следовательно, можно сделать вывод о том, что для уменьшения погрешности измерения потока излучения бактерицидных ламп с линией 253,7 нм необходимо введение поправки на влияние отраженного потока излучения. Все это будет способствовать достоверной оценке параметров ультрафиолетовых бактерицидных ламп и как следствие корректному и более эффективному использованию данных источников для обеззараживания воды, воздуха и поверхностей помещений.

Список литературы

1. ГОСТ 8.760-2011. Государственная система обеспечения единства измерений. Измерение энергетических и эффективных характеристик ультрафиолетового излучения бактерицидных облучателей. Методика измерений. – Введен впервые ; введ. 13.12.2011 г. – Москва : Федеральное агенство по техническому регулированию и метрологии ; М. : Стандартинформ, 2014. – с.

05.11.13

О.В. Шиндор, Т.А. Изосимова, Ю.К. Евдокимов

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, Казань, o_v_sh@mail.ru

ДИАГНОСТИКА РОТОРНЫХ МАШИН С АКТИВНЫМ МАГНИТНЫМ ПОДВЕСОМ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ВИБРАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ МЕТОДАМИ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

На примере модели упругого ротора рассмотрена возможность контроля дисбалансного состояния роторной системы при использовании спектрального анализа и вейвлет-преобразования.

Ключевые слова: *роторные машины, дисбаланс, вибрационная диагностика, вейвлет-преобразование.*

Использование роторных машин (компрессоров, насосов, турбин, генераторов, вентиляторов) в ключевых отраслях производства предъявляет высокие требования к их состоянию в процессе эксплуатации, что требует внедрения методов диагностики и мониторинга. Среди методов диагностики роторного оборудования наибольшее применение находит вибрационная диагностика, как один из эффективных методов, позволяющих увеличить надежность оборудования за счет своевременного обнаружения дефекта [1-3]. Спектральный анализ среди методов вибродиагностики получил наибольшее распространение, вместе с этим он имеет и недостатки: значительные временные затраты на выполнение вычислений при неавтоматизированной обработке диагностических сигналов, невозможность локализации момента возникновения дефекта, слабая чувствительность к развивающимся дефектам, необходимость сбора информации для анализа за достаточно длительный промежуток времени [4].

Используя достоинства вейвлет-преобразования, в работе предлагается методика диагностики дисбаланса ротора на основе анализа вибрационных параметров опор ротора. Предлагается следующая методическая последовательность диагностики:

1. Организация точек измерения виброскорости опор ротора в соответствии с нормативными документами или локальными техническими документами для диагностируемого оборудования
2. Измерение виброскорости опор ротора на работающем агрегате в различных режимах работы и ввод измерительной информации в модуль-анализатор вибрационных данных;
3. Обработка вибродиагностических данных методами непрерывного вейвлет-преобразования; вычисление среднеквадратических значений вейвлет-коэффициентов оборотной частоты вращения ротора:

а) выбор анализирующего вейвлета;

б) выбор максимального значения и шага изменения масштабного коэффициента;

в) определение масштабного коэффициента, соответствующего частоте вращения ротора.

4. Прогнозирование дисбалансного состояния роторной системы по тренду изменения среднеквадратического значения вейвлет-коэффициентов во времени.

В качестве объекта исследования рассматривается ротор экспериментальной установки с магнитным подвесом, разработанной ООО «Технологии автоматизации» совместно с КНИТУ-КАИ при поддержке ЗАО «НИИ Турбокомпрессор им. В.Б. Шнеппа» г. Казань который идентичен ротору газоперекачивающих компрессорных машин, выпускаемых ЗАО «НИИ Турбокомпрессор им. В.Б. Шнеппа» г. Казань [5]. Ротор представляет собой вал, на котором закреплены диски осевых магнитных подшипников и шихтованные роторы радиальных магнитных подшипников. Он состоит из 26 цилиндрических участков различного диаметра. Масса ротора 51 кг, длина 1197 мм. С помощью программного комплекса для решения задач линейной и нелинейной динамики Dynamics R4 [6] была

создана стержневая конечно-элементная модель рассматриваемого ротора, состоящая из отдельных элементов типа «балка», объединенных в одну подсистему (рис. 1) [7].

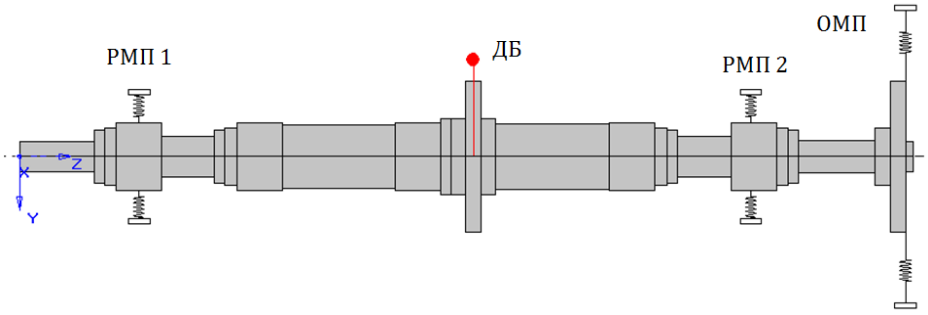


Рис. 1. Стержневая конечно-элементная модель ротора: РМП1 – радиальный магнитный подшипник 1, РМП2 – радиальный магнитный подшипник 2, ОМП – осевой магнитный подшипник [7]

В [7] определено, что величина допустимого дисбаланса ротора составляет D=4,318 г·см. В работе рассматривалось поведение гибкого ротора на основе анализа измерений вибрации вала собственными датчиками радиальных магнитных подшипников при изменении уровня дисбаланса системы. Сигнал реальной установки, содержащей упругий ротор, как правило, содержит различные виды помех, накладываемых на полезный сигнал, амплитуда которых может превышать сам сигнал. В качестве дополнительной флуктуационной компоненты вибрационного сигнала в работе рассматривался белый шум. Амплитуда шумовой компоненты была определена на основе анализа реального сигнала виброскорости гидрогенератора.

На рис. 2 приведены зависимости амплитуды спектральной составляющей, определенной на частоте вращения ротора от уровня дисбаланса системы для первой и второй опор ротора на частоте вращения 7000 об/мин (1) и 20000 об/мин (2), также представлена амплитудное значение спектра шумовой составляющей сигнала (3).

Анализ рис. 2 показывает, что спектральный анализ является эффективным при определении дисбаланса системы на частоте вращения 20000 об/мин, и позволяет отслеживать изменение дисбаланса системы, начиная с уровня 0,5÷0,7 г·см, в противном случае спектральная составляющая, соответствующая оборотной частоте вращения ротора теряется на фоне шумовой составляющей сигнала.

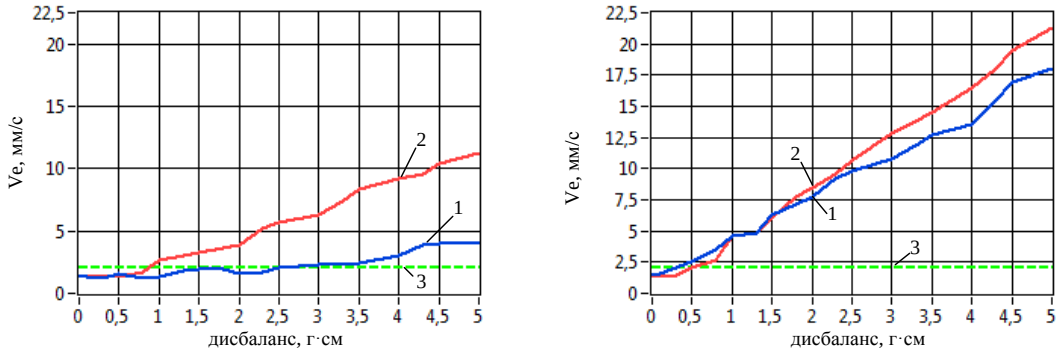


Рис. 2. Зависимость амплитуды составляющей спектра оборотной частоты вращения ротора от уровня дисбаланса для а) первой б) и второй опор на частоте (1) 7000 об/мин и (2) 20000 об/мин, (3) уровень шумов

На низких частотах вращения (7000 об/мин), отличающихся малыми уровнями вибрации опор ротора, применение спектрального анализа позволяет отслеживать изменение дисбалансного состояния с уровня 3,8 г·см для первой опоры и 1 г·см для второй опоры.

Предлагается в качестве диагностического признака при использовании вейвлет-преобразования использовать среднеквадратическое значение вейвлет-коэффициентов ε_a, определенных на оборотной частоте вращения ротора (масштабе a). Рис. 3 иллюстрирует

изменение значений ε_a при увеличении дисбаланса для первой (а) и второй опор (б) ротора на частоте вращения ротора 7000 об/мин (1) и 20000 об/мин (2).

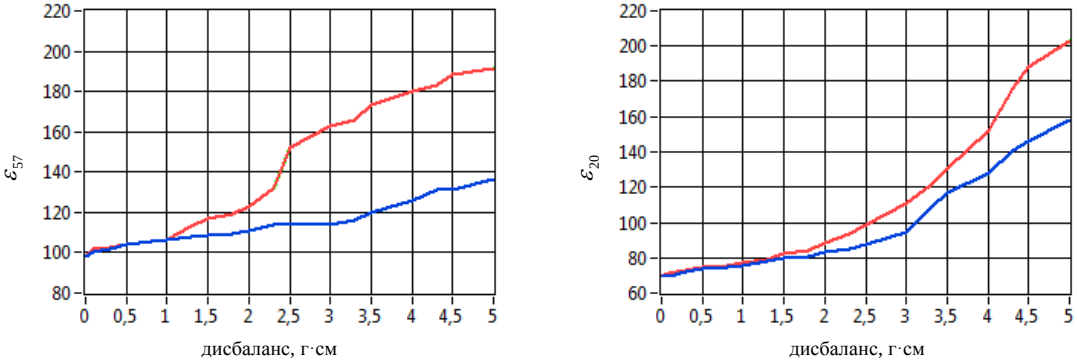


Рис. 3. Зависимость среднеквадратического значения вейвлет-коэффициентов от дисбаланса для первой (а) и второй (б) опор на частоте вращения ротора 7000 об/мин (1) и 20000 об/мин (2)

Как показывает рис. 3 при заданном уровне шумов нижний предел обнаружения дисбаланса системы составляет 0,1 г·см.

Для спектрального анализа и вейвлет-преобразования использовались реализации сигнала одинаковой длительности – 0,81 с. Таким образом, при равных условиях диагностики вейвлет-преобразование позволяет в 5÷10 раз эффективнее отслеживать изменение дисбалансного состояния роторной системы. Стоит отметить, что чувствительность метода вейвлет-преобразования постоянна в широком диапазоне дисбалансов при анализе вибрации опор ротора, вращающегося на частотах близких к предельной.

Полученные данные позволяют осуществлять прогнозирование дисбалансного состояния упругого ротора по тренду эволюции среднеквадратического значения вейвлет-коэффициентов во времени при равных интервалах наблюдения. Для построения кривой прогнозирования был использован метод наименьших квадратов.

Тренд изменения среднеквадратического значения вейвлет-коэффициентов $Tr(t)$ для первой и второй опор ротора на частоте вращения 20000 об/мин приведен на рис. 4.

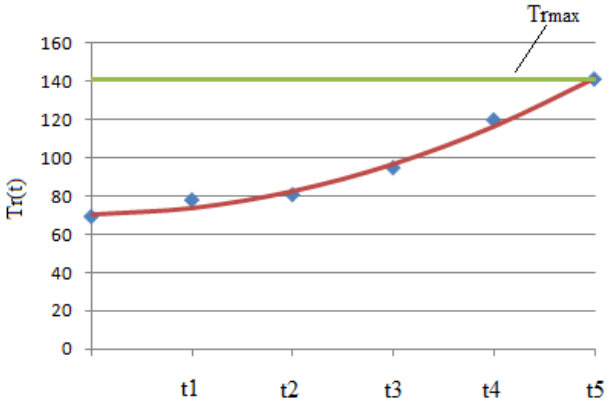


Рис. 4 – Тренд изменения среднеквадратического значения вейвлет-коэффициентов для первой опоры ротора на частоте вращении ротора 20000 об/мин

Список литературы

1. Неразрушающий контроль: Справочник в 7 т. Под общ. ред. В.В. Клюева, Т.7: В 2 кн. Кн. 2: Ф.Я. Балицкий, А.В. Барков, Н.А. Баркова и др. Вибродиагностика. – М.: Машиностроение, 2005. – 829 с.
2. Баркова Н.А., Дорошев Ю.С. Неразрушающий контроль технического состояния горных машин и оборудования: учебное пособие. – Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2009. – 157 с.
3. Ширман А.Р., Соловьев А.Б. Практическая вибродиагностика и мониторинг состояния механического оборудования. – М.: Спектр-инжиниринг, 1996. – 272 с.
4. Русов В.А. Диагностика дефектов вращающегося оборудования по вибрационным сигналам. – Пермь: Изд-во «Вибро-Центр», 2012. – 215 с.
5. Гузельбаев Я. З., Сусликов Э. В., Максимов В. А., Андрианов А. В. Синтез настроек системы магнитного подвеса стенда газодинамических испытаний малорасходных ступеней // Труды 15 Международной НТК по компрессорной технике. – Казань, 2011. – Т. 2. – С. 175-186
6. Программа Dynamics R4 для анализа вращающихся машин [Электронный ресурс] // URL http://www.rotordynamics.ru – (дата обращения 12.03.2015)
7. Евдокимов Ю. К., Изосимова Т. А., Давыдов А.В. Система автоматического управления активным магнитным подвесом ротора турбомашины // Изв. вузов. Авиационная техника. – 2014. – № 3. – С. 52-56

АННОТАЦИИ
ABSTRACTS

В.С. Минкин, П.П. Суханов

КОНФОРМАЦИОННЫЙ ЯМР-АНАЛИЗ РАЗВЕТВЛЕННОСТИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЖИДКИХ ТИОКОЛОВ

Ключевые слова: жидкие тиоколы, степень разветвленности, конформация, ядерный магнитный резонанс.

Анализ статистического набора спектров ЯМР ^{13}C промышленных и лабораторных образцов тиоколов показал, что разветвленность промышленных жидких тиоколов коррелирует с конформационными особенностями их молекулярных цепей, расположенных в окрестности центров разветвления. Разработанная на этой основе методика делает текущий ЯМР – контроль разветвленности промышленных жидких тиоколов более доступным и позволяет проводить его в ускоренном режиме.

V.S. Minkin, P.P. Sukhanov

CONFORMATIONAL NMR-ANALYSIS OF BRANCHED INDUSTRIAL LIQUID THIOKOLS

Keywords: liquid thiokols, degree of branching, conformation, nuclear magnetic resonance.

The analysis of statistical set of NMR 13C spectra of industrial and laboratory thiokols samples has shown, that the degree of thiokols branching correlates to the conformational peculiarities of their molecular chains, located nearby the centers of branching. Developed on this base methodic makes a current NMR control of industrial liquid thiokols branching more accessible and permits to fulfill it more rapidly.

В.С. Минкин, П.П. Суханов,
Б.Н. Иванов, А.П. Суханов

ОПТИМИЗИРУЮЩАЯ ДОБАВКА ДЛЯ ГЕРМЕТИКОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИСУЛЬФИДНЫХ ОЛИГОМЕРОВ

Ключевые слова: герметизирующие композиции, полисульфидные олигомеры, битуминозный песчаник, адгезия, жизнеспособность, рецептурный состав.

Разработаны новые рецептуры составов герметиков на основе полисульфидных олигомеров с добавлением серосодержащих битуминозных песчаников. Получены герметизирующие композиции с оптимальной жизнеспособностью, повышенной адгезией и стабильными физико-механическими свойствами, которые прошли пробные испытания и рекомендованы для промышленного применения. Показано, что механизм полифункционального действия оптимизирующей добавки может быть обусловлен ее участием в физико-химических стадиях процесса отверждения полисульфидных олигомеров диоксидами марганца.

V.S. Minkin, P.P. Sukhanov,
B.N. Ivanov, A.P. Sukhanov

OPTIMIZING ADDING AGENT FOR SEALANTS ON THE BASE OF POLYSULFIDE OLIGOMERS

Keywords: sealing compositions, polysulfide oligomers, bituminous sandstone, adhesion, viability, prescription composition.

New receipts for sealing compositions, based on polysulfide oligomers with added sulphur-containing bituminous sandstones, have been developed. As a result, sealing compositions with optimal viability, higher adhesion and stable physical-mechanical properties are made. They have passed all the tests and are recommended for industrial production. It is shown, that the mechanism of polyfunctional activity of optimizing adding agent may be due to its participation in physical-chemical stages of the polysulfide oligomers hardening by manganese dioxides process.

И.В. Фадеев, В.К. Половняк,
С.С. Еремеева, Ш.В. Садетдинов

ВЛИЯНИЕ АМИДОБОРАТНЫХ СОЕДИНЕНИЙ НА ПРОТИВОКОРРОЗИОННЫЕ СВОЙСТВА СТАЛИ

Ключевые слова: ингибитор коррозии, тетраборат аммония, формамид, диметилформамид, тиокарбамид, карбамид, карбамидборатный комплекс, коррозия стали, циклическая прочность стали, магнетитное покрытие, защита от атмосферной коррозии.

Рассматривается влияние амидоборатных соединений на основе формамида, диметилформамида, тиокарбамида, карбамида и тетрабората аммония на коррозионно-электрохимическое поведение стали Ст. 10 в 3-процентном растворе хлорида натрия. Наибольшим ингибиторным свойством в сравнении с исследованными составами обладает карбамидборатный комплекс - $(NH_4)_2B_4O_7 \cdot 2N_2H_4CO \cdot$

I.V. Fadeyev, V.K. Polovnik,
S.S. Eremeeva, Sh.V. Sadetdinov

THE INFLUENCE AMINOBORONIC COMPOSITIONS FOR ANTICORROSIVE PROPERTIES OF THE STEEL

Keywords: corrosion inhibitor, ammonium tetraborate, formamide, dimethylformamide, thiocarbamide, carbamide, carboidrati complex, corrosion and cyclic strength steel, magnetite coating, protection against atmospheric corrosion.

Examines the impact aminoboronic compounds on the basis of formamide, dimethylformamide, thiocarbamate, urea and ammonium tetraborate on corrosion-electrochemical behavior of steel 10 a 3 percent solution of sodium chloride. The greatest inhibitory property in comparison with the studied compounds has carboidrati complex - $(NH_4)_2B_4O_7$ $2N_2H_4CO$ $4H_2O$, which significantly reduces the corrosion rate and increases the safety factor of the cyclic strength of steel in a

$4H_2O$, который существенно снижает скорость коррозии и увеличивает коэффициент запаса циклической прочности стали в коррозионной среде. Водный раствор, содержащий 3г/л карбамидбората, позволяет получать на стали магнетитное покрытие, защищающее металл от атмосферной коррозии после промасливания.

corrosive environment. An aqueous solution containing 3 g/l of carboidrato, allow to become magnetite coating, that protects the metal against atmospheric corrosion after oiling.

В.В. Абрамова
РЕШЕНИЕ ПЕРИОДИЧЕСКИХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ ТИПА СВЁРТКИ С ПОЛОЖИТЕЛЬНЫМИ ОПЕРАТОРАМИ

Ключевые слова: интегральные уравнения, положительный оператор, обратный оператор, метод редукции, коэффициенты Фурье.

Получены весьма простые и эффективные достаточные условия существования и единственности решений периодических интегральных уравнений типа свёртки на основе теории положительных операторов, а также приводится теоретическое обоснование метода редукции для исследуемых уравнений.

V.V. Abramova
THE SOLUTION OF PERIODIC INTEGRAL CONVOLUTION EQUATIONS WITH POSITIVE OPERATORS

Keywords: integral equations, positive operator, inverse operator, reduction method, Fourier coefficients.

Very simple and effective sufficient conditions of existence and uniqueness of solutions of the periodic integral convolution equations on the basis of the theory of positive operators are received, as well as the theoretical justification of a method of a reduction for the investigated equations is resulted.

Т.М. Борисова, Р.А. Кастро, С.Д. Ханин
ДИЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ РЕЛАКСАЦИЯ В ПЛАНАРНЫХ СТРУКТУРАХ НА ОСНОВЕ СЛОЕВ AL_2O_3, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ МОЛЕКУЛЯРНОГО НАСЛАИВАНИЯ

Ключевые слова: диэлектрическая релаксация, аморфный оксид алюминия, молекулярное наслаивание.

Экспериментально исследованы диэлектрические свойства в планарных структурах на основе слоев оксида алюминия, полученных методом молекулярного наслаивания. Обнаружено, что диэлектрическая релаксация в исследуемых структурах определяется вкладом дипольно-релаксационной поляризации. Определены значения диэлектрических параметров для слоев Al_2O_3.

T.M. Borisova, R.A. Castro, S.D. Hanin
DIELECTRIC RELAXATION IN PLANAR STRUCTURES BASED ON AL_2O_3 LAYERS GROWN BY MOLECULAR LAYERING

Keywords: dielectric relaxation, amorphous aluminiun oxide, atomic layer deposition.

The dielectric properties of structures metal – oxide – semiconductor based on aluminium oxide layers obtained by atomic layer deposition (ALD) are experimentally investigated. It was revealed that the dielectric relaxation in the investigated structures is defined by the contribution of dipole polarization. The values of dielectric parameters are defined.

Д.П. Данилаев, М.П. Данилаев, Н.В. Дорогов
ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОЦЕССА КАПСУЛИРОВАНИЯ В МНОГОФАЗНЫХ ГАЗОВЫХ ПОТОКАХ

Ключевые слова: капсулирование в газовой фазе.

В работе приведена оценка эффективности формирования капсул в процессе осаждения частиц мономера на центры конденсации. Получены рекомендации по увеличению этой эффективности.

D.P. Danilaev, M.P. Danilaev, N.V. Dorogov
THE CAPSULATION PROCESS EFFECTIVENESS IN MULTIPHASE GAS FLOWS

Keywords: gaseous phase capsulation.

The capsulation effectiveness estimation of the condensation centers monomer particles deposition process is considered in that paper. The recommendation on the efficiency increase is considered.

В.В. Дружинин, А.А. Лазарев, Д.Д. Усанов
РЕШЕТО ВЫЧЕТОВ В ТЕОРИИ ПРОСТЫХ ЧИСЕЛ

Ключевые слова: простые числа, теория сравнений, вычеты.

Рассматривается вопрос о наличии простых чисел в окружении произведения простых чисел. С помощью теории сравнений строится таблица вычетов, которая указывает на наличие таких чисел. Свойства сравнений позволяют без особых расчётов фиксировать большие простые числа.

V.V. Druzhinin, A.A. Lazarev, D.D. Usanov
SIEVE DEDUCTIONS IN THE THEORY OF PRIME NUMBERS

Keywords: *prime numbers, the theory of comparisons and deductions.*

The article considers the question about the presence of primes surrounded by multiplications of primes. Using the theory of comparisons, we construct a table of deductions, which indicates the presence of such numbers. Properties allow create without special calculations a large prime number.

Р.А. Кастро, Н.И. Анисимова, Л.А. Набиуллина, Г.И. Грабко
ФОТОИНДУЦИРОВАННОЕ ИЗМЕНЕНИЕ

R.A. Kastro, N.I. Anisimova, L.A. Nabiullina, G.I. Grabko
PHOTOINDUCED CHANGE OF SPECTRAL

СПЕКТРАЛЬНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ОПТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ В СТЕКЛООБРАЗНОЙ СИСТЕМЕ $AS_{50}SE_{50}$

Ключевые слова: Фотоиндуцированные изменения, спектральная зависимость, оптические параметры, стеклообразные системы.

Проведено исследование фотоиндуцированного изменения спектральной зависимости оптических параметров в системе $As_{50}Se_{50}$. Установлено, что фотопотемнение образцов, вызванное фотостимулированным изменением их оптических свойств, связано с уменьшением оптической ширины запрещенной зоны. По мере роста толщины пленок значение достигаемого контраста нарастает во всем исследуемом диапазоне толщин, то есть эффект носит объемный характер.

DEPENDENCE OF OPTICAL PARAMETERS IN VITREOUS $AS_{50}SE_{50}$ SYSTEM

Keywords: Photoinduced change, spectral dependence, optical parameters, vitreous system

Research of photoinduced change of spectral dependence of optical parameters in As50Se50 system is conducted. photodarkening of samples is caused by photostimulated change of their optical properties. It is connect to decrease of optical bandgap. With increase of thickness of films value of contrast increases in all studied range of thickness. The effect has volume character.

Е.Н. Лубягина

ЧАСТИЧНЫЕ КОЛЬЦА НЕПРЕРЫВНЫХ ФУНКЦИЙ

Ключевые слова: частичное полукольцо непрерывных функций, компакт, максимальный идеал, гомоморфизм, двойственность.

В работе изучаются структурные свойства частичных колец всех непрерывных $[-1,1]$-значных функций на топологических пространствах. Дано описание их максимальных идеалов и гомоморфизмов, сохраняющих 1. Установлена двойственность между категорией частичных колец непрерывных функций и категорией компактов.

E.N. Lubiagina

PARTIAL SEMIRINGS OF CONTINUOUS FUNCTIONS

Keywords: semiring, topological space, semiring of partial functions.

The article is starting the study of partial semirings $C(X,[-1,1])$ of continuous partial functions with values in an arbitrary segment $[-1,1]$. It is shown some structural properties a partial semiring $C(X,[-1,1])$.

С.В. Рыков, Д.А. Кудрявцев,
В.А. Рыков, А.В. Свердлов

ЕДИНОЕ НЕАНАЛИТИЧЕСКОЕ УРАВНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ, УДОВЛЕТВОРЯЮЩЕЕ МАСШТАБНОЙ ГИПОТЕЗЕ

Ключевые слова: уравнение состояния, теория критических явлений, термодинамические свойства, дифторметан, хладагент R32.

На основе масштабной теории критических явлений построено единое неаналитическое уравнение состояние в физических переменных. Предложенное уравнение апробировано на примере описания равновесных свойств хладагента R32. Показано, что уравнение хорошо согласуется с экспериментальной информацией о термических и калорических свойствах R32 в области параметров состояния от 188 К до 430 К и до 40 МПа, включая окрестность критической точки.

S.V. Rykov, D.A. Kudryavtsev,
V.A. Rykov, A.V. Sverdlov

UNIFORM NON-ANALYTIC EQUATION OF STATE SATISFYING SCALE HYPOTHESIS

Keywords: equation of state, the theory of critical phenomena, thermodynamic properties, difluoromethane, R32.

On the basis of scale theory of critical phenomena is constructed a single non-analytic equation of state in the physical variables. The proposed equation was tested on the example of the description of the thermodynamic properties of the R32. It is shown that the equation agrees well with experimental information on the thermal and caloric properties of R32 in the field of state parameters from 188 K To 430 K and 40 MPa, including the neighborhood of the critical point.

С.В. Рыков, М.И. Полторацкий,
В.А. Рыков, Е.Г. Селина

УРАВНЕНИЕ ЛИНИИ НАСЫЩЕНИЯ R236EA

Ключевые слова: линия насыщения, критические индексы, линия упругости, R236ea, модель Вегнера, модель Янга-Янга.

На примере описания линии насыщения (ЛН) R236ea рассмотрены уравнения ЛН, которые в околокритической области удовлетворяют соответственно моделям Вегнера и Янга-Янга. Установлено, что и модель Вегнера, и модель Янга-Янга с малой погрешностью передают плотность и

S.V. Rykov, D.A. Kudryavtsev,
V.A. Rykov, E.G. Selina

THE EQUATION FOR THE SATURATION LINE R236EA

Keywords: saturation line, critical indices, the line of elasticity, R236ea, Wegner model, Yang-Yang model.

On the example of the description of the saturation line (SL) argon consider the equation of the SL that are in near-critical region respectively satisfy Wegner and Yang-Yang models. It is found that the Wegner model, and Yang-Yang model with a small error transmit the density and pressure on the phase equilibrium line of the

давление на линии фазового равновесия хладагента R236ea и могут успешно использоваться при описании ЛН в диапазоне температур от тройной точки до критической.

refrigerant R236ea and can be successfully used in the description of the SL in the temperature range from the triple point to the critical point.

Э.С. Сибгатуллин, О.Г. Новоселов, К.Э. Сибгатуллин

ПРЕДЕЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ ОБЪЕМНЫХ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ ТРЕХОСНЫХ НАПРЯЖЕННЫХ СОСТОЯНИЯХ

Ключевые слова: объемные конечные элементы, параметрические уравнения предельной поверхности, прочность, силы и моменты.

В работе рассмотрены изотропные тела, по-разному сопротивляющиеся растяжению и сжатию. С использованием жесткопластической модели деформируемого твердого тела, соотношений теории пластического течения и гипотез кинематического характера, получены параметрические уравнения предельной поверхности в 18-мерном пространстве (9-ти сил и 9-ти моментов) внутренних силовых факторов (ВСФ) для конечного элемента (КЭ) в форме прямоугольной призмы. Для КЭ в форме прямоугольных тетраэдров силы и моменты на их наклонных площадках определяются из уравнений равновесия.

E.S. Sibgatullin, O.G. Novoselov, K.E. Sibgatullin

LIMIT STATE VOLUMETRIC FINITE ELEMENTS IN TRIAXIAL STATE OF STRESS

Keywords: *forces and moments, strength, the parametric equations of the limiting surface, volumetric finite element.*

The paper deals with isotropic bodies, different resistance to tension and compression. With the use of a rigid-plastic model of deformable solids, relations of the theory of plastic flow and hypotheses kinematic character, obtained parametric equations of the limiting surface in 18-dimensional space (9 force and 9 moment) internal force factors (IFF) for finite element (FE) in the form of a rectangular prism. For FE in the form of rectangular tetrahedron forces and moments on their facets are determined from the equations.

А.Н. Углов, Г.А. Якупова

ОБ ОДНОЗНАЧНОЙ РАЗРЕШИМОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ НЕЛИНЕЙНЫХ КРАЕВЫХ ЗАДАЧ ДЛЯ ПРОИЗВОЛЬНОГО УПРУГОГО НЕОДНОРОДНОГО ИЗОТРОПНОГО ТЕЛА

Ключевые слова. Упругое неоднородное изотропное тело, уравнения равновесия, краевая задача, трехмерные сингулярные интегральные уравнения, символ сингулярного оператора, теорема существования.

В работе изучается разрешимость нелинейных краевых задач трехмерной теории упругости для произвольного неоднородного изотропного тела. Цель работы - доказательство теоремы существования решений. Задача сводится к системе трехмерных сингулярных интегральных уравнений, разрешимость которой устанавливается с использованием символа сингулярного оператора и принципа сжатых отображений.

A.N. Uglov, G.A. Yakupova

ON THE UNIQUE SOLVABILITY SPATIAL NONLINEAR BOUNDARY VALUE PROBLEMS FOR ARBITRARY ELASTIC IZOTROPIC INHOMOGENEOUS BODY

Keywords: Elastic isotropic inhomogeneous body, equilibrium equations, boundary value problem, three-dimensional singular integral equations, singular operator symbol, existence theorem.

We study the solvability of nonlinear boundary value problems of the theory of three-dimensional elasticity for an arbitrary inhomogeneous isotropic body. The aim is to prove the existence theorems of solutions. The problem is reduced to a system of three-dimensional singular integral equations, the solvability of which is set with use of singular operator symbol and the principle of compressed representations.

Л.С. Харасова

О РАЗРЕШИМОСТИ ОДНОЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКИ НЕЛИНЕЙНОЙ КРАЕВОЙ ЗАДАЧИ ДЛЯ ПОЛОГИХ ОБОЛОЧЕК ТИПА ТИМОШЕНКО С ШАРНИРНО ОПЕРТЫМИ КРАЯМИ

Ключевые слова: система уравнений равновесия, краевая задача, интегральные представления, теорема существования.

Работа посвящена исследованию разрешимости нелинейной краевой задачи для пологих изотропных однородных оболочек типа Тимошенко с шарнирно опертыми краями. Метод исследования заключается в сведении исходной задачи к одному нелинейному операторному уравнению, разрешимость которого устанавливается с помощью принципа сжатых отображений. Основу метода составляют интегральные представления для перемещений,

L.S. Kharasova

SOLVABILITY OF ONE GEOMETRICALLY NONLINEAR BOUNDARY-VALUE PROBLEM FOR SHALLOW SHELLS OF TIMOSHENKO TYPE WITH PIVOTALLY SUPPORTED EDGES.

Keyword: equilibrium equations system, boundary problem, integral images, existence theorem.

In the paper we investigate the solvability of a nonlinear boundary-value problem for shallow isotropic homogeneous Timoshenko-type shells with simply supported edges. Research method consists in reduction the original problem to one nonlinear operator equation. The solvability is established by the principle of contracting mappings. The method based on integral representations for displacements, which are built with the assistance of the general solutions of the nonhomogeneous equation of Cauchy-Riemann.

которые строятся с привлечением общих решений неоднородного уравнения Коши-Римана.

А.М.А. Хинайш, Д.М. Спиридонов, А.С. Вохминцев, И.А. Вайнштейн

ТУШЕНИЕ ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ В МИКРОПОРОШКЕ h-BN ПРИ ТЕМПЕРАТУРАХ ВЫШЕ КОМНАТНОЙ

Ключевые слова: гексагональный нитрид бора, закон Мотта-Зейтца, соотношение Стрита, безызлучательная релаксация.

Исследованы закономерности температурного тушения фотолюминесценции в микропорошках гексагонального нитрида бора. Обнаружено, что при увеличении температуры образцов от 300 до 750 К интегральная интенсивность полосы 3.56 эВ уменьшается до фоновых значений. Полученные результаты описаны с использованием соотношений Мотта-Зейтца и Стрита, для которых определены соответствующие параметры. Показано, что наблюдаемая температурная зависимость свечения может быть обусловлена двумя безызлучательными каналами релаксации эмиссионно-активных центров.

A.M.A. Henaish, D.M. Spiridonov, A.S. Vokhmintsev, I.A.Weinstein

PHOTOLUMINESCENCE QUENCHING IN h-BN MICROPOWDER ABOVE ROOM TEMPERATURE

Keywords: hexagonal boron nitride, Mott-Seitz law, Street's relation, non-radiative relaxation

Regularities of photoluminescence thermal quenching in micropowder of hexagonal boron nitride were investigated. It was found that integral intensity of 3.56 eV emission band decreases down to background by increasing the temperature from 300 to 750 K. Experimental results were described using Mott-Seitz and Street's equations, corresponding parameters were evaluated. It was shown that the presence of two non-radiative relaxation channels could cause the observed temperature dependence of the photoluminescence response.

К.Г. Белова, А.В. Обрубова, С.С. Нохрин, И.Е. Анимица

ПРОВОДИМОСТЬ ПЕРОВСКИТОПОДОБНЫХ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ $Ba_4Ca_2Nb_{2-x}P_xO_{11}$

Ключевые слова: перовскит, оксоанионное допирование, изовалентное допирование, протонная проводимость.

В работе рассмотрена принципиальная возможность оксоанионного допирования сложного оксида $Ba_4Ca_2Nb_2O_{11}$ *с разупорядоченным вакансиями кислорода. Впервые получены твердые растворы* $Ba_4Ca_2Nb_{2-x}P_xO_{11}$ *x=0.0−0.5, определены их параметры ячейки. Исследованы температурные зависимости проводимости полученных твердых растворов. Показано, что введение малых количеств фосфора повышает общую проводимость системы* $Ba_4Ca_2Nb_{2-x}P_xO_{11}$*, кроме того введение фосфора повышает температуру отклика системы на влажность до 800°C.*

K.G. Belova, A.V. Obrubova, S.S. Nokhrin, I.E. Animitsa

CONDUCTIVITY OF PEROVSKITE-LIKE SOLID SOLUTIONS $Ba_4Ca_2Nb_{2-x}P_xO_{11}$

Keywords: *perovskite, oxyanion doping, isovalent doping, proton conductivity.*

In this paper we show the possibility of oxyanion doping in complex oxides with disordered oxygen vacancies. The homogeneity region of solid solutions $Ba_4Ca_2Nb_{2-x}P_xO_{11}$ *is x=0.0−0.5. The temperature dependencies of conductivity are investigated. It is demonstrated that the introduction of small amounts of phosphorus increases the total conductivity of the system* $Ba_4Ca_2Nb_{2-x}P_xO_{11}$*, besides the introduction of phosphorus increases the temperature of system's response to humidity up to 800 ° C.*

В.В. Шмидт, И.Г. Жихарева, А.А. Ракашов

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ФАЗОВОГО СОСТАВА И КОНЦЕНТРАЦИОННЫХ ГРАНИЦ СУЩЕСТВОВАНИЯ ФАЗ ДЛЯ ТРОЙНЫХ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИХ СПЛАВОВ ZN-NI-CO

Ключевые слова: электролитические сплавы, интерметаллиды, прогнозирование фазового состава.

На основании четырех критериев фазообразования, предложенных для гальванопокрытий, теоретически рассчитан фазовый состав, соотношение ионов металлов в электролите осаждения и определены границы существования интерметаллидов: γ-фаза (Ni_5Zn_{21}) *и γ'-фаза* ($NiZn_3$) *в тройном сплаве Zn-Ni-Co.*

V.V. Shmidt, I.G. Zhikhareva, A.A. Rakashov

PREDICTING THE PHASE COMPOSITION AND CONCENTRATION BOUNDARIES FOR THE EXISTENCE OF THE PHASE TRIPLE ELECTROLYTIC ALLOYS ZN-NI-CO

Keywords: electrolytic alloys, intermetallic compounds, forecasting phase composition.

On the basis of four criteria phase formation proposed for electroplating theoretically calculated phase composition, the ratio of metal ions in the electrolyte deposition and identify the existence of intermetallic compounds: γ-phase (Ni5Zn21) and γ'-phase (NiZn3) in the ternary alloy Zn-Ni-Co.

В.В. Аникеев, В.Д. Ильиных

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА НА РЕСУРС ДВИГАТЕЛЕЙ АВТОМОБИЛЯ КАМАЗ-4310

Ключевые слова: формирование ресурса, цилиндро-поршневая группа (ЦПГ), температура воздуха,

V.V. Anikeev, V.D. Ilinyh

THE TEMPERATURE INFLUENCE ON THE LIFE OF THE ENGINE KAMAZ-4310

Keywords: formation of the resource, the cylinder-porshneva group, air temperature, climatic conditions.

климатические условия.

В статье рассматривается проблема влияние среднегодовой температуры воздуха на интенсивность расходования ресурса автомобильных двигателей. Проанализированы подходы к решению этой задачи. Предложена методика корректирования нормативов ресурса двигателей.

In the article the problem of the influence of mean annual air temperature on the intensity of usage of automobile engines. The approaches to solving this problem. The technique of correcting the standards of life of engines.

А.Ф. Анчугова, Р.М. Галиев, Н.С. Галимов, Р.Т. Насибуллин, И.М. Нуриев, А.Н. Сущикова

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ГЕНЕРАТОРОВ В ПЕРСПЕКТИВНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ ВЕТРОЭНЕРГОУСТАНОВОК

Ключевые слова: ветроэнергоустановка, автомобильный генератор, модульный ветрогенератор.

Представлены условия повышения энергоотдачи ветрогенераторов и способы использования автомобильных генераторов в конструкциях ветроэнергоустановок. Показаны пути повышения эффективности использования ветроэнергоустановок.

A.F. Anchugova, R.M. Galiev, N.S. Galimov, R.T. Nasibullin, I.M. Nuriev, A.N. Sushchikova

FEATURS OF THE AUTOMOBILE GENERATORS' USING IN ADVANCED DESIGNS OF THE WIND POWER EQUIPMENT

Keywords: wind power equipment, automobile generator, modular wind generator.

Authors present conditions of the increasing of energy output of wind generators and ways of the using of automobile generators in designs of the wind power equipment. Also shows the ways of increasing efficiency of the using of wind power equipment.

М.К. Бойдало, Г.П. Жигулин

ПРАКТИЧЕСКАЯ ПРОВЕРКА МЕТОДА И МОДЕЛИ ОЦЕНКИ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО СООТВЕТСТВИЯ ПЕРСОНАЛА В ВОПРОСАХ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Ключевые слова: информационная безопасность, математическое моделирование, персонал, инсайдер, организационная приверженность.

В статье описывается практический эксперимент, проведенный для проверки модели оценки профессионального соответствия персонала в вопросах обеспечения информационной безопасности. Рассматриваются результаты эксперимента и возможность применения метода и модели для решения практических вопросов.

M.K. Boidalo, G.P. Zhigulin

PRACTICAL TEST OF THE METHOD AND MODEL OF EVALUATION OF PERSONNEL PROFESSIONAL APPROPRIATENESS FOR INFORMATION SECURITY ENSURING

Keywords: *information security, mathematical model, insider, organizational commitment*

The article describes the practical experiment conducted to verify the compliance assessment model of professional staff in matters of information security. It contains the results of the experiment and the possibility of applying the method and model to solve practical problems.

М.К. Бойдало, Г.П. Жигулин

ПЕРСОНАЛ ОРГАНИЗАЦИИ КАК УЯЗВИМОСТЬ В СИСТЕМЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ: АТАКИ И ПРОТИВОДЕЙСТВИЕ ИМ

Ключевые слова: информационная безопасность, персонал, инсайдер, организационная приверженность.

В статье рассматривается роль персонала организации в обеспечении её безопасности. Проводится анализ угроз безопасности реализуемых через атаку на персонал организации и методы противодействия им.

M.K. Boidalo, G.P. Zhigulin

ORGANIZATION'S STAFF AS VULNERABILTY OF INFORMATION SECURITY: ATTACKS AND DEFENSES

Keywords: information security, organization's staff, insider, organizational commitment.

The article draws attention to the role of the staff of the organization to ensure its information security. The article analyzes the threats to information security implemented by organization's staff and methods of protection against them.

С.А. Бондаренко, А.Н. Ефремов, С.Н. Мерзляков, Ю.В. Соколкин, В.Я. Модорский, А.В. Козлова

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В КАНАЛАХ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ

Ключевые слова: газодинамические параметры, канал сложной формы, сопряженный теплообмен, инженерная методика.

Целью исследования является адаптация комплекса

S.A. Bondarenko, A.N. Efremov, S.N. Merzlyakov, U.V. Sokolkin, V.Ya. Modorsky, A.V. Kozlova

NUMERICAL SIMULATION OF GAS DYNAMIC PROCESSES IN THE CHANNELS OF COMPLICATED GEOMETRY

Keywords: gasdynamic parameters, channel complicated geometry, conjugate heat transfer, engineering technique.

The aim of the research is to adapt the ANSYS CFX for

ANSYS CFX для проведения расчетов газодинамических процессов в каналах сложной формы с сопряженным теплообменом. В рамках задачи рассчитывались параметры течения, параметры теплообмена между газом и ограждающей конструкцией. Расчетные исследования проводились применительно к тракту, содержащим области с дозвуковым, трансзвуковым и сверхзвуковым течением.

the calculation of gas-dynamic processes in channels of complicated geometry with conjugate heat transfer. As part of the task flow parameters and parameters of heat transfer between the gas and walling were calculated. Calculations were carried out for a channel containing a region with subsonic, transonic and supersonic flow.

А.П. Буйносов, Д.Ю. Козаков

РАЗРАБОТКА МОБИЛЬНОГО СТАНКА ДЛЯ ОБТОЧКИ КОЛЕСНЫХ ПАР ЭЛЕКТРОПОЕЗДА

Ключевые слова: электропоезд, колесная пара, обточка, станок, мобильный, разработка.

В статье приводятся технические характеристики и элементы разработанного опытного образца мобильного токарного станка для обточки колесных пар без выкатки из под вагона электропоезда.

A.P. Buinosov, D.Yu. Kozakov

DEVELOPMENT OF THE MOBILE MACHINE FOR TURNING OF WHEELPAIRS OF THE ELECTRIC TRAIN

Keywords: electric train, wheelpair, turning, machine, mobile, development.

Technical characteristics and elements of the developed prototype of the mobile lathe for turning of wheelpairs without vykatka from under the electric train car are given in article.

А.П. Буйносов, И.В. Умылин

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ОБТОЧКИ БАНДАЖЕЙ КОЛЕСНЫХ ПАР ЛОКОМОТИВОВ

Ключевые слова: локомотив, колесная пара, бандаж, процесс, обточка, оптимизация.

В статье приведены результаты оптимизации процесса обточки бандажей по предложенной методике за счет выбора наилучшего профиля поверхности катания колесных пар исходя из критерия минимума технологического износа.

A.P. Buinosov, I.V. Umylin

OPTIMIZATION OF PROCESS OF TURNING OF BANDAGES OF WHEELPAIRS OF LOCOMOTIVES

Keywords: locomotive, wheelpair, bandage, process, turning, optimization.

Results of optimization of process of turning of bandages on the offered technique at the expense of a choice of the best surface profile of driving of wheelpairs proceeding from criterion of a minimum of technological wear are given in article.

А.М. Васильев, В.К. Гарипов, М.А. Костромин

ВОПРОСЫ ПРИМЕНЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ МАРШРУТИЗАЦИИ В РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

Ключевые слова: распределенные системы, маршрутизация, информационные потоки, управление, буфер, параметры маршрута, имитационная модель.

В статье рассмотрены вопросы управления информационным потоком в распределенных информационно-измерительных системах. Показано, что сложность заключается в многофакторности и неопределенности. Представлена модель и алгоритм маршрутизации, показана эффективность их работы.

A.M Vasilyev, V.K. Garipov, M.A. Kostromin

QUESTIONS OF APPLICATION OF DYNAMIC ROUTING IN THE DISTRIBUTED INFORMATION-MEASURING SYSTEMS

Keywords: the distributed systems, routeing, information streams, management, the buffer, route parametres, imitating model.

In article management questions by an information stream in the distributed information-measuring systems are considered. It is shown that complexity consists in многофакторности and uncertainty. The model and algorithm of routeing is presented, efficiency of their work is shown.

В.И. Воронов, Ф.Н Нурамов

ВЛИЯНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МНОГОВОЛОКОННОГО ИЗЛУЧАТЕЛЯ АТМОСФЕРНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ ЛИНИИ СВЯЗИ НА ПОЛЕ В ЗОНЕ ПРИЕМА

Ключевые слова: атмосферные оптические линии связи, многоволоконный лазерный излучатель, погрешности изготовления, поле в дальней зоне.

В работе рассмотрено влияние неодинаковой длины волокон, образующих многоволоконный лазерный излучатель атмосферной оптической линии связи, на амплитудное распределение поля излучения в дальней зоне – зоне приема сигнала.

V.I. Voronov, F.N. Nuramov

THE INFLUENCE OF MANUFACTURING ERRORS OF MULTI-FIBER EMITTER FOR FREE SPACE OPTICS ON THE RECEPTION AREA FIELD

Keywords: free space optics, multi-fiber laser emitter, manufacturing errors, far-field region.

In this paper we examine the effect of different length fibers, which form the multifiber laser emitter for free space optics (FSO) on the amplitude field distribution in the far-field region - the region of signal reception.

Д.М. Вохмин

D.M. Vokhmin

ОБОСНОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ЗАКОКСОВАННОСТИ РАСПЫЛИТЕЛЕЙ НА ПЕРИОДИЧНОСТЬ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ФОРСУНОК ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Ключевые слова: надёжность, среднетехническая скорость, форсунка, наработка, ресурс, техническое состояние.

В статье рассматривается вопрос взаимосвязи факторов условий работы автомобиля и надёжности работы форсунок двигателя. На основе экспериментальных данных о параметрах технического состояния в зависимости от наработки, рассмотрены закономерности изменения параметров технического состояния форсунки по наработке. Установлены закономерности влияния наработки и скорости движения автомобиля на интенсивности изменения параметров технического состояния форсунки. Выявлена закономерность влияния технической скорости на ресурсы до достижения предельного значения по параметрам технического состояния.

RATIONALE FOR INFLUENCE FACTOR COKING SPRAYER MAINTENANCE INTERVALS INJECTORS DIESEL ENGINES

Keywords: reliability, technical secondary speed, technical state, operating time, resource.

The question of intercommunication of factors of terms of work of car and reliability of work of sprayers of engine is examined in the article. On the basis of experimental data about the parameters of the technical state depending on work, conformities to law of change of parameters of the technical state of sprayer are considered on work. Conformities to law of influence of work and rate of movement of car are set on intensity of change of parameters of the technical state of sprayer. Conformity to law of influence of technical speed is educed on resources to the achievement of maximum value on the parameters of the technical state.

Д.М. Вохмин, В.Д. Ильиных

МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ РЕСУРСА РАСПЫЛИТЕЛЕЙ ФОРСУНОК ДВИГАТЕЛЕЙ 740.31-240 АВТОМОБИЛЕЙ КАМАЗ-53215 С УЧЕТОМ СРЕДНЕЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ СКОРОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Ключевые слова: надёжность, среднетехническая скорость, форсунка, наработка, ресурс, техническое состояние.

В статье рассматривается вопрос взаимосвязи факторов условий работы автомобиля и надёжности работы форсунок двигателя. В соответствии с концепцией формирования качества автомобилей в процессе эксплуатации, представлена концепция формирования реализуемого ресурса форсунок. Представлены численные значения модели закономерностей влияния средней технической скорости на наработки до достижения предельно допустимых значений по параметрам технического состояния форсунок.

D.M. Vokhmin, V.D. Ilinyh

MODEL RESOURCE GENERATION INJECTION NOZZLES ENGINES 740.31-240 KAMAZ-53215 BASED ON THE AVERAGE SPEED OVER OPERATION

Keywords: reliability, technical secondary speed, technical state, operating time, resource.

The article discusses the relationship of factors working conditions of the car and the reliability of the engine nozzles. For the simulation of the changes proposed by the technical condition of the simulation model. In accordance with the concept of formation of quality vehicles in service, introduced the concept of formation implemented resource injectors. The numerical values of model laws influence the average speed on the technical developments to achieve the maximum permissible values for the parameters of the technical condition of the injectors.

Р.М. Галиев, А.З. Гумеров, Р.Т. Насибуллин, А.Ш. Садриев, Р.Ш. Садриев, Л.Р. Саримов

ЭЛЕКТРОННЫЙ СЕЛЕКТОР ДЛЯ КОРОБКИ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ ПЕРЕДАЧ ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ КАМАЗ

Ключевые слова: коробка переключения передач, электронный селектор, дистанционное управление.

Представлена система электронного селектора для механической коробки переключения передач. Разработанная электронная система позволяет дистанционно переключать передачи автомобиля. Эта система облегчает условия работы водителя и увеличивает комфортность вождения.

R.M. Galiev, A.Z. Gumerov, R.T. Nasibullin, A.Sh. Sadriev, R.Sh. Sadriev, L.R. Sarimov

ELECTRONIC SELECTORS FOR TRANSMISSION OF KAMAZ TRUCKS

Keywords: transmission, electronic selector, remote control.

Authors presents system of electronic selectors for mechanic transmission. The designed electronic system makes it possible remote switching gear of truck. This system makes it ease conditions of driver working and increases of driving comfort.

Т.П. Дворянинова, А.В. Жданов, Л.В. Беляев

ОЦЕНКА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО СПЕКАНИЯ

Ключевые слова: селективное лазерное спекание (СЛС), производительность, технологические

T.P. Dvoryaninova, A.V. Zhdanov, L.V. Belyaev

STUDY CHARACTERISTICS NITRIDE AND CARBON-BASED COATINGS AlSiCr AND AlSiTi

Key words: selective laser sintering (SLS), the performance, the technological parameters.

параметры.

Приводятся результаты теоретических исследований производительности процесса селективного лазерного спекания металлических порошков. Получены графические зависимости от основных технологических факторов процесса: температуры поверхности, мощности лазерного излучения, объема детали и угла подъема слоя. Выявлены рациональные режимы спекания для заданных материалов.

The results of theoretical research productivity of the process of selective laser sintering of metal powders. A graphical, depending on the basic technological process factors: surface temperature, laser power, and the angle of the component layer recovery. Revealed rational modes for a given sintering materials.

Н.А. Дородников

РЕАЛИЗАЦИЯ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛИ УНИВЕРСАЛЬНОЙ ЛВС В МОМЕНТ ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ УГРОЗАМ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Ключевые слова: генетический алгоритм, расчет параметров ЛВС, ниверсальная схема ЛВС, математическая модель, информационная безопасность.

В статье рассматривается способ расчета параметров модели универсальной ЛВС в момент противодействия угрозам информационной безопасности, основанный на использовании генетического алгоритма. Описывается спроектированная модель ЛВС, параметры разрабатываемого алгоритма, а также – его реализация.

N.A. Dorodnikov

REALIZING GENETIC ALGORITHMS CALCULATING THE PARAMETERS OF THE MODEL OF UNIVERSAL LAN WHILE COUNTERACT INFORMATION SECURITY THREATS

Keywords: *genetic algorithm, parameter calculation LAN, LAN universal scheme, mathematical model, information security*

The article discusses the method of calculating the parameters of the model at the time of the universal LAN counter threats to information security based on the use of genetic algorithm. Designed model describes the LAN parameters of the developed algorithm, and its implementation also.

А.А. Ершов, А.В. Теренчук

БЕЗОПАСНОСТЬ ШТОРМОВОГО ПЛАВАНИЯ СУДНА

Ключевые слова: аварии судов в шторм, параметрический резонанс, способы предотвращения.

В работе рассматривается использование диаграммы Ю.В.Ремеза для определения опасных зон параметрического резонанса, которое может повысить безопасность судоходства при плавании судна в шторм.

A.A. Ershov, A.V. Terenchuk

SAFETY OF STORM NAVIGATION OF THE VESSELS

Keywords: accidents vessels in a storm, parametric resonance, methods of prevention.

The paper discusses the use of diagrams Yu.V.Remez to determine danger zones of parametric resonance, which can improve the safety of navigation in the navigation of the ship in a storm.

А.А. Ершов, Д.А. Хухарев

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УПРАВЛЕНИЯ СУДНОМ ПРИ ШВАРТОВКАХ

Ключевые слова. Планшеты управления судном. Швартовые операции. Безопасность и эффективность.

В работе рассматривается использование специально рассчитанных схем управления судном при швартовках для повышения безопасности и эффективности швартовных операций в российских портах.

A.A. Ershov, D.A. Huharev

IMPROVEMENT OF MOORING OF THE SHIPS

Keywords. Vessel maneuvering tables. Mooring operations. The safety and efficiency.

The paper discusses the use of a *specially designed vessel maneuvering tables can improve the safety and efficiency of in the Russian ports.*

Э.И. Закирова

ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕХНОЛОГИИ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ВЫБОРА МАГИСТЕРСКОЙ ПРОГРАММЫ

Ключевые слова: многоуровневая образовательная система, компетентностный подход, основная образовательная программа, экспертные системы.

Рассматриваются вопросы разработки алгоритма выбора магистерской программы на основе сформированных в бакалавриате компетенций.

E.I. Zakirova

ABOUT USING EXPERT SYSTEMS FOR SOLVING PROBLEMS OF SELECTION OF MASTER'S PROGRAMS

Keywords: *multilevel system of education, competence approach, basic educational program, expert systems.*

Questions of algorithm development are considered in case of a selection of a Masters' teaching programs with the given set of bachelor competences. The selection is carried out on the basis of expert systems method which

Выбор осуществляется на основе метода экспертных систем, который реализован в виде информационно-аналитической системы поддержки принятия решений. Приводятся результаты апробации предложенных решений.

is implemented in the form of information-analytical decision support system. Presents results of approbation proposed solution.

Р.Н. Захаров, И.Б. Бондаренко

МЕТОД АНАЛИЗА ПОПУЛЯРНОГО КОНТЕНТА СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЕЙ

Ключевые слова: социальные сети, оценка качества контента, социальная фильтрация, сетевые службы, програмные интерфейсы.

Вывод базовой математической модели для практической реализации алгоритма, позволяющей выделять наиболее популярные единицы контента в социальных сетях используя публичнодоступные метрики.

R.N. Zaharov, I.B. Bondarenko

DETECTING POPULAR CONTENT ON SOCIAL NETWORKS

Keywords: *social networks, collaborative filtering, content filtration, web servcies, API, fuzzy logic*.

The purpose of this research is to build math model for practice purpose which will sort out most popular content on social network. Model is based on public available actions such as number of likes, shares and comments and doesn't involve AI algorithms.

В.О. Зотов

ВЛИЯНИЕ ПЛАСТИЧЕСКОЙ НЕУСТОЙЧИВОСТИ ПРИРЕЗЦОВЫХ СЛОЕВ ОБРАБАТЫВАЕМОГО МАТЕРИАЛА НА ИЗНАШИВАНИЕ ТВЕРДОСПЛАВНОГО ИНСТРУМЕНТА

Ключевые слова: резание, пластическая неустойчивость, износ инструмента.

Исследовано влияние реализации вихревых мод деформации в прирезцовых слоях стружки на износ твердосплавного инструмента при резании. Показано, что пластическая неустойчивость прирезцовых слоев стружки облегчает раскачку и вырыв зерен карбидной фазы. С этих позиций рассмотрены причины немонотонности зависимости стойкости инструмента от скорости резания. Указаны пути повышения износостойкости твердосплавного инструмента.

V.O. Zotov

THE INFLUENCE OF PLASTIC INSTABILITY PERISCOPIC LAYER OF THE PROCESSED MATERIAL ON THE WEAR OF CARBIDE TOOL

Keywords: cutting, plastic instability, tool wear.

The influence of the implementation of the vortex modes of deformation layers of chips coming down on the cutting wedge on the wear of carbide tools when cutting. It is shown that the plastic instability of these layers facilitates chip buildup and digging grain carbide phase. From this perspective, examines the causes of the nonmonotonic dependence of the tool life of the cutting speed. Ways of improving the wear resistance of carbide tools.

А.С. Исаев, Е.А. Хлюпина

ПРИНЯТИЕ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ УГРОЗ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Ключевые слова: информационная безопасность, управление информационной безопасностью, неопределенность выбора, поддержка принятий решений.

В настоящей работе представлены результаты исследований по определению, обоснованию и принятию управленческих решений в действующих системах защиты информации при условии неопределенности возникновения угроз информационной безопасности.

A.S. Isaev, E.A. Khluypina

MAKING MANAGEMENT DECISIONS UNDER UNCERTAINTY OF INFORMATION SECURITY THREAT

Keywords: information security, information security management, the uncertainty of choice, decision support.

This paper presents the results of research by definition, justification and management decisions in operating systems of information protection, provided the uncertainty of occurrence of information security threats.

Е.Г. Ишкина

ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ И СЕРВИСА ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ В РОССИИ

Ключевые слова: жизненный цикл автомобиля, фирменный автосервис, эксплуатация легкового автомобиля.

В работе рассмотрены тенденции развития машиностроения. Описано отношение российских автолюбителей к техническому обслуживанию автомобиля. Предложено управлять фирменными автосервисами на основе жизненного цикла

E.G. Ishkina

FEATURES OF OPERATION AND SERVICE CARS IN RUSSIA

Keywords: the life cycle of the vehicle, company car service, car maintenance

The paper discusses the development trends of engineering. It describes the relationship Russian motorists to car maintenance. It is proposed to manage brand car services based on the life cycle of the vehicle.

автомобиля.

И.В. Карнаухова, В.Н. Карнаухов, Д.А. Захаров

ВЛИЯНИЕ ВОДЯНЫХ ПАРОВ НА ТОПЛИВНУЮ ЭКОНОМИЧНОСТЬ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Ключевые слова: диссоциация воды, экономия топлива, сгорание.

Влага, находящаяся в топливе и воздухе, а также образующаяся в процессе химической реакции, испаряется и на это непроизводительно расходуется часть тепла топлива, что негативно влияет на показатели расхода топлива. В работе представлены результаты исследования процесса диссоциации воды в камерах сгорания ДВС и влияния данных процессов на экономичность двигателей. В результате проведенных исследований разработана математическая модель зависимости расхода топлива и процесса диссоциации воды при изменении давления в камерах сгорания ДВС.

I.V. Karhauhova, V.N. Karnauhov, D.A. Zaharov

THE INFLUENCE OF WATER VAPOR ON THE FUEL EFFICIENCY OF INTERNAL COMBUSTION ENGINES

Keywords: dissociation of water, saving fuel, combustion.

Moisture is located in the fuel and air, as well as generated during the chemical reaction, evaporates and it has spent part of the fuel heat, which affects fuel consumption figures. The paper presents the results of a study of the process of dissociation of water in the combustion chambers combustion engine and the impact of these processes on efficiency of engines. Research the mathematical model of the dependence of the fuel flow and the process of dissociation of water when changing pressure in the combustion chambers. Keywords: dissociation of water, saving fuel, combustion.

Д.О. Кочетов, А.А. Дубков,
Д.М. Кононов, А.В. Жданов

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК НИТРИДНЫХ И УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ALSICR И ALSITI

Ключевые слова: PVD-покрытия, трибологические характеристики.

Приводятся результаты трибологических исследований нитридных и углеродсодержащих покрытий системы Al-Si-Cr и Al-Si-Ti в условиях сухого трения и трения в смазочных материалах различного типа. Получены экспериментальные зависимости коэффициента трения от состава покрытия, времени испытания, типа смазочного материала. Выявлены покрытия с низкими коэффициентами трения и износостойкостью.

D.O. Kochetov, A.A. Dubkov,
D.M. Kononov, A.V. Zhdanov

STUDY CHARACTERISTICS NITRIDE AND CARBON-BASED COATINGS ALSICR AND ALSITI

Keywords: PVD- coating , tribological characteristics

Tribological studies conducted nitride and carbon-containing coating system Al-Si-Cr and Al-Si-Ti in the conditions of dry friction and friction in various types of lubricants. The experimental dependence of the coefficient of friction of the coating composition, the test time, the type of lubricant. Revealed coatings with low friction and wear resistance

Т.А. Кузнецова, П.В. Репп

АНАЛИЗ СВЯЗНОСТИ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ AS-ГРАФА НА БАЗЕ СРАВНЕНИЯ РАБОТЫ ПРОТОКОЛОВ IPV4 И IPV6 С ПРИМЕНЕНИЕМ АЛГОРИТМОВ K- CORE АНАЛИЗА

Ключевые слова: протоколы IPV4, IPV6, автономная система, топология, граф связности, анализ K-ядра, метрика машрутизации.

Производится анализ структуры европейской части AS-графа (Autonomous System) сети Интернет для выбранного отображения статического состояния набора данных с использованием различных метрик связности, а также определение основных узлов, имеющих приоритетное значение для стабильной работы внешней маршрутизации шлюза. Методология исследования базируется на применения специального инструментария проекта CAIDA и разработанного на основе алгоритма вычисления K-ядра (K-core analysis) программного обеспечения для сравнения работы проколов IPv4 и IPv6 при помощи графического отображения топологии маршрутизации проекта SUBNETS.RU.

T.A. Kuznetsova, P.V. Repp

THE ANALYSIS OF CONNECTIVITY OF EUROPEAN PART OF AS-GRAPH BASED ON COMPARISON OF IPV4 AND IPV6 PROTOCOLS WORK WITH USE OF THE K- CORE ANALYSIS ALGORITHM

Keywords: IPV4, IPV6 – protocols, Autonomous System, topology, graph of connectivity, к-core analysis, routing metrics.

The study of the connectivity degree of the European part of the AS-graph (Autonomous System) for the chosen snapshot in time using various carefully selected connectivity metrics, and identify core nodes that are critical to the stable operation of exterior gateway routing is made. Research methodology is based on using special tools from the CAIDA project and the creation of software based on the algorithm for K-core analysis for the comparison of punctures IPv4 and IPv6 using graphical display of the routing topology from the SUBNETS.RU project.

Д.Н. Куклев

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПРОПУСКА

D.N. Kuklev

FORMALIZATION OF THE PROCESS OF PASSING

ПОЕЗДОВ ПО УГЛОВОЙ СОЕДИНИТЕЛЬНОЙ ВЕТВИ

Ключевые слова: железнодорожный узел, система массового обслуживания, имитационная модель, угловая соединительная ветвь, формализация.

Для получения результатов о времени прохождения угловых поездов в пределах условного железнодорожного узла, формируемого преимущественно тремя станциями, по различным вариантам – с угловым заездом и без него, предлагается применять имитационное моделирование. В статье приводится процесс формализации прохождения поездов через железнодорожный узел, рассматриваемый как система массового обслуживания.

TRAINS BY ANGULAR CONNECTING PATH

Keywords: railway junction, queuing system, simulation model, angular connecting path, formalization.

To obtain results about the movement time of angular trains within conventional railway junction, consisting of mainly by three stations on various options – with angular movement and without it, it is proposed to use simulation modeling. The article discusses the process of formalization of movement of trains through the railway junction, which is considered as a queuing system.

Н.В. Куклева

О КРИТЕРИИ ВЫБОРА СТАНЦИЙ ДЛЯ ПЕРЕУСТРОЙСТВА ПОД СКОРОСТНОЕ ДВИЖЕНИЕ ПАССАЖИРСКИХ ПОЕЗДОВ ПРИ ОГРАНИЧЕННЫХ КАПИТАЛЬНЫХ ВЛОЖЕНИЯХ

Ключевые слова: скоростное движение, железнодорожные станции, промежуточные раздельные пункты с путевым развитием, переустройство, пассажирские поезда.

При подготовке железнодорожных линий к скоростному движению пассажирских поездов большая часть затрат приходится на реконструкцию промежуточных раздельных пунктов – обгонных пунктов, промежуточных станций. При этом при ограничении капитальных вложений возникает проблема выбрать те из них, которые при минимальных капитальных вложениях после реконструкции, с целью повышения скоростей пассажирских экспрессов, дадут максимальный эффект. В статье предлагается критерий, который позволяет учесть эти величины.

N.V. Kukleva

ABOUT SELECTION CRITERIA OF STATIONS FOR RECONSTRUCTION UNDER HIGH-SPEED TRAFFIC OF PASSENGER TRAINS WITH LIMITED CAPITAL INVESTMENT

Keywords: high-speed movement, railway stations, intermediate railway separate point with tracks, reconstruction, passenger trains.

In the preparation of railway lines to high speed passenger trains movement most of the cost falls on the reconstruction of the intermediate railway separate points with railway tracks – freewheeling points and intermediate stations. With this the restriction of capital investments there is a problem to choose those with minimal capital investment after the reconstruction, with the aim of raising the speeds of passenger trains, will give the maximum effect. The article proposes a criterion that allows to take into account these values.

М.А. Куликов

ИССЛЕДОВАНИЕ СОЛЕОТЛОЖЕНИЙ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ОБОРУДОВАНИИ ПРОИЗВОДСТВА ХЛОРИДА КАЛИЯ МЕТОДОМ ТЕРМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Ключевые слова: производство хлорида калия, солеотложения, термический анализ, эндотермический и экзотермический эффект.

В статье обозначена проблема образования нерастворимых в воде отложений на внутренней поверхности труб подогревателей растворяющего щёлока в галургическом производстве хлорида калия. С использованием термического анализа, выполненного в температурном диапазоне 20 – 1000 ℃, установлены фазовые переходы, возникающие в процессе нагрева солевых отложений, формирующихся на внутренней поверхности теплообменного оборудования различных калийных обогатительных фабрик.

M.A. Kulikov

SCALE STUDY ON THE PROCESS EQUIPMENT PRODUCTION OF POTASSIUM CHLORIDE BY THERMAL ANALYSIS

Keywords: potassium chloride production, scaling, thermal analysis, endothermic and exothermic effect.

The article is designated problem of formation of water-insoluble deposits on the inner surface of the pipe heaters halurgical dissolving liquor in the production of potassium chloride. With the use of thermal analysis performed in a temperature range of 20 – 1000 ℃, were established phase transitions that occur during heating of salt deposits formed on the inner surface of the heat exchange equipment of various potassium concentrating plants.

М.А. Куликов, С.Г. Козлов, О.Р. Середкина

ПРИМЕНЕНИЕ ИК-ФУРЬЕ СПЕКТРОСКОПИИ ДЛЯ АНАЛИЗА СОЛЕОТЛОЖЕНИЙ ПРОИЗВОДСТВА ХЛОРИДА КАЛИЯ

Ключевые слова: производство хлорида калия, солеотложения, ИК-Фурье спектроскопия,

M.A. Kulikov, S.G. Kozlov, O.R. Seredkina

APPLICATION OF FTIR SPECTROSCOPY TO ANALYZE SCALE OF POTASSIUM CHLORIDE PRODUCTION

Keywords: production of potassium chloride, scaling, FTIR spectroscopy, the characteristic absorption band.

характеристичные полосы поглощения.

В статье рассматривается применение ИК-Фурье спектроскопии для анализа отложений на технологическом оборудовании производства хлорида калия. Приводится сравнительный анализ спектров солеотложений и спектра сульфата кальция, как их основного компонента. Указаны характеристические частоты колебаний связей и групп атомов соединений, входящих в состав отложений.

The article discusses the application of FTIR spectroscopy for the analysis of deposits on process equipment of potassium chloride production. The comparative analysis of spectra and spectral scaling of calcium sulphate as its main component. The characteristic bond vibration frequency and cluster of atoms, included in the composition of deposits, have been shown.

В.Х. Май, Н.Н. Черникова, А.И. Сердюк

ФОРМАЛИЗОВАННЫЙ АППАРАТ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Ключевые слова: машиностроение, механическая обработка, технологический процесс, автоматизация проектирования технологических процессов.

В работе описывается подход к разработке систем автоматизированного проектирования технологических процессов механической обработки. Все задачи инженера-технолога разбиты на интеллектуальные и типовые. Предложен формализованный аппарат для решения задач обоих уровней. Разработана опытная версия системы автоматизированного проектирования технологических процессов.

V.H. May, N.N. Chernikova, A.I. Serdyuk

A FORMAL APPARATUS FOR THE DEVELOPMENT OF SYSTEMS OF THE AUTOMATED DESIGNING OF TECHNOLOGICAL PROCESSES

Keywords: engineering, machining, process, design automation of technological processes.

The paper describes an approach to the development of systems of the automated designing of technological processes of machining. All the tasks of a process engineer are divided into intellectual and model. Proposed a formal apparatus for solving problems both levels. Developed a test version of the system of the automated designing of technological processes.

А.А. Медведев, Е.Н. Созинова

РАЗРАБОТКА КОНЦЕПТУАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ

Ключевые слова: информационная безопасность, защита информации, риски, ущерб, угроза.

В статье описывается разработанная автором концептуальная модель информационной безопасности организации. Кратко характеризуются предложенные компоненты модели.

A.A. Medvedev, E.N. Sozinova

DEVELOPMENT OF A CONCEPTUAL MODEL OF INFORMATION SECURITY OF THE ORGANIZATION

Keywords: information security, information security, risk, damage, threat.

The article describes how the author developed a conceptual model of information security. Briefly describe the proposed components of the model.

Е.И. Ивкин, Ю.Д. Козинер,
А.В. Мельников, Д.Ю. Козинер

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ГАЗОРАЗРЯДНЫХ КАМЕР ДЛЯ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ПЛАЗМЕННЫХ ЭНЕРГОУСТАНОВОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ

Ключевые слова: технология обработки, камера, приспособления, инструмент, ультразвук.

В работе рассмотрена технология изготовления кварцевых газоразрядных камер для плазменных энергоустановок. Разработаны приспособления для закрепления заготовок на токарном станке. Предложена конструкция алмазного режущего инструмента. Определены режимы ультразвуковой обработки, обеспечивающие технические требования, предъявляемые к газоразрядным камерам.

E.I. Ivkhin, Y.D. Koziner, A.V. Melnikov, D.Y. Koziner

MANUFACTURING TECHNOLOGY OF GAS DISCHARGE CHAMBERS FOR HIGH-FREQUENCY PLASMA POWER PLANTS WITH THE USE OF ULTRASONIC METHODS OF PROCESSING

Keywords: technology of processing, chamber, adaptations, tool, ultrasound.

In the paper, the manufacturing technology of quartz gas-discharge chambers for plasma power plants is considered. Adaptations for fixing workpieces on the lathe are developed. The design of a diamond cutting tool is offered. The modes of ultrasonic processing providing the technical requirements imposed to gas-discharge chambers are defined.

И.И. Нуреев

ВЕКТОРНЫЙ АНАЛИЗАТОР СЕТЕЙ НА ОСНОВЕ АМПЛИТУДНО-ФАЗОВОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ОПТИЧЕСКОЙ НЕСУЩЕЙ

Ключевые слова: оптический векторный анализатор сетей, амплитудно-фазовое преобразование

I.I. Nureev

VECTOR NETWORK ANALYZER BASED ON AMPLITUDE-PHASE CONVERSION OF OPTICAL CARRIER

Keywords: optical vector network analyzer, the amplitude-phase conversion of the optical carrier,

оптической несущей, амплитудные и фазовые параметры оптических элементов сетей, ВРБ с фазовым π-сдвигом, чирпированная ВРБ.

В статье рассмотрены принципы построения оптического векторного анализатора сетей (ОВАС) на основе амплитудно-фазового преобразования несущей, позволяющего повысить точность измерений амплитудных и фазовых параметров исследуемых элементов. В отличие от существующих ОВАС на основе однополосной и разбалансированной амплитудной модуляции для анализа амплитудных и фазовых параметров исследуемых элементов используются соотношения по двум боковым составляющим зондирующего излучения, причем излучение оптической несущей подавлено, либо последняя используются как гетеродин. Разработанный ОВАС предназначен как для исследования элементов с тонкими особенностями спектра (волоконные решетки Брэгга (ВРБ) с фазовым π-сдвигом), так и широкополосных (чирпированные ВРБ).

amplitude and phase parameters of optical network elements, π-phase-shift FBG, chirped FBG

The article describes the principles of optical vector network analyzer (OVNA) design based on amplitude-phase conversion of optical carrier that allow to improve the measurement accuracy of amplitude and phase parameters of the test elements. Unlike existing OVNA based on a single-sideband and unbalanced double sideband amplitude modulation, analysis of amplitude and phase parameters of the test elements are used the ratio of the two side components of the probing radiation, and the radiation of the optical carrier is suppressed, or the last one is used as a local oscillator. Designed OVNA intended for research the elements with band-stop (π-phase-shift fiber Bragg grating (FBG)) and band-pass elements (linear chirped FBG).

Б.П. Перелыгин, С.А. Борисов

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ АЭРОСТАТА В АТМОСФЕРЕ МАРСА С ПОМОЩЬЮ СИСТЕМЫ MAPLE

Ключевые слова: аэростат, гайдроп, атмосфера, Марс, уравнения движения, система Maple.

В статье приводится постановка и решение задачи вертикального движения аэростата с гайдропом в атмосфере Марса на поверхностном участке в условиях перепада суточных температур окружающей среды. Интегрирование уравнений движения и анализ результатов выполняется в системе символьных вычислений Maple. Приведен пример численного решения опорного варианта движения.

B.P. Perelygin, S.A. Borisov

MODELLING OF MOTION OF AN AIR BALLOON IN A MARS ATMOSPHERE WITH USE OF MAPLE SYSTEM

Keywords: air balloon, trail rope, atmosphere, Mars, equations of motion, Maple system.

The article considers a statement and a solution of a problem of vertical motion of an air balloon with a trail rope in a Mars atmosphere near a planet surface under conditions of diurnal difference of ambient temperature. Integration of equations of motion and analysis of results are executed in Maple system of symbolical calculations. A numerical solution of basic variant of motion is given.

С.В. Прохоров

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕХНИЧЕСКОЙ ГОТОВНОСТИ СТРОИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ С УЧЕТОМ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОНЫХ И ВОЗРАСТНЫХ ФАКТОРОВ

Ключевые слова: машинные парки, надежность, безотказность, экономические затраты, срок эксплуатации, температурные воздействия.

В представленной статье предлагается методика определения коэффициента технической готовности машин на основе изменения технического состояния техники под действием эксплуатационных и возрастных факторов. В основу методики положено определение вероятности безотказной работы при помощи математического аппарата и статистических данных. В качестве основных факторов влияющих на надежность техники выбраны срок эксплуатации, природно-климатические условия и категория сложности производства работ.

S.V. Prohorov

DETERMINATION COEFFICIET OF TECHNICAL READINESS CONSTRUCTION MACHINERY VIEW OF THE IMPACT OF OPERATIONAL AND AGE FACTOR

Keywords: Plant and equipment, safety, reliability, economic costs, service life, temperature effects.

In the present article proposes a method of determining the coefficient of technical readiness coefficient machines based on the change-ray tech state of the art under the influence of operational factors and age. The methodology is necessary to determine the probability of failure-free operation using mathematical apparatus and statistics. The main factors affecting the reliability of the technology selected period of operation, climatic conditions and the degree of complexity of the work.

Ю.Н. Разумный, П.Г. Козлов, В.Ю. Разумный

МЕТОДИКА РАСЧЕТА МНОГОЯРУСНЫХ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ НА КРУГОВЫХ И ЭЛЛИПТИЧЕСКИХ НОДАЛЬНО-СИНХРОННЫХ

Yu.N. Razoumny, P.G. Kozlov, V.Yu. Razoumny

A METHOD FOR CALCULATING PARAMETERS OF COMPOUND SATELLITE CONSTELLATIONS ON CIRCULAR AND ELLIPTIC NODALLY

ОРБИТАХ

Ключевые слова: орбиты искусственных спутников Земли, многоярусные спутниковые системы, круговые и эллиптические орбиты, нодально-синхронные орбиты.

Рассматривается методика расчета параметров многоярусных систем, состоящих из спутников, располагаемых на круговых и/или эллиптических орбитах с различным наклонением и отличающейся геометрией. С целью обеспечения структурной устойчивости получающихся орбитальных структур для формирования ярусов системы используются так называемые нодально-синхронные орбиты, характеризующиеся постоянством скорости смещения восходящих узлов орбит. При этом каждый ярус системы представляет собой традиционную систему из спутников на орбитах с одинаковыми значениями наклонения, большой полуоси и эксцентриситета.

SYNCHRONIZED ORBITS

Keywords: satellite orbits, compound satellite constellations, circular and elliptical orbits, nodally synchronized orbits

The paper presents a method for calculating parameters of compound satellite constellations, comprising satellites on circular and/or elliptic nodally synchronized orbits with different values of inclination and varying geometry. To provide structural stability of the resulting formation, nodally synchronized orbits are utilized to form the tiers of compound constellations. These orbits are characterized by equal rates of ascending node regression. Each tier is represented by a conventional constellation of satellites on the orbits with equal values of inclination, semi-major axis and eccentricity.

Ю.Н. Разумный, П.Г. Козлов, В.Ю. Разумный

АНАЛИЗ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ ЗАВИСИМОСТЕЙ ДЛЯ КРУГОВЫХ И ЭЛЛИПТИЧЕСКИХ ОРБИТ, ОБЛАДАЮЩИХ СВОЙСТВОМ НОДАЛЬНОЙ СИНХРОННОСТИ

Ключевые слова: орбиты искусственных спутников Земли, многоярусные спутниковые системы, круговые и эллиптические орбиты, нодально-синхронные орбиты.

В статье проводится анализ зависимостей между параметрами круговых и эллиптических нодально-синхронных орбит с точки зрения возможностей их практического применения для формирования многоярусных спутниковых систем различного целевого назначения. Приводятся численные данные и примеры расчета областей оптимизации параметров таких орбит. Описываются перспективные направления практического применения многоярусных спутниковых систем на круговых и/или эллиптических нодально-синхронных орбитах.

Yu.N. Razoumny, P.G. Kozlov, V.Yu. Razoumny

ANALYZING PARAMETRIC RELATIONS FOR CIRCULAR AND ELLIPTIC NODALLY SYNCHRONIZED ORBITS

Keywords: satellite orbits, compound satellite constellations, circular and elliptic orbits, nodally synchronized orbits

The paper analyzes parametric relations for circular and elliptic nodally synchronized orbits from the standpoint of implementing these orbits in the formation of compound satellite constellations for various applications. Numerical data and examples of calculating the optimization domains for such orbits are presented. Promising directions of the practical applications of compound satellite constellations are described for the constellations on circular and/or elliptic orbits.

А.Д. Резниченко, А.А. Аббакумов, С.А. Панфилов

СОЗДАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ НА БАЗЕ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СЕТЕЙ САЙТОВ

Ключевые слова: единое информационное пространство, сайт, сеть сайтов, социальные сети, ленты обновлений.

В работе рассматриваются принципы построения сетей сайтов с единым информационным пространством. Основной упор сделан на рассмотрение оптимальных методов организации взаимодействия между различными элементами сети.

A.D. Reznichenko, A.A. Abbakumov, S.A. Panfilov

BUILDING INFORMATIONAL SYSTEMS BASED ON DISTRIBUTED WEBSITE NETWORKS

Keywords: unified information space, website, website network, social network, updates stream.

The article examines principles of construction of the distributed website networks with unified information space. It is focused on selection of the optimal principles of interconnection between the various components of the network. It describes an example of the network, based on this principles.

А.А. Родькин

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ РАБОТЫ АЛГОРИТМА РАСПОЗНАВАНИЯ НОМЕРА ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ВИОЛЫ-ДЖОНСА

Ключевые слова: автономные транспортные роботы; алгоритмы машинного зрения; распознавание.

В данной статье описываются основные последовательности применения алгоритмов

A.A. Rodkin

IMPROVING OF THE ACCURACY OF THE VEHICLE NUMBER RECOGNITION ALGORITHM USING THE METHOD OF VIOLA-JONES

Keywords: autonomous transport robots, computer vision algorithms, recognition.

This article describes the main sequences of algorithms of car number detecting and recognizing, as well article describes software used to implement algorithms.

распознавания номера в видеопотоке, а так же применямое для реализации алгоритмов программное обеспечение.

Е.Н. Созинова, А.А. Медведев

РИСК-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ПОДХОД К ПРОВЕДЕНИЮ АУДИТА ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Ключевые слова: информационная безопасность, риск, аудит, управление информационной безопасностью.

В статье рассматривается влияние рисков на информационную безопасность организаций, важность и необходимость риск-ориентированного подхода к аудиту информационной безопасности.

E.N. Sozinova, A.A. Medvedev

A RISK-BASED APPROACH TO THE AUDIT OF INFORMATION SECURITY

Keywords: information security, risk, audit, information security management.

The article discusses the impact of risks on information security organizations, the importance and necessity of the risk-based approach to the audit of information security.

В.А. Столярчук

ПОДДЕРЖКА ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОБИЛЬНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ

Ключевые слова: единая информационная среда, мобильное устройство, кроссплатформенное мобильное приложение, виртуальный научный центр.

В работе представлено описание пилотного проекта информационной поддержки НИОКР ракетно-космической техники на базе кроссплатформенного мобильного приложения. В проекте решены задачи синхронизации данных на нескольких устройствах (без участия пользователя), а также реализовано обеспечение централизованного хранения и обновление информации на сервере.

V.A. Stolyarchuk

ROCKET AND SPACE SYSTEMS LIFECYCLE MAINTENANCE USING MOBILE APPLICATIONS

Keywords: *joint information environment, mobile device, cross-platform mobile application, virtual research center.*

This study describes a pilot information support project for rocket and space research and development on the basis of a cross-platform mobile application.The project implements hands-off data synchronization on a number of devices and centralized server based information storage and updating.

Р.Г. Хабибуллин, Г.А. Семенченко, Р.Р. Хайруллин

ИССЛЕДОВАНИЕ КОНЦЕПЦИИ ОТКРЫТОГО ОБМЕНА ДИАГНОСТИЧЕСКИМИ ДАННЫМИ

Ключевые слова: электронная система управления двигателем, диагностическая база данных, открытого формата обмена данными, технологическая цепочка, изготовитель, дилер, диагностирование, программирование.

В статье ставится задача рассмотреть концепции открытого обмена диагностическими данными на основе стандарта ISO 22901. Анализ стандарта позволил оценить возможность применения формата диагностических данных (ODX) в процессе разработки и эксплуатации транспортного средства. В этой связи база данных ODX становится центральным источником для диагностирования и программирования электронных систем.

R.G. Habibullin, G.A. Semenchenko, R.R. Khayrullin

INVESTIGATION OF THE OPEN EXCHANGE OF DIAGNOSTIC DATA

Keywords: electronic engine management, diagnostic database, open data exchange format, process chain, produce-Tel, dealer, diagnosis, programming.

This article have a task, which consider the concept of an open exchange of diagnostic data based on the standard ISO 22901. The analysis of the standard allowed us to estimate the possibility of using the format given diagnostic (ODX) in the development and operation of the vehicle. In this regard, ODX database becomes the central source for diagnostic and programming of electronic systems.

Р.Р. Хайруллин, Н.Н. Сафронов

СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СВС-АЛЬСИФЕРА ИЗ ДИСПЕРСНЫХ ОТХОДОВ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Ключевые слова: Алсьифер, фазовый состав, элементный состав, микроструктура.

В работе исследованы структурные особенности альсифера, полученного СВС процессом. В качестве шихтовых материалов использовались дисперсные отходы машиностроения: кузнечная окалина (окислитель), алюминиевая стружка АК18 (восстановитель). Исследованы фазовый состав и их структурные параметры на образцах СВС-альсифера. Для этой цели был использован дифрактометр XRD-

R.R. Khayrullin, N.N. Safronov

STRUCTURAL FEATURES OF SHS-ALSIFER FROM THE DISPERSED RUNOFFS IN MACHINE MANUFACTURING

Keywords: Alsifer, phase composition, elemental composition, microstructure.

The article is devoted to the research of structural features of alsifer received by SHS process. The dispersed runoffs of machine manufacturing were used as charging materials: forging scale (oxidizer), aluminum chip AK18 (deoxidant). We studied the phase composition and their structural parameters on the samples of SHS-alsifer. For this purpose we used diffractometer XRD-6000 on CuK_{α}-radiation. In SHS-

6000 на CuK_α-излучении. В СВС-альсифере были обнаружены фазы Fe, Fe_3Al, Fe_3Si и определены их количества, параметры решетки, её микроискажения, размеры областей когерентного рассеяния, структурные характеристики.

alsifer there were discovered phases Fe, Fe_3Al, Fe_3Si and defined their numbers, lattice parameters, its microdistortions, dimensions of coherent-scattering regions, structural characteristics.

Р.А. Хлопотов

О СТРУКТУРЕ РЫНКА ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ ПО ТИПУ ТРАНСМИССИИ И ТЕНДЕНЦИИ ПОВЫШЕНИЯ ДОЛИ АВТОМОБИЛЕЙ, ОСНАЩЕННЫХ ГИДРОМЕХАНИЧЕСКОЙ КОРОБКОЙ ПЕРЕДАЧ

Ключевые слова: автоматическая трансмиссия, гидромеханическая коробка передач, гидротрансформатор, коробка передач с двумя сцеплениями, бесступенчатая коробка передач.

В данной статье рассмотрены основные тенденции использования разных типов трансмиссий легковых автомобилей. Приведена динамика изменения распределения доли производства легковых автомобилей с разными типами трансмиссии, по отдельным странам и в целом по миру.

R.A. Khlopotov

ABOUT THE STRUCTURE OF THE LIGHT VEHICLE MARKET BY TYPE OF TRANSMISSION AND TRENDS INCREASING THE SHARE OF VEHICLES EQUIPPED WITH HYDROMECHANICAL TRANSMISSION

Keywords: automatic transmission, hydromechanical transmission, torque converter, dual clutch transmission, continuously variable transmission.

In the article considered the main trends of use of different types of transmissions of light vehicles. The author in the research represented dynamics of changes in the distribution of the share of the light vehicles production with different types of transmission by countries and by the whole world.

С.С. Хмелёв, В.Н. Хмелёв,
Р.Н. Голых, Ю.М. Кузовников

РАЗРАБОТКА СТЕНДА ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ КАВИТАЦИОННО-АКУСТИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ

Ключевые слова: ультразвук, кавитация, технологическая камера, экспериментальный стенд.

В статье предложена конструкция и обоснованы требования к экспериментальному стенду для исследования кавитационно-акустических явлений в жидкой фазе. Требования к стенду выработаны на основании теоретических исследований формирования кавитационной области. Разработанный стенд позволит выявить оптимальные режимы и условия ультразвукового кавитационного воздействия для повышения эффективности процессов химической технологии.

S.S. Khmelev, V.N. Khmelev,
R.N. Golykh, Y.M. Kuzovnikov

DEVELOPMENT OF STAND FOR RESEARCH OF CAVITATION AND ACOUSTIC PHENOMENONS

Keywords: ultrasonic, cavitation, technological chamber, experimental stand

In the paper the construction was proposed and requirements to experimental stand for research of cavitation and acoustic phenomenons in liquid phase were described. Requirements to stand are based on results of theoretical researches of cavitation area formation. Developed stand allows evaluating optimum modes and conditions of ultrasound cavitation influence, in order to increase of efficiency of processes of chemical technology.

Т.А. Чуваткина

ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ПОТОКА ИЗЛУЧЕНИЯ БАКТЕРИЦИДНЫХ ЛАМП

Ключевые слова: поток излучения, бактерицидная лампа, метод измерения, приемник излучения, энергетическая освещенность, погрешность.

В работе рассмотрены особенности измерения потока излучения бактерицидных ламп с излучением в длине волны 253.7 нм. Приводятся экспериментальные данные по расчету потока излучения бактерицидных ламп различных мощностей. А также экспериментальные данные по расчету потока излучения ламп, с учетом погрешности от влияния на приемника излучения, отраженного от поверхностей помещения потока излучения.

T.A. Chuvatkina

FEATURES MEASUREMENTS RADIATION FLUX OF BACTERICIDAL LAMPS

Key words: radiation flux, bactericidal lamp, method of measurement, receiver of radiation, irradiance, error.

In work, features for measurements of bactericidal lamps with radiation for length of wave 253.7 nm are considered. Experimental data for calculate radiation flux of for different power are given. Experimental data by calculate lamp radiation flux with accounting error from influence radiation flux, reflected from surfaces of room, on receiver of radiation also are given.

О.В. Шиндор, Т.А. Изосимова, Ю.К. Евдокимов

ДИАГНОСТИКА РОТОРНЫХ МАШИН С АКТИВНЫМ МАГНИТНЫМ ПОДВЕСОМ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ВИБРАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ МЕТОДАМИ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

O.V. Shindor, T.A. Izosimova, Yu.K. Evdokimov

DIAGNOSTICS OF ROTATING MACHINES BASED ON VIBRATION PARAMETRS ANALYSIS WITH WAVELET TRANSFORM

Keywords: rotary machines, imbalance, vibration diagnostics, wavelet transform.

Ключевые слова: роторные машины, дисбаланс, вибрационная диагностика, вейвлет-преобразование.

На примере модели упругого ротора рассмотрена возможность контроля дисбалансного состояния роторной системы при использовании спектрального анализа и вейвлет-преобразования.

On the model of the elastic rotor consider the possibility of diagnosing and predicting the state of unbalanced rotor system by analyzing the rotor system parameters of vibration supports methods of spectral analysis and wavelet transform.

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

Н А У Ч Н О - Т Е Х Н И Ч Е С К И Й В Е С Т Н И К П О В О Л Ж Ь Я

№3 2015

Направления:

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ
ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ
ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

www.ntvp.ru

Свидетельство № ПИ № ФС77-41672 от 13 августа 2010г.

Подписано в печать 20.06.2015 Формат 60 х 84 1/8. Печать цифровая.

13,5 усл.печ.л. 15,5 уч.изд.л. Тираж 900 экз. Заказ 1813.

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»