

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ
ВЕСТНИК
ПОВОЛЖЬЯ**

№1 2018

Направления:

01.01.00 — ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИКА

02.00.00 — ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

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

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

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

Казань

2018

УДК 60

ББК 30-1

Н-66

Н-66 Научно-технический вестник Поволжья. №1 2018г. – Казань:
Научно-технический вестник Поволжья, 2018. – 154 с.

ISSN 2079-5920

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-1

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.ntvr.ru, и в Научной электронной библиотеке (участвует в программе по формированию РИНЦ).

Журнал включен ВАК РФ в перечень научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук.

Подписной индекс в объединенном каталоге «Пресса России» № 12025.

Главный редактор Р.Х. Шагимуллин

Редакционная коллегия

С.В. Анаников – д.т.н., проф.; Т.Р. Дебердеев – д.т.н., проф.; Б.Н. Иванов – д.т.н., проф.;

В.С. Минкин – д.х.н., проф.; А.Н. Николаев – д.т.н., проф.; В.К. Половняк – д.х.н., проф.;

П.П. Суханов – д.х.н., проф.; В.Ф. Тарасов – д.ф.-м.н., проф.; Х.Э. Харлампиди – д.х.н., проф.

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

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

УДК 60

ББК 30-1

ISSN 2079-5920

© Научно-технический вестник Поволжья, 2018 г.

СОДЕРЖАНИЕ

<i>В.С. Минкин, П.П. Суханов</i> ЯМР - АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ СТРУКТУРИРОВАНИЯ ОЛИГОЭФИРАКРИЛАТСУЛЬФИДНЫХ КОМПОЗИЦИЙ В ПРИСУТСТВИИ АМИНОАЛКИЛСИЛАНА АГМ - 9. СООБЩЕНИЕ 1. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ КОМПОНЕНТОВ ОЛИГОЭФИРАКРИЛАТСУЛЬФИДНЫХ СМЕСЕЙ	9
<i>П.П. Суханов, В.С. Минкин, А.П. Суханов</i> ЯМР - АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ СТРУКТУРИРОВАНИЯ ОЛИГОЭФИРАКРИЛАТСУЛЬФИДНЫХ КОМПОЗИЦИЙ В ПРИСУТСТВИИ АМИНОАЛКИЛСИЛАНА АГМ - 9. СООБЩЕНИЕ 2. МЕХАНИЗМ СТРУКТУРИРОВАНИЯ ОЛИГОЭФИРАКРИЛАТСУЛЬФИДНЫХ СМЕСЕЙ	14
01.01.00 — ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИКА	
<i>Х.Ш. Джураев, З.Ш. Асомиддинов, М.М. Сафаров, А.Н. Умаров</i> ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ НЕКОТОРЫХ ЖИДКИХ РАСТВОРОВ С ПОМОЩЬЮ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЯВЛЕНИЯ ПЕРЕНОСА ТЕПЛА	19
<i>Н.М. Чиганова</i> МЕТОД КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ ПО КОЛИЧЕСТВЕННОМУ ПРИЗНАКУ	23
02.00.00 — ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ	
<i>Л.С. Григорьева</i> ВОДНО-СОЛЕВЫЕ СИСТЕМЫ ЛАНТАНОИДОВ	28
<i>В.А. Коршиков, К.А. Дычко, Г.Л. Рыжова</i> СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВОДНОЙ ВИБРОМАГНИТНОЙ И ВОДНОЙ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ЭКСТРАКЦИИ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ САПРОПЕЛЯ	33
<i>У.М. Малага, М.В. Тачаев, Н.Я. Есина, М.Н. Курасова</i> РАЗНОЛИГАНДНЫЕ КОМПЛЕКСНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ РОДИЯ (III) С ПИРИМИДИНОВЫМИ, ПУРИНОВЫМИ ОСНОВАНИЯМИ И АЛАНИНОМ	36
05.02.00 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ	
<i>А.С. Андреев, В.А. Гаджиян, Е.В. Щербакова</i> О СТАБИЛИЗАЦИИ ПОЛОЖЕНИЯ ДВУЗВЕННОГО МАНИПУЛЯТОРА БЕЗ ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТЕЙ	40
<i>Е.П. Барыльникова, О.А. Кулаков, И.П. Талипова</i> ВЛИЯНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ СИЛОВОГО АГРЕГАТА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ АВТОМОБИЛЯ	43
<i>А.П. Буйносков</i> МЕТОДИКА ОЦЕНКИ РЕСУРСА БАНДАЖЕЙ КОЛЕСНЫХ ПАР ЛОКОМОТИВОВ	46
<i>А.А. Вознесенская, Л.В. Беляев, Д.А. Кочуев, Д.М. Кононов, И.В. Шинаков</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УГЛЕРОДНОЙ ДОБАВКИ НА ПОГЛОЩЕНИЕ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ СЕЛЕКТИВНОМ ЛАЗЕРНОМ ПЛАВЛЕНИИ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ АЛЮМИНИЯ	50
<i>С. Б. Жилина</i> КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ И РАСЧЕТНАЯ МОДЕЛИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КОМПЛЕКТУЮЩИМИ ИЗДЕЛИЯМИ МЕЛКОСЕРИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА ПРИБОРОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ	53
<i>А.В. Иващенко, М.А. Тарасова, Д.А. Кочуев, К.С. Хорьков, Д.М. Кононов, А.В. Жданов</i> ПОЛУЧЕНИЕ УГЛЕРОДНЫХ ПЕРИОДИЧЕСКИХ СТРУКТУР НА КОНТАКТИРУЮЩИХ ПОВЕРХНОСТЯХ ПРЕЦИЗИОННЫХ ДЕТАЛЕЙ	57
<i>В.Ф. Пегашкин, И.И. Вендер, Л.В. Боршова</i> ОБРАБОТКА КРОМОК ЛОПАСТНЫХ ДЕТАЛЕЙ КВАЗИЖИДКИМ ИНСТРУМЕНТОМ	61
<i>П.М. Салов, Т.Г. Виноградова, В.В. Плотников, С.С. Сайкин, Н.В. Мулюхин, Д.П. Салова, В.Н. Цай, С.С. Сорокин</i> ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ПРАВКИ КРУГОВ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ИСТОЧНИКОВ ТЕПЛА В ЗОНЕ ШЛИФОВАНИЯ	65

<i>П.М. Салов, М.В. Купцов, Т.Г. Виноградова, Ю.И. Воронцов, С.С. Сайкин, Д.П. Салова, Н.В. Петрова, В.С. Григорьев</i> ФОРМА КРУГА ДЛЯ ЗАТОЧКИ ИНСТРУМЕНТА И ЕЕ СВЯЗЬ С ДЛИТЕЛЬНОСТЬЮ ПРИРАБОТКИ И КРИТИЧЕСКОЙ СКОРОСТЬЮ ВРЕЗАНИЯ В ЗАГОТОВКУ	68
<i>А.Р. Фардеев, А.А. Фардеев, А.М. Абдуллина</i> АНАЛИЗ РАБОТЫ ТРУБОПРОВОДА МАНИПУЛЯТОРА, ИСПОЛЪЗУЕМОГО В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ КОВКИ ИЛИ ГОРЯЧЕЙ ШТАМПОВКИ ЗАГОТОВОК	71
<i>Н.Г. Фетисова, А.П. Буйносов</i> СОЗДАНИЕ БЕГУЩЕЙ ВОЛНЫ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ПРИ ПРОИЗВОЛЬНЫХ ПАРАМЕТРАХ ПУТИ И ДВИГАТЕЛЯ ПОЕЗДА НА МАГНИТНОЙ ЛЕВИТАЦИИ	74

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

<i>А.П. Иванова, Л.В. Межуева, Т.И. Пискарёва</i> СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ ВИБРОСМЕСИТЕЛЯ	78
<i>Г.Э. Лазаренко, Д.Г. Лазаренко</i> ТЕРМОСТАТИРУЮЩИЕ БУФЕРЫ РЭА НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ АККУМУЛЯТОРОВ ПЛАВЛЕНИЯ	82
<i>Ж.Г. Могилюк, М.С. Хлыстунов</i> ВЕРОЯТНОСТНАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ДОСТОВЕРНОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ ТЕХНОСФЕРЫ	86
<i>П.В. Писарев, Д.А. Ермаков, Ю.С. Кирова, О.А. Кашин</i> ЧИСЛЕННЫЙ РАСЧЕТ ВИБРАЦИЙ ЛОПАТОК ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА НАГРУЖЕННЫХ ПОТОКОМ ЖИДКОСТИ	90
<i>П.В. Писарев, Е.Н. Шустова, А.Н. Аношкин, К.А. Максимова</i> ЧИСЛЕННЫЙ РАСЧЕТ АКУСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИЗМАТИЧЕСКИХ РЕЗОНАТОРОВ ГЕЛЬМГОЛЬЦА	94
<i>М.С. Хлыстунов, Ж.Г. Могилюк</i> ВИБРОАКУСТИЧЕСКИЕ АНАЛОГИИ ДЛЯ РАСЧЕТА КОНСТРУКЦИЙ НА ДИНАМИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ	98

05.13.00 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

<i>Э.Э. Александров, А.И. Егунова, М.А. Воропаева</i> МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ ТЕКСТОВЫХ ДОКУМЕНТОВ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ ИНФОРМАЦИОННОГО ПОИСКА С ПОМОЩЬЮ ЗАПРОСОВ НА ЕСТЕСТВЕННОМ ЯЗЫКЕ	102
<i>М.А. Аль-Аскарри, С.А. Федосин, В.В. Афонин</i> АНАЛИЗ КАЧЕСТВА РАСТРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ	107
<i>Л.А. Бакуркина, К.В. Рочев, А.И. Селезнёв</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА УЧЕТА ДЕЯТЕЛЬНОСТИ МАЛОГО БИЗНЕСА НА ПРИМЕРЕ ООО «СЕВЕРСТРОЙСВЯЗЬРЕСУРС»	110
<i>Е.В. Бессонова</i> АЛГОРИТМ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ КООРДИНАТ НАЗЕМНЫХ И НИЗКОЛЕТАЮЩИХ ЦЕЛЕЙ	115
<i>Г.А. Гареева, Д.Р. Григорьева, И.И. Ямалетдинова, И.Ф. Фатихов</i> ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ ИНФОРМАЦИОННОГО РЕСУРСА 1С: ИТС И 1С: БИТРИКС УПРАВЛЕНИЕ САЙТОМ	118
<i>Е.Г. Кабулова, Д.В. Грачиков</i> ОБРАБОТКА НИЗКО-КОНТРАСТНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ БИОЛОГИЧЕСКОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ С ГИСТЕРЕЗИСНЫМИ СВОЙСТВАМИ	122
<i>О.А. Капустина, М.С. Карпюк</i> МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОГЛАСОВАННОСТИ МНЕНИЙ ЭКСПЕРТОВ ПРИ РАСЧЕТЕ ИНТЕГРАЛЬНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ РЕГИОНА	125
<i>О.А. Капустина, В.Д. Павлидис</i> ПРОДУКЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЗНАНИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ КАТЕГОРИИ СЛОЖНОСТИ ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЙ	129

М.Ф. Мицик, А.А. Мовчун ДВУМЕРНАЯ И ТРЕХМЕРНАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ИЗДЕЛИЙ В СРЕДЕ MARLE	132
А.Д. Семенов, А.В. Волков ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ АПРОБАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ НАТРИЕВЫХ ЛАМП ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ	135
Г.М. Тутаев, М.А. Бобров АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ НАБЛЮДАТЕЛЯ МАГНИТНОГО ПОТОКА В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ НА БАЗЕ МАШИНЫ ДВОЙНОГО ПИТАНИЯ	140
АННОТАЦИИ	144

THE RELEASE MAINTENANCE

- V.S. Minkin, P.P. Sukhanov* NMR ANALYSIS OF THE STRUCTURING PROCESSES OF OLYGOESTERACRYLATE` COMPOSITIONS IN THE PRESENCE OF AMINOALKYLSILANE AGM – 9. MESSAGE 1. INTERACTION OF COMPONENTS OF OLYGOESTERACRYLATE` MIXTURES 9
- P.P. Sukhanov, V.S. Minkin, A.P. Sukhanov* NMR ANALYSIS OF THE STRUCTURING PROCESSES OF OLYGOESTERACRYLATE` COMPOSITIONS IN THE PRESENCE OF AMINOALKYLSILANE AGM – 9. MESSAGE 2. THE MECHANISM OF STRUCTURING OF OLYGOESTERACRYLATE` MIXTURES 14

01.01.00 — PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES — MATHEMATICS

- Kh.Sh. Dzshuraev, Z.Sh. Asomiddinov, M.M. Safarov, A.N. Umarov* DEFINE THE HEAT CONDUCTIVITY OF SOME LIQUID SOLUTIONS USING A MATHEMATICAL MODEL OF THE PHENOMENON OF WARMTH 19
- N.M. Chiganova* THE PRODUCTS QUALITY CONTROL METHOD BY QUANTITATIVE CRITERIA 23

02.00.00 — CHEMICAL SCIENCES

- L.S. Grigoryeva* SYSTEMS OF RARE EARTH ELEMENTS 28
- V.A. Korshikov, K.A. Dychko, G.L. Ryzhova* COMPARISON OF THE EFFECTIVENESS OF AQUEOUS VIBROMAGNETIC AND AQUEOUS ULTRASONIC EXTRACTION OF ORGANIC SUBSTANCES OF SAPROPEL 33
- W.M. Malaga, M.V. Tachae, N.Y. Esina, M.N. Kurasova* MIXED LIGAND COMPLEX COMPOUNDS OF RHODIUM (III) WITH PYRIMIDINE, PURINE BASES AND ALANINE 36

05.02.00 — TECHNICAL SCIENCES — MECHANICAL ENGINEERING AND ENGINEERING SCIENCE

- A.S. Andreev, V.A. Gadzhiyan, E.V. Shcherbakova* ON POSITION STABILIZATION OF A TWO-LINK MANIPULATOR WITHOUT VELOCITY MEASUREMENT 40
- E.P. Barylnikova, O.A. Kulakov, I.P. Talipova* INFLUENCE OF THE TECHNICAL CONDITION OF ELEMENTS OF POWER UNIT FOR EFFICIENCY OF THE VEHICLE 43
- A.P. Buinosov* METHODS OF EVALUATION RESOURCE OF BANDAGES OF WHEEL PAIRS OF LOCOMOTIVES 46
- A.A. Voznesenskaya, L.V. Belyaev, D.A. Kochuev, I.V. Shinakov* INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF THE CARBON ADDITIVE ON ABSORPTION OF LASER RADIATION IN SELECTIVE LASER MELTING OF MATERIALS BASED ON ALUMINUM 50
- S.B. Zhilina* CONCEPTUAL AND CALCULATIONAL MODELS TO PROVIDE THE SMALL BRANCH PRODUCTION AT THE INSTRUMENT MAKING PLANT FOR COMPONENT PARTS 53
- A.V. Ivashchenko, M.A. Tarasova, D.A. Kochuev, K.S. Khorkov, D.M. Kononov, A.V. Zhdanov* OBTAINING CARBON PERIODIC STRUCTURES ON CONTACT SURFACES OF PRECISION PARTS 57
- V.F. Pegashkin, I.I. Vender, L.V. Borshova* PROCESSING OF EDGES OF BLADED DETAILS QUASILIQUID TOOL 61
- P.M. Salov, T.G. Vinogradova, V.V. Plotnikov, S.S. Saykin, N.V. Mulyukhin, D.P. Salova, V.N. Cai, S.S. Sorokin* INFLUENCE OF CONDITIONS OF EDITING OF CIRCLES ON DISTRIBUTION OF SOURCES OF HEAT IN THE GRINDING ZONE 65

<i>P.M. Salov, M.V. Kuptsov, T.G. Vinogradova, Yu.I. Vorontsov, S.S. Saykin, D.P. Salova, N.V. Petrova, V.S. Grigoriev</i> CIRCLE FORM FOR SHARPENING OF THE TOOL AND HER COMMUNICATION WITH DURATION EXTRA EARNINGS AND CRITICAL 4SPEED OF INCISION INTO PREPARATION	68
<i>A.R. Fardeyev, A.A. Fardeyev, A.M. Abdullina</i> THE ANALYSIS OF THE PIPELINE OPERATION OF THE MANIPULATOR USED IN THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF FORGING OR HOT STAMPING OF BLANKS	71
<i>N.G. Fetisova, A.P. Buinosov</i> THE CREATION OF A TRAVELING WAVE MAGNETIC FIELD FOR AN ARBITRARY PATH PARAMETERS AND ENGINE TRAINS ON MAGNETIC LEVITATION	74

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

<i>A.P. Ivanova, L.V. Mezhujeva, T.I. Piskaryova</i> IMPROVEMENT OF METHODS FOR MEASUREMENT OF MODE PARAMETERS OF VIBRATION MIXER	78
<i>G.E. Lazarenko, D.G. Lazarenko</i> THERMOSTATISING BUFFERS FOR RADIO ELECTRONIC DEVICES ON THE BASIS OF THE TECHNOLOGY OF MELTING ACCUMULATORS	82
<i>Zh.G. Mogiljuk, M.S. Khlystunov</i> PROBABILISTIC RELIABILITY ESTIMATION MODEL OF THE TECHNOSPHERIC OBJECTS RESEARCHES RESULTS	86
<i>P.V. Pisarev, D.A. Ermakov, Yu.S. Kirova, O.A. Kashin</i> NUMERICAL CALCULATION OF VIBRATIONS OF BLADES CENTRIFUGAL PUMPS LADEN LIQUID STREAM	90
<i>P.V. Pisarev, E.N. Shustova, A.N. Anoshkin, K.A. Maksimova</i> NUMERICAL CALCULATION OF ACOUSTIC CHARACTERISTICS OF PRISMATIC RESONATORS OF HELMHOLTZ	94
<i>M.S. Khlystunov, Zh.G. Mogiljuk</i> THE STRUCTURES DYNAMIC LOADS CALCULATION BY VIBRO-ACOUSTIC ANALOGY	98

05.13.00 — TECHNICAL SCIENCES — COMPUTER SCIENCE, COMPUTER ENGINEERING AND MANAGEMENT

<i>A.A. Alexandrov, A.I. Egunova, M.A. Voropaeva</i> INFORMATION AND SEARCHED SUBSYSTEM OF ELECTRONIC EDUCATIONAL RESOURCE STORAGE	102
<i>M.A. Al-Askari, S.A. Fedosin, V.V. Afonin</i> ANALYSIS OF THE QUALITY OF THE RASTER IMAGE	107
<i>L.A. Bakurkina, K.V. Rochev, A.I. Seleznyov</i> MODELING THE PROCESS OF ACCOUNTING FOR SMALL BUSINESS ON THE EXAMPLE OF LLC «SEVERSTROYSVYAZRESURS»	110
<i>E.V. Bessonova</i> THE ALGORITHM OF INCREASING COORDINATE DEFINITION PRECISION OF LAND AND LOW-FLYING TARGETS	115
<i>G.A. Gareeva, D.R. Grigoreva, I.I. Yamaletdinova, I.F. Fatixov</i> INTERACTION OF USER INFORMATION RESOURCES 1C: ITS AND 1C: BITRIX SITE MANAGEMENT	118
<i>E.G. Kabulova, D.V. Grachikov</i> PROCESSING LOW-CONTRAST IMAGES OF METALS AND ALLOYS ON THE BASIS OF BIOLOGICAL NEURAL NETWORK WITH HYSTERESIS PROPERTIES	122
<i>O.A. Kapustina, M.S. Karpyuk</i> MATHEMATICAL MODEL AND SOFTWARE PACKAGE FOR DETERMINING THE CONSISTENCY OF OPINION OF AN EXPERT IN THE CALCULATION OF THE INTEGRAL INDICATOR OF LIFE OF THE REGION	125
<i>O.A. Kapustina, V.D. Pavlidis</i> PRODUCTION MODEL OF KNOWLEDGE REPRESENTATION FOR THE EVALUATION OF THE COMPLEXITY OF NATURAL CONDITIONS	129

<i>M.F. Mitsik, A.A. Movchyn</i> TWO-DIMENSIONAL AND THREE-DIMENSIONAL VIZUALIZATION PRODUCTS IN THE MEDIUM OF MAPLE	132
<i>A.D. Semenov, A.V. Volkov</i> EXPERIMENTAL APPROBATION OF THE MATHEMATICAL MODEL OF HIGH PRESSURE SODIUM LAMPS	135
<i>G.M. Tutaev, M.A. Bobrov</i> ANALYSIS OF THE MAGNETIC FLUX OBSERVER STABILITY IN THE CONTROL SYSTEM OF THE ELECTRIC DRIVE BASED ON DOUBLE-FED INDUCTION MOTOR	140
ABSTRACTS	144

02.00.06

В.С. Минкин, П.П. Суханов

Казанский национальный исследовательский технологический университет,
Казань, yerus@yandex.ru

**ЯМР - АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ СТРУКТУРИРОВАНИЯ
ОЛИГОЭФИРАКРИЛАТСУЛЬФИДНЫХ КОМПОЗИЦИЙ В ПРИСУТСТВИИ
АМИНОАЛКИЛСИЛАНА АГМ - 9. СООБЩЕНИЕ 1. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ
КОМПОНЕНТОВ ОЛИГОЭФИРАКРИЛАТСУЛЬФИДНЫХ СМЕСЕЙ**

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-1-9-13

В работе представлены результаты исследования методом ЯМР спектроскопии особенностей взаимодействия компонентов смесей промышленных олигомеров полисульфидной и эфиракрилатной природы при нормальных или близких к ним температурах. Показано, что в присутствии аминоксилана АГМ-9 и в условиях значительной вязкости реакционной среды сохраняется высокая активность подвижных протонов и донорно-акцепторных взаимодействий между всеми функциональными группами композиции, что обеспечивает возможность последующего развития процессов структурирования по механизмам ионной природы.

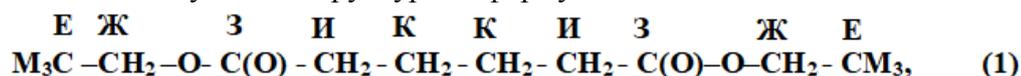
Ключевые слова: *олигоэфиракрилат, полисульфидный олигомер, аминоксилан, донорно-акцепторные взаимодействия, ЯМР спектроскопия.*

Методом ЯМР в рамках исследований процессов модификации полисульфидных олигомеров (ПСО) уже изучались кинетика и механизм взаимодействия ПСО и акрилатсодержащих мономеров в присутствии неорганических окислителей на концевые группы ПСО [1 - 3]. В этой связи несомненный интерес представляют дальнейшие исследования процессов структурирования смесей ПСО и более технологичных олигомерных аналогов акрилатсодержащих мономеров – олигоэфиракрилатов (ОЭА) – при нормальных и близких к ним температурах, то есть в условиях, соответствующих оптимальным режимам вулканизации промышленных полисульфидных композиций [4].

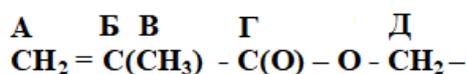
Спектры ЯМР высокого разрешения (^1H и ^{13}C) олигомерных композиций в настоящей работе записывались преимущественно на импульсном Фурье-спектрометре WP-80 фирмы «BRUKER-Physik AG». Резонансная частота протонов составляла 80 МГц, ядер углерода - 13 - 20,115 МГц. Мощность зондирующего импульса 50 Вт, длительность - 0,5÷50 мкс, ПМР спектры регистрировались при температуре 30°C, спектры ЯМР ^{13}C - при 55°C.

Химические сдвиги протонов и ядер углерода-13 измерялись в миллионных долях (м.д.) относительно стандартного сигнала тетраметилсилана $\text{Si}(\text{CH}_3)_4$ (шкала δ). Спектры ЯМР ^{13}C записывались в условиях полной развязки от протонов.

Сигналы в спектрах ЯМР ^{13}C и ^1H (рис. 1,а,б, табл. 1 и 2) олигоэфиракрилата 7-1 в первом приближении соответствуют его структурной формуле:



где фрагмент М представляет собой



В то же время появление ряда пиков обусловлено присутствием мономерных и ионизированных молекул метакриловой кислоты (МАК) и фрагментов $\text{CM}_3 - \text{CH}_2\text{OH}$ в составе олигоэфирных цепей (сигналы со штрихами).

Если учесть, что содержание МАК ($\text{HOOC}-\text{C}(\text{CH}_3)=\text{CH}_2$) в смеси приблизительно соответствует концентрации гидроксильных групп и числу недостающих фрагментов М в

структуре ОЭА (около 22%), то можно предположить, что в ОЭА и после завершения синтеза при нормальных условиях поддерживается заметный уровень следующего поликонденсационного равновесия:

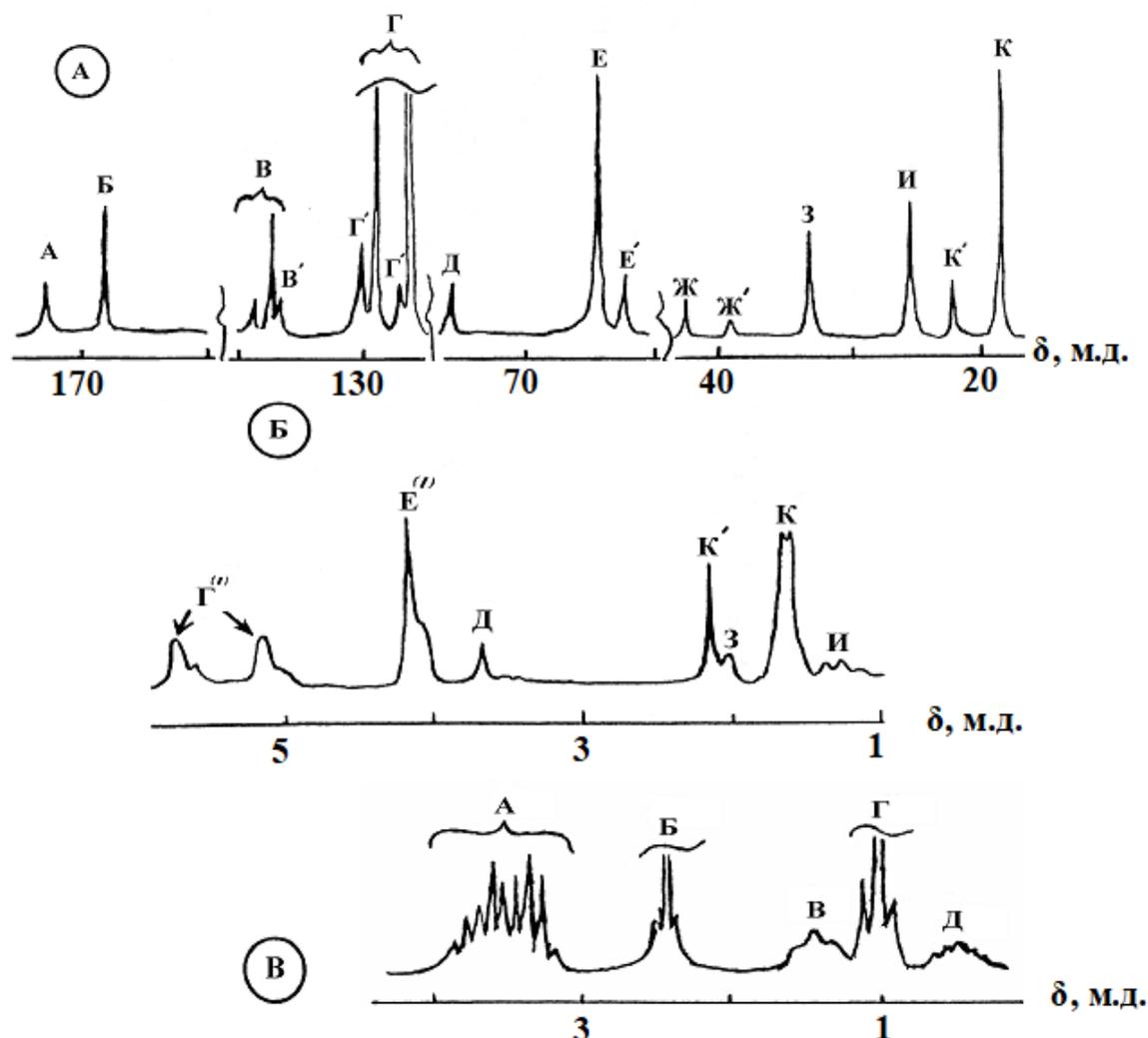
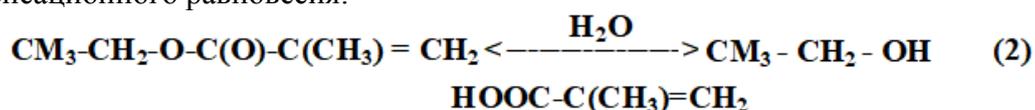


Рис. 1 - Спектры ЯМР ^{13}C (а) и ^1H (б) олигоэфиракрилата марки 7 – 1, спектр ПМР аminosилана АГМ-9 (в) при н.у.; обозначения пиков на рис. 1б соответствуют обозначениям на рис. 1а. Расшифровка сигналов дается в табл. 1 и 2.

Таблица 1 - Идентификация сигналов в спектре ЯМР ^{13}C (рис. 1а) олигоэфиракрилата марки 7-1

Обозначение сигнала в:		Источник сигнала (подчеркнут)	Характеристика сигнала: δ , м.д.
*	спектре		
А	Г	<u>С</u> Н ₂ = СR ₂	125.8
Б	Г	СН ₂ = <u>С</u> R ₂	128.6
В	К	- <u>С</u> Н ₃	18.6
Г	Б	- С- <u>С</u> ОО -	167.2
Д	Е`	- СОО <u>С</u> Н ₂ -	61.4
Е	Ж	<u>С</u> R ₄	43.7
Ж	Е	- С - <u>С</u> Н ₂ - ОСО -	63.2
З	А	Р - <u>С</u> ОО -	173.1
И	З	- <u>С</u> Н ₂ - СОО -	34.0

К	И	C – <u>CH</u> ₂ – C	25.0
-	В	<u>CH</u> ₂ = C(CH ₃)-COOH	136.8
-	В	<u>CH</u> ₂ = <u>C</u> (CH ₃)-COOH	138.5
-	К`	CH ₂ = C(<u>CH</u> ₃)-COOH	22.3
-	Ж`	- <u>C</u> – CH ₂ - OH	38.5
-	Д	- C – <u>CH</u> ₂ - OH	75.5
-	Г`	(<u>CH</u> ₂ =C) ^{+δ} – R ₂	126.4
-	Г`	(<u>CH</u> ₂ =C) ^{+δ} – R ₂	129.2
-	В`	(<u>CH</u> ₂ =C) ^{+δ} (CH ₃)- COO ⁻⁰ H	136.7

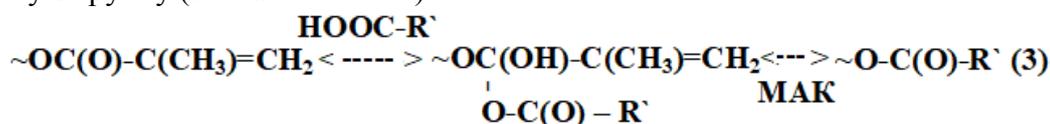
*- в структурной формуле

Таблица 2 - Идентификация сигналов в спектрах ПМР олигоэфиракрилата (ОЭА) марки 7-1 (рис. 1б) и аминоалкилсилана АГМ-9 (рис. 1в).

Обозначение сигнала в:		Источник сигнала (подчеркнут)	Характеристика сигнала:	
*	спектре	<u>Олигоэфиракрилат</u>	Γ ^{отн.}	δ, м.д.
А	Г	<u>CH</u> ₂ =CR ₂	(↑)	5.85, 5.1 д
-	Г`	<u>CH</u> ₂ =C(CH ₃)-COOH	23	5.7, 5.0 д
В	К	- <u>CH</u> ₃	28	1.72 д
Д	Е	- COO - <u>CH</u> ₂ -	(↑)	
Ж	Е`	- C – <u>CH</u> ₂ – OCO -	27	4.16 д
И	З	- <u>CH</u> ₂ – COO -	8	2.05 с
К	И	C – <u>CH</u> ₂ – C	8	1.43 м
-	К	CH ₂ = C(<u>CH</u> ₃)-COOH	8	2.1 с
-	Д	- C – <u>CH</u> ₂ - OH	6	3.85 с
		<u>Аминоалкилсилан</u>		
-	А	- O <u>CH</u> ₂ -	36	3.53 м
-	Б	- <u>CH</u> ₂ N, - <u>NH</u> ₂ , - <u>OH</u>	27	2.53 т
-	В	C – <u>CH</u> ₂ – C	8	1.48 т
-	Г	- <u>CH</u> ₃	60	1.05 т
-	Д	- Si- <u>CH</u> ₂ -	9	0.58 м

*- в структурной формуле

частью которого становится обменное взаимодействие между МАК и ОЭА через карбонильную группу (сигналы В` и Г`):



Этому способствует π - сопряжение между двойными связями групп C=O и C(CH₃)=CH₂ в метакриловом фрагменте М.

Для согласования относительных интегральных интенсивностей сигналов ПМР (Γ^{отн.}; рис.1в, табл. 2) и структурной формулы промышленного аminosилана необходимо допустить, что в продукте АГМ-9 содержится не только γ-аминопропилтриэтоксисилан H₂NCH₂CH₂CH₂Si(OCH₂CH₃)₃ (или, условно, NSi), но и этанол с триэтиламин (ТЭА или NR₃) в мольном соотношении 1 : 1 : 0,15 соответственно.

В спектрах ЯМР смесей олигоэфиракрилата с АГМ-9 и ПСО наблюдаются две общие закономерности (рис. 2):

- слабопольное смещение и(или) уширение сигналов концевых реакцион-носпособных групп - протонодоноров (NH₂, SH) (пики (*));
- появление сильнопольного узкого сигнала от метильных групп при двойной связи (К`), аналогичного сигналу CH₃ (К') МАК.

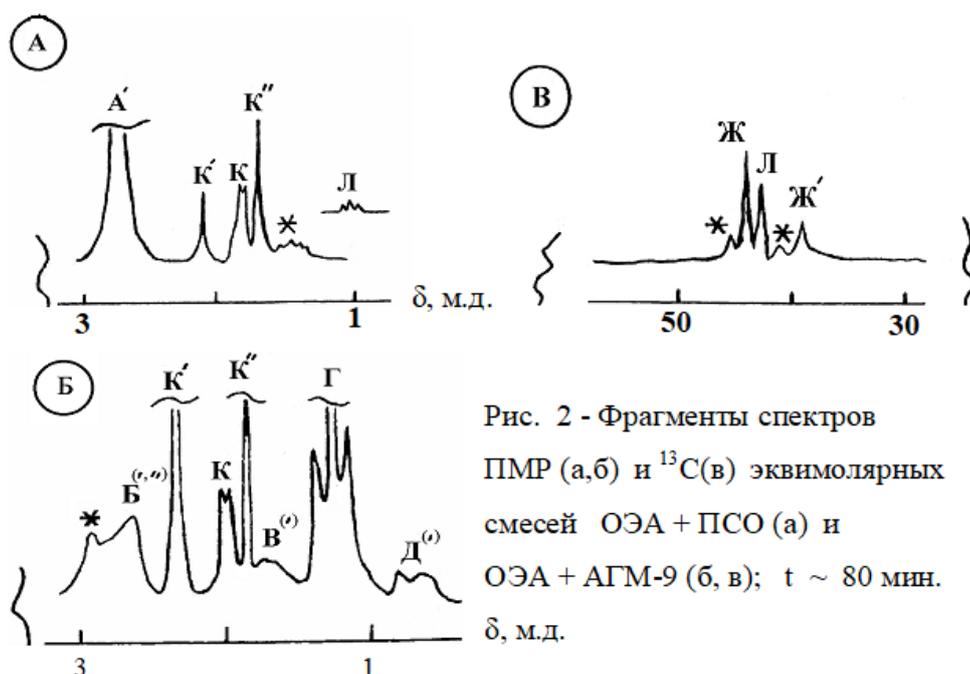


Рис. 2 - Фрагменты спектров ПМР (а,б) и ^{13}C (в) эквимольных смесей ОЭА + ПСО (а) и ОЭА + АГМ-9 (б, в); $t \sim 80$ мин.

Они дополняются пиками (*) в спектре ^{13}C ОЭА + АГМ-9 (рис.2в), появление которых не может быть обусловлено протонированием карбоксильных групп ОЭА аминогруппами NSi после и(или) в результате формирования аддуктов МАК с соответствующими протонодонорами.

Кроме того, анализ интегральных интенсивностей (табл. 3-5) свидетельствует об изменении доли МАК в составе ОЭА в присутствии соединений типа **R-H**: если соотношение метакриловых фрагментов М различной природы (т.е. МАК и ОЭА) в исходном продукте составляет 2 : 7 (мол.), то в присутствии внешних протонодоноров оно возрастает до 1 : 1 (мол.) (см. $\Gamma^{\text{отн}}$ сигналов К и К' + К'' в табл.3 и 4 и на рис.1б и 2а,б).

Таблица 3 - Идентификация сигналов в спектре ПМР модельной композиции ОЭА (МАК) + ПСО ($[\text{C}=\text{CH}_2] : [\text{SH}] \sim 2,5 : 1$ мол., рис. 2а)

Обозначение сигнала в спектре	Источник сигнала (подчеркнут)		Характеристика сигнала:	
	Соединение	Фрагмент	$\Gamma^{\text{отн}}$	δ , м.д.
A'	ПСО	- S-S - <u>CH₂</u> -	145	2.70 т
Л	ПСО	~ R - <u>SH</u>	9	1.10 т
(*)	ПСО + МАК	~ R - S' <u>H₂</u> ⁺ OCO -	13	1.50 м
К	ОЭА	- <u>CH₃</u>	15	1.72 д
К'	МАК	- <u>CH₃</u>	3	2.10 с
К''	МАК	(- <u>CH₃</u>) ^{-δ}	12	1.65 с

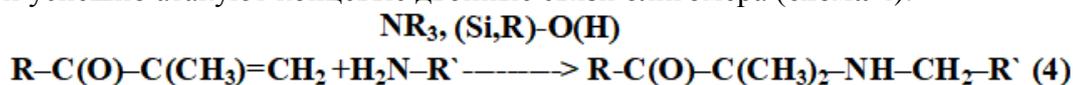
Таблица 4 - Идентификация сигналов в спектре ПМР модельной композиции ОЭА (МАК) + АГМ-9 ($[\text{C}=\text{CH}_2] : [\text{NH}_2] \sim 4 : 1$ мол., рис. 2б).

Обозначение сигнала в спектре	Источник сигнала (подчеркнут)		Характеристика сигнала:	
	Соединение	Фрагмент	$\Gamma^{\text{отн}}$	δ , м.д.
(*)	АГМ-9+ОЭА	-CH ₂ - <u>NH</u> -C(CH ₃) ₂ -	(↑)	2.85 с
Б	АГМ-9+МАК	-N ⁺ <u>H₃</u> OCO-, - <u>OH</u>	35	
Б'	АГМ-9	- <u>CH₂</u> -N, - <u>NH₂</u>	(↓)	2.56 с
Б''	АГМ-9+ОЭА	- <u>CH₂</u> -OCO-	(↓)	
К	ОЭА	C(CH ₃) ₂ -	15	1.90 д
К'	МАК	- <u>CH₃</u>	15	2.25 с

К`	МАК	- CH ₃	3	1.80 с
В	АГМ-9	(- CH ₃) ^{-δ}	(↑)	
В`	АГМ-9+ОЭА	-C-CH ₂ -C-	23	1.65 м
Г	АГМ-9	- CR ₂ (CH ₃)	35	1.25 т
Д	АГМ-9	- CH ₃	(↑)	
Д`	АГМ-9+ОЭА	- Si - CH ₂ - -C(O) - CR(CH ₃)-	24 (↓) (↓)	0.52 м

И группа ~ R - SH ПСО, и R` - NH₂ АГМ-9 являются как потенциальными протонодонорами, так и протоноакцепторами.

Однако данные ЯМР ¹³C (табл. 5, рис. 2в) свидетельствуют о том, что при комнатной температуре только первичные аминогруппы АГМ-9 не только формируют достаточно устойчивые донорно-акцепторные комплексы с карбоксильными группами МАК в составе ОЭА, но и успешно атакуют концевые двойные связи олигомера (схема 4):



с образованием пары магнитно-неэквивалентных метильных групп (попадающих в цис- и транс- положение по отношению к соседней карбонильной группе), сигналы от которых, судя по Γ^{отн.}, накладываются на пики В и Д, а метиленовые группы образовавшихся фрагментов (-CH₂-OC(O)-C(CH₃)₂-NH-) вносят вклад в сигнал Б (табл. 4).

Таблица 5 - Идентификация сигналов в спектре ¹³C модельной композиции ОЭА (МАК) + АГМ-9 ([C=CH₂] : [NH₂] ~ 4 : 1 мол., рис. 2в).

Обозначение сигнала	Источник сигнала (подчеркнут)		δ, м.д.
	Соединение	Фрагмент	
(*)	АГМ-9+ОЭА	-CH ₂ -NH-(CH ₃) ₂ -	45.3
(*)	АГМ-9+ОЭА	-CH ₂ -NH-C(CH ₃) ₂ -	41.2
Л	АГМ-9	-CH ₂ -NH ₂	42.8
Ж	ОЭА	CR ₄	43.7
Ж`	ОЭА	CR ₃ - CH ₂ - OH	38.5

Таким образом, и ПСО, и ОЭА при нормальных условиях могут рассматриваться как высокомолекулярные отвердители не только радикальной, но и ионной природы, чья эффективность в последнем направлении определяется активностью подвижных протонов и донорно-акцепторными свойствами всех функциональных групп олигомерной композиции.

Список литературы

1. Минкин, В.С. Изучение механизма модификации полисульфидных олигомеров метилметакрилатом / В.С. Минкин, Г.В. Романова, Л.А. Аверко-Антонович, и др. // Высокомолек. соед. - 1975.- Т. 17А- №5.- С. 1009-1113.
2. Минкин, В.С. Изучение кинетики вулканизации жидких тиоколов, модифицированных этиленгликольдиметакрилатом, импульсным методом ЯМР / В.С. Минкин, Г.В. Романова, Л.А. Аверко-Антонович, и др. // Высокомолек. соед. - 1975.- Т. 17Б.- №11.- С. 831-834.
3. Минкин, В.С. Изучение механизма модификации полисульфидных олигомеров этиленгликольдиметакрилатом / В.С. Минкин, Г.В. Романова, Л.А. Аверко-Антонович, и др. // Изв. ВУЗов. Сер: Химия и хим. технология. 1983. - Т. 26. Вып. 2. С. 233-235.
4. Аверко-Антонович, Л.А. Полисульфидные олигомеры и герметики на их основе. / Л.А. Аверко-Антонович, П.А. Кирпичников, Р.А. Смылова. Л.: Химия, 1983. -128с.

02.00.06

П.П. Суханов, В.С. Минкин, А.П. Суханов

Казанский национальный исследовательский технологический университет,
Казань, paulpost3@yandex.ru

**ЯМР - АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ СТРУКТУРИРОВАНИЯ
ОЛИГОЭФИРАКРИЛАТСУЛЬФИДНЫХ КОМПОЗИЦИЙ В ПРИСУТСТВИИ
АМИНОАЛКИЛСИЛАНА АГМ - 9. СООБЩЕНИЕ 2. МЕХАНИЗМ
СТРУКТУРИРОВАНИЯ ОЛИГОЭФИРАКРИЛАТСУЛЬФИДНЫХ СМЕСЕЙ**

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-1-14-18

В работе представлены результаты исследования методом ЯМР релаксометрии кинетики структурирования и физикомеханики отвержденных смесей промышленных олигомеров полисульфидной и эфиракрилатной природы при нормальных условиях в присутствии аминоксилана АГМ-9. Эти и полученные ранее данные ЯМР спектроскопии позволяют предположить, что основу ионного маршрута в механизме структурирования изученных композиций составляют донорно-акцепторные комплексы, образуемые дисульфидными и концевыми группами олигомеров и АГМ-9.

Ключевые слова: олигоэфиракрилат, полисульфидный олигомер, аминоксилан, механизм структурирования, ЯМР релаксометрия.

Ранее уже изучался процесс взаимодействия полисульфидных олигомеров и акрилатсодержащих мономеров в присутствии неорганических окислителей на концевые группы полисульфидного олигомера (ПСО) [1].

При этом процесс их совместного отверждения рассматривался как способ модификации ПСО непредельными соединениями, а в основу механизма соответствующего процесса были положены радикальные реакции с участием дисульфидных связей.

Впоследствии было установлено, что и олигомерные смеси олигоэфиракрилатов (ОЭА) и ПСО способны к интенсивному структурированию в присутствии аминосиланов [2], а проведенный в данной работе детальный анализ механизма этого процесса допускает существенное смещение акцентов в его интерпретации.

В частности, будет показано, что уже не ПСО, а ОЭА может рассматриваться как олигомер-матрица, а ПСО - как его высокомолекулярный отвердитель, причем не только радикальной, но и преимущественно ионной природы, чья эффективность при нормальных условиях (н.у.) определяется активностью подвижных протонов и донорно-акцепторными свойствами всех функциональных групп олигомерной композиции.

Подобная классификация олигомеров смеси по их функциям основана на результатах ЯМР-анализа механизмов взаимодействия компонентов при н.у. [3] и, естественно, действительна только для тех условий, в пределах которых справедливы соответствующие механизмы.

В данном случае речь идет прежде всего о нормальных и близких к ним температурах смешения и отверждения смесей на основе эфиракрилатного и полисульфидного олигомеров.

При повышенных температурах и(или) в разбавленных растворах, а также в присутствии добавок неаминной или неаминосилановой природы, не исключаются иные механизмы взаимодействия и(или) функции олигомеров.

В качестве рабочего кинетического параметра в работе использовалось время поперечной (спин-спиновой) ядерной магнитной релаксации T_2 , значения которого измерялись по методике КПМГ [4] при комнатных температурах.

Обработка сигналов лабораторного ЯМР - релаксометра (с рабочей частотой 19 МГц по протонам и временем нечувствительности приемо-передающего тракта 7 мкс) осуществлялась с помощью программного обеспечения.

Кинетика структурирования олигомерных композиций в блоке изучалась импульсным методом ЯМР и представлена на рис.1 функциями $T_2(t)$. Из них (табл. 1) и физико-механических свойств вулканизатов (табл. 2) следует, что АГМ-9 является слабым отвердителем или промотором отверждения для обоих олигомеров, а скорость процесса и его глубина ("глубина структурирования" - T_2^0/T_2^k) по крайней мере в узких интервалах значений переменных пропорциональны концентрации ОЭА, вязкости композиции и обратно пропорциональны температуре.

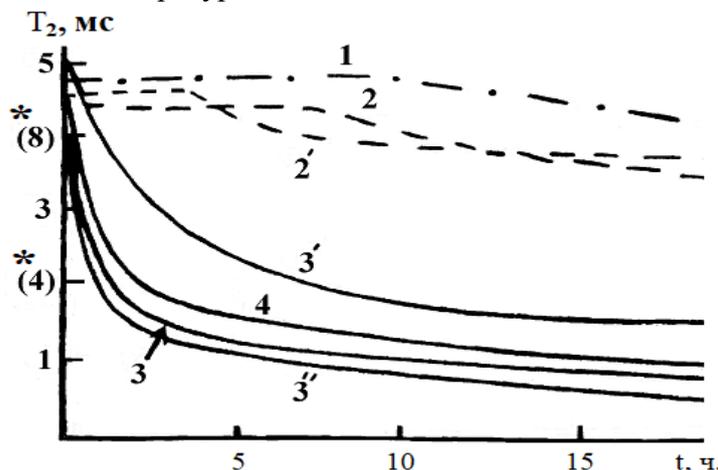


Рис. 1 - Кинетика структурирования смесей ПСО + ОЭА в присутствии АГМ-9 (скобки указывают на порядок смешения): 1 – ОЭА + АГМ-9 (1 : 1 мол.); 2, 2` - ПСО+АГМ-9 (1 : 1 мол.); 3, 3`, 3`` - (ПСО + ОЭА) + АГМ-9 (2 : 1 : 1 мол.); 3`` - 3 + техуглерод П-803 (50 мас.ч. относ. ПСО); 4 - (ПСО + ОЭА) + АГМ-9 (2 : 0.5 : 1 мол.); цифры без штриха – $t^0 = 23^{\circ}\text{C}$, со штрихом – $t^0 = 60^{\circ}\text{C}$; * - шкала для 2` и 3`.

Все это свидетельствует о существовании лимитирующей (одновременно и инициирующей) стадии в механизме отверждения, обусловленной преимущественно поведением аддуктов реакционноспособных групп композиции.

Таблица 1 - Температурная зависимость структурно-кинетических параметров (кинетических констант и глубин структурирования) процесса отверждения композиций *(ОЭА+ПСО)+АГМ-9, получаемых из кривых эволюции времен поперечной релаксации $T_2(t)$.

Температура, $^{\circ}\text{C}$	Константы скорости процесса структурирования I порядка ($k_i \cdot 10^3, \text{мин}^{-1}$)			$\frac{T_2^0}{T_2^k}$	$t_{k^{***}}, \text{ч}$
	к	k_1^{**}	k_2^{**}		
23	17.4	3.15	0.59	5.2	24
60	9.5	2.30	0.14	4.6	24

* - скобки указывают на порядок смешения;

** - для участков после первого (k_1) и второго (k_2) перегибов полулогарифмических анаморфоз кинетических кривых (рис. 1);

*** - условное конечное время процесса, по которому определяется конечное значение времени поперечной ядерной магнитной релаксации T_2^k ;

T_2^0 - исходное (начальное) время ядерной магнитной релаксации, т.е. значение $T_2(t)$ при $t = 0$;

отношение T_2^0/T_2^k - условная мера завершенности процесса структурообразования, оцениваемая по относительному изменению молекулярной подвижности в системе («глубина структурирования»).

Отсюда можно предположить, что и активность АГМ-9 по отношению к смесевым композициям - следствие устойчивого проявления в вязкой олигомерной среде донорно-акцепторных свойств гетероатомных групп в его составе ($\text{Si}(\text{OEt})_3$ и NH_2), в особенности после их локализации в структуре олигомера (схема 4 в [3]).

Таблица 2 - Физико-механические характеристики вулканизатов композиций *(ПСО +(П-803 + ОЭА)) + АГМ-9 через 24 часа после начала их приготовления и отверждения при нормальных условиях.

Состав смеси (мас.ч. / 100мас.ч. ПСО)			Сопротивление разрыву, МПа	Относит. удлинение при разрыве, %	Адгезия, кН / м
П-803 **	АГМ-9 ***	ОЭА ***			
50	15	5	3.81	41	0.42
50	15	15	3.98	45	0.30
20	5	5	0.78	133	0.86

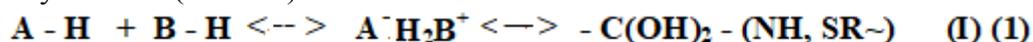
* - скобки указывают на порядок смешения;

** - наполненных сажей П-803;

*** - 15 мас. ч. АГМ-9 соответствуют молярному соотношению $[\text{NH}_2] : [\text{SH}] = 1 : 1$; 5 мас.ч. ОЭА соответствуют $[\text{C}=\text{CH}_2] : [\text{SH}] \approx 1 : 1$ мол. или $[\text{C}=\text{CH}_2] : [\text{S-S}] \approx 1 : 8$ мол.

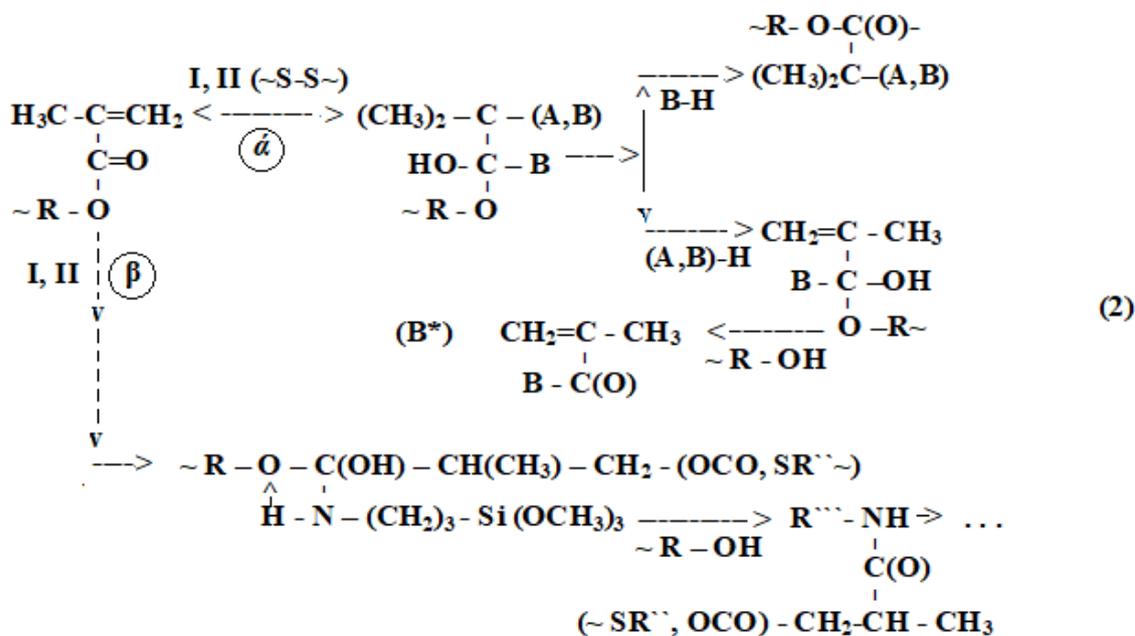
В олигоэфиракрилатных системах даже при нормальных температурах наблюдаются интенсивные обменные процессы и происходит формирование донорно-акцепторных взаимодействий между различными компонентами [3]. Поэтому фрагменты АГМ-9 способны выступать в качестве регуляторов донорно-акцепторных свойств всех полярных и(или) гетероатомных группировок в композиции.

Действительно, введение АГМ-9 и(или) ПСО в ОЭА равносильно изменению природы и(или) концентрации протонодоноров в системе. В результате нарушается динамика равновесных поликонденсационных процессов (см. схемы 2 и 3 в [3]) и(или) расширяется их множество благодаря новым взаимодействиям химической (см. схему 4 в [3]) или донорно-акцепторной природы, сравнительно легко реализуемым в вязкой олигомерной среде при нормальных условиях (схема 1):



где $\text{A} = (\sim)\text{R}'-\text{COO}$, $\text{B} = \sim\text{R}''-\text{S}$ или $\text{R}'''-\text{N}(\text{H})$.

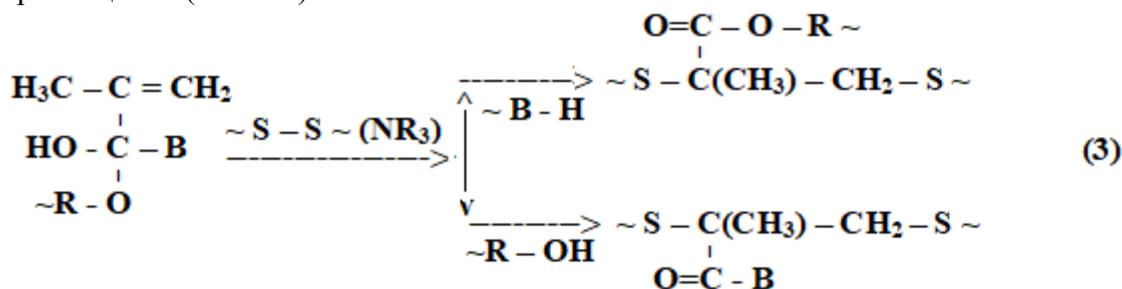
Крупномасштабные олигомерные аддукты (I) и (II) способны не только к протонированию карбонильной группы, но и к одновременному воздействию на всю сопряженную электронную систему М. Их атака должна быть особенно успешной на депротонированные и заторможенные (по сравнению с МАК) фрагменты олигоэфиракрилатных цепей, в результате чего инициируются процессы сополимеризации, прививки и(или) разветвления (схема 2):



Судя по данным ЯМР спектроскопии (см. рис. 2 и табл. 3-5 в работе [3]), при раскрытии связи C=CH₂ активный протон предпочитает присоединяться к CH₂-группе (направление α), хотя и не исключается его миграция к четвертичному углероду M (направление β).

Если фрагмент B^(*) включает в себя -NH-, то вполне вероятно дальнейшее удлинение полимерных молекул и формирование каталитических центров типа NR₃.

В присутствии ПСО этот процесс может также сопровождаться разветвлением олигомерных цепей (схема 3):



Таким образом, по мере структурирования смесей ОЭА и ПСО при нормальных условиях статус обоих олигомеров может меняться, то есть формально оба могут рассматриваться и как олигомер-матрица, и как олигомер-отвердитель.

Однако в формировании активных донорно-акцепторных комплексов (например, I и II) принимают участие молекулы ПСО, АГМ-9 и МАК, но не ОЭА, склонные к "пассивной" ассоциации с дисульфидными связями.

Если рассматривать механизм структурирования с этой позиции, то **"атакуемые" реакционноспособными центрами молекулы олигоэфиракрилата больше подходят на роль "олигомерной матрицы" данной композиции.** При этом все стадии процесса структурирования активируются и (или) катализируются как "изнутри" (МАК), так и "снаружи" (ПСО, АГМ-9).

Кроме того, по ходу отверждения падает концентрация реакционноспособных центров - активаторов (аддукты I, II) и растет число фрагментов NR₃, способствующих сополимеризации ОЭА и ПСО без значительного изменения концентрации тиольных групп (см. схему 3).

Аналогичным образом, формирование фрагментов B^(*) на начальном этапе процесса происходит с сохранением числа метакриловых групп в системе (схема 2).

Следовательно, процесс структурирования смесей ОЭА и ПСО в присутствии аминосилана можно разбить на три последовательно-параллельных этапа:

- *первый* - формирование гетероатомных протоносодержащих связей и комплексов (см. схему 4 в [3] и схему 1 в данной работе);

- *второй* - обратимый распад эфиракрилатных фрагментов под воздействием развития направлений твием реакционноспособных аддуктов и(или) комплексов (схема 2, направления I, II), в ходе которого реализуются обменные реакции по карбонильной группе М и происходит удлинение олигомерных цепей без обязательного раскрытия метакриловых фрагментов ОЭА;

- *третий* - катализируемый (NR_3 , ионные примеси) процесс сополимеризации олигомеров по дисульфидным "мостикам" ПСО и метакриловым группам ОЭА (развитие направлений I, II на схеме 2), в особенности при синхронной атаке на всю сопряженную систему концевой функционального фрагмента М (схемы 2 и 3).

Таким образом, основу ионного маршрута в механизме структурирования смесей полисульфидного и эфиракрилатного олигомеров в присутствии аминосилана при нормальных условиях составляют донорно-акцепторные комплексы (ДАК), образуемые дисульфидными и концевыми группами ПСО, ОЭА и АГМ-9, а также независимо протекающие межцепные взаимодействия.

Последние относительно легко реализуются в смесях как благодаря сопряжению неопределенных связей в метакрилатных фрагментах, так и участию в этих процессах сформировавшихся донорно-акцепторных комплексов гетероатомов с подвижными атомами водорода.

Побочным результатом взаимодействия ДАК и дисульфидных связей с неопределенными фрагментами олигомеров становятся процессы разветвления и(или) сополимеризации всех компонентов смеси.

Список литературы

1. Минкин, В.С. Изучение кинетики вулканизации жидких тиоколов, модифицированных этиленгликольдиметакрилатом, импульсным методом ЯМР / В.С. Минкин, Г.В. Романова, Л.А. Аверко-Антонович, и др. // Высокомолек. соед. - 1975.- Т. 17Б.- №11.- С. 831-834.
2. Минкин, В.С. Изучение кинетики вулканизации полисульфидных олигомеров, модифицированных олигоэфиракрилатами, импульсным методом ЯМР / В.С. Минкин, Г.В. Романова, Л.А. Аверко-Антонович, и др. // Высокомолек. соед. - 1982.- Т. 24Б.- №7.- С. 806-809.
3. Минкин, В.С. ЯМР - анализ процессов структурирования олигоэфиракрилатсульфидных композиций в присутствии аминоалкилсилана АГМ - 9. Сообщение 1. Взаимодействие компонентов олигоэфиракрилатсульфидных смесей / В.С. Минкин, П.П. Суханов // Научно-технический Вестник Поволжья. В печати.
4. Фаррар, Т. Импульсная и Фурье-спектроскопия ЯМР / Т. Фаррар, Э. Беккер. – М.: Мир, 1973. – 164 с.

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИКА (01.01.00)

01.01.00

Х.Ш. Джураев, З.Ш. Асомиддинов, М.М. Сафаров, А.Н. Умаров

Таджикский национальный университет,
физический факультет,
кафедра вычислительных машин, систем и сетей,
Таджикистан, Душанбе, hayrullo_58@mail.ru

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ НЕКОТОРЫХ ЖИДКИХ РАСТВОРОВ С ПОМОЩЬЮ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЯВЛЕНИЯ ПЕРЕНОСА ТЕПЛА**DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-1-19-22**

В работе представлены результаты исследования математической модели явления переноса тепла для определения коэффициента теплопроводности. Проведён численный расчет зависимости от времени коэффициента теплопроводности жидких растворов на примере нерафинированного подсолнечного масла.

Ключевые слова: *тепло, коэффициент теплопроводности, жидкий раствор, масло.*

Модели теплопроводности достаточно универсальны и описывают широкий спектр физических, биологических, технических и др. процессов [1]. Конкретным примером процесса теплообмена является система, состоящая из авиационного керосина и растительного масла.

В поверхностном слое под влиянием разогрева раствора в широком диапазоне непрерывно происходит теплообмен. Задача состоит в том, чтобы на основе информации о температуре и потоках тепла в поверхностном слое вещества определить характеристики верхних слоев системы авиационного керосина и растительного масла, знание которых важно как для рационального использования жидких растворов, так и для познания и развития физики жидкого состояния. В работах [1-6] исследованы теплофизические свойства растительных масел в зависимости от температуры при атмосферном давлении. Для измерения теплоемкости растительных масел и жидких растворов используется метод монотонного теплового режима. Данный метод основан на закономерностях приближенного анализа нелинейного уравнения теплопроводности [7, 8].

Модель теплового режима смеси авиационного керосина и растительных масел является составной частью стационарной и нестационарной трехмерной модели тепло- и массопереноса, которая реализуется аналитическими и численными методами в многомерных областях. Связь между авиационным керосином и растительными маслами описывается в рамках моделей изменения концентрации в пограничном слое масел, которые заключаются в том, что к каждому слою растительного масла присоединяется слой авиационного керосина. При этом предполагается, что все характеристики авиационного керосина однородны по горизонтали (вертикали) в пределах каждого слоя. При таких предположениях общая модель поверхностного слоя жидких растворов представляет собой совокупность одномерных по вертикальной координате моделей [2]. Используя данные о поверхностном слое или измерений температуры и теплового потока, требуется оценить теплопроводность жидких растворов на основе математической модели теплопроводности. Широко используемая модель определения теплофизических свойств жидких растворов в зависимости от температуры при атмосферном давлении, заключается в определении теплопроводности $\lambda \left(\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}} \right)$ жидких растворов [3-6]. Полученную информацию можно использовать для поиска таких важных для приложений параметров как, например, теплопроводность подсолнечного масла (см. таблица 1. [5,6])

Таблица 1.

Подсолнечное масло	Температура, К		
	298	303-308	338
Нерафинированное	0.165	0.160	0.156
Рафинированное	0.167	0.166	0.162

Математической моделью явления переноса тепла в жидких растворах является постановка задачи для нестационарного нелинейного уравнения теплопроводности при известной температуре и теплового потока [7, 8]:

$$\rho(T)c_{\rho}(T) \frac{\partial T(x,t)}{\partial t} = \frac{I}{\lambda(T)x^{\mu}} \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda(T)x^{\mu} \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\mu}{x} \frac{\partial T}{\partial x} \quad (x_0 \leq x \leq x_n, \quad t \geq 0), \quad (1)$$

где $\mu = 0, 1, 2$ соответствуют сосуду плоской, цилиндрической и сферической форм. Граничные условия для уравнения (1) имеют вид:

$$[T(x,t)]_{x=x_n} = \varphi_1(t), \quad \left[-\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial x} \right]_{x=x_n} = \varphi_2(t), \quad (2)$$

С помощью введения интегральной функции

$$W(T) = x^{\mu} \int_{T_0}^T \lambda(T) dT \quad (3)$$

уравнение (1) можно привести к виду:

$$\frac{\partial W}{\partial t} = \alpha \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} - 2\alpha \frac{\mu}{x^2} W, \quad (4)$$

где $\alpha = \frac{I}{\rho(T)c_{\rho}(T)}$.

Отметим, что уравнения (4) относительно функции $W(T)$ является линейным. Так как коэффициент теплопроводности $\lambda(T)$ зависит от температуры, а коэффициент $\alpha = \frac{I}{c_{\rho}(T)\rho(T)}$ слабо зависит от функции $W(T)$. Следовательно, для жидких растворов с низким коэффициентом теплопроводности $\lambda(T)$, зависимостью α от $W(T)$ можно пренебречь.

В случае плоской геометрии $\mu = 0$, постоянной плотности $\rho = const$ и теплоёмкости $c_{\rho} = const$, решение уравнения (4) относительно функции $W(x,t)$ согласно [9, 10], имеет вид:

$$W(x,t) = W_1(t) + \sum_{k=1}^{\infty} \frac{I}{(2k)!} \frac{(x_n - x)^{2k}}{\alpha^n(T_1)} \frac{d^k W_1}{dt^k} + \frac{x_n - x}{\lambda(T_1)} \left[q_1(t) + \sum_{k=1}^{\infty} \frac{I}{(2k+1)!} \frac{(x_n - x)^{2k}}{\alpha^n(T_1)} \frac{d^k q_1}{dt^k} \right], \quad (5)$$

где $W_1(T) = \int_{T_0}^{T_1} \lambda(T) dT$, функция теплового потока вещества $q_1(T) = -\lambda(T_1) \frac{\partial W}{\partial x} \Big|_{x=x_n}$.

Функция теплового потока $q(x,t)$ и $W(T)$ связаны следующим образом:

$$q(x,t) = -\lambda(T) \frac{\partial W}{\partial x}.$$

Согласно выражению (5), функция $q(x,t)$ имеет следующий вид:

$$q(x,t) = q_1(t) + \lambda(T_1) \sum_{k=1}^{\infty} \frac{I}{(2k-1)!} \frac{(x_n - x)^{2k-1}}{\alpha^n(T_1)} \frac{d^k W_1}{dt^k} + \sum_{k=1}^{\infty} \frac{I}{(2k)!} \frac{(x_n - x)^{2k}}{\alpha^n(T_1)} \frac{d^k q_1}{dt^k}. \quad (6)$$

Таким образом, из полученных выражений (5) и (6) можно определить значения температуры и теплового потока вещества. Если заранее известны температура и тепловой поток вещества, искомые теплофизические характеристики жидких растворов

(теплопроводность λ , удельная теплоёмкость c_p , плотность ρ) на поверхности вещества можно определить с помощью решения нелинейного уравнения (1) в виде выражений (5) и (6).

Случай линейной зависимости коэффициента теплопроводности $\lambda(T)$ от температуры является очень важным случаем жидких растворов. В этом случае коэффициент теплопроводности согласно [7-9] имеет вид:

$$\lambda(T) = \lambda_1 + \lambda_2 T,$$

где $\lambda_2 = \alpha \lambda_1$.

Таким образом, функцию $W(T)$ и $q(x, t)$ можно представить следующим образом:

$$W(T) = \lambda_1(T - T_0) + \lambda_2(T^2 - T_0^2), \quad (7)$$

$$q(x, t) = -(\lambda_1 + \lambda_2 T_1) \left[(\lambda_1 + \lambda_2 T) \frac{\partial T}{\partial x} \right]_{x=x_n}. \quad (8)$$

Подставив (5) и (6) в (7) и (8) соответственно, получим квадратное уравнение относительно температуры T :

$$\frac{\lambda_2}{2} T^2 + \lambda_1 T - \frac{\lambda_2}{2} T_1^2 - \lambda_1 T_1 - R_1(x, t) - R_2(x, t) = 0,$$

где $R_1(x, t) = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{(2k)!} \frac{(x_n - x)^{2k}}{\alpha^n(T_1)} \frac{d^k W_1}{dt^k}$, $R_2(x, t) = \frac{x_n - x}{\lambda(T_1)} \left[q_1(t) + \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{(2k+1)!} \frac{(x_n - x)^{2k}}{\alpha^n(T_1)} \frac{d^k q_1}{dt^k} \right]$

Откуда

$$T(x, t) = \frac{1}{\lambda_2} \left(\sqrt{\lambda_1^2 + 2\lambda_2 \left(T_1 \left(\lambda_1 + \frac{\lambda_2}{2} T_1 \right) + (R_1(x, t) + R_2(x, t)) \right)} - \lambda_1 \right). \quad (9)$$

Если заранее известно значение температуры, то искомые соответствующие параметры во внутренних точках среды нетрудно определить с помощью алгебраических систем нелинейных уравнений относительно неизвестных коэффициентов λ_1, λ_2 при заданных удельной теплоёмкости c_p и плотности ρ . Решив алгебраическую систему нелинейных уравнений, получим значения коэффициентов λ_1, λ_2 :

$$\lambda_1 = \beta(T_1) \sqrt{\frac{\varphi_1(t)}{\frac{d^2 W_1}{dt^2}}} - \frac{\sqrt{\varphi_1^3(t) \frac{d^2 W_1}{dt^2}}}{\varphi_2(t) \beta(T_1)}, \quad \lambda_2 = \frac{\sqrt{\varphi_1(t) \frac{d^2 W_1}{dt^2}}}{2\varphi_2(t) \beta(T_1)}. \quad (10)$$

Далее, для всестороннего анализа полученных результатов, используя выражения (10), проведём численный расчет зависимости коэффициента теплопроводности жидких растворов от температуры на примере нерафинированного подсолнечного масла. Плотность $\rho = 920 \frac{кг}{м^3}$, удельная теплоемкость $c_p = 1900 \frac{Дж}{кг \cdot К}$ и $\varphi_1(t) = \exp(-t)$, $\varphi_2(t) = 0.5 \exp(-t)$, $T_1 = 273 К$. Результаты численных расчетов приведены в таблица 2.

Таблица 2.

№ п/п	0	1	2	3	4	5	6	7
Температура, К	293	303	313	323	333	343	353	363
коэффициент теплопроводности [5]	0.167	0.166	0.165	0.164	0.163	0.162	0.161	0.160
коэффициент теплопроводности	0.1674	0.1658	0.1643	0.1642	0.1625	0.1619	0.1610	0.1606

Из полученных результатов численного расчета следует, что с увеличением температуры от 293 К до 363 К, коэффициент теплопроводности исследованного раствора уменьшается от 0.16743 до 0.160645, что находится в удовлетворительном согласии с результатом работы [5].

Список литературы

1. *Васильева И.А.* Теплофизические свойства вещества /И.А. Васильева, Д.П. Волков, Ю.П. Заричник // -М.: Инфра-М. -2004. -80 с.
2. *Гинзбург А.С.* Теплофизические характеристики пищевых продуктов и материалов. /А.С. Гинзбург, М.А. Громов, Г.И. Красовская и др. //-М.: Пищевая промышленность. -1990. – 223 с.
3. *Деревенко В.В.* Методика расчёта некоторых тепловых свойств мицеллы. /В.В. Деревенко, В.А. Масликов // Масложировая промышленность. – 1985. №8. – С.1-13.
4. *Сафаров М.М.* Теплофизические свойства растительных масел./ М.М. Сафаров, Ш.Т. Юсупов, М.А. Зарипова, С.А. Тагоев // -Душанбе, 2002. -80 с.
5. *Громов М.А.* Теплофизические свойства растительных масел и жиров/М.А. Громов //Масложировая промышленность.-1973. №3.–С.15-17.
6. Руководство по технологии получения и переработке растительных масел и жиров. – Ленинград: ВНИИЖ. -1969. –Т.3. -582 с.
7. *Самарский А.А.* Вычислительная теплопередача. /А.А. Самарский, П.Н. Вабищевич //-М.: Эдиториал, 2003. -748 с.
8. *Полежаев Ю.В.* Тепловая защита. /Ю.В. Полежаев, Ф.Б. Юревич // -М.: Энергия. -1976. - 392.
9. *Джураев Х.Ш.* Исследование процессов массопереноса методом искусственной гиперболизации /Х.Ш. Джураев, К.Комилов, З.С. Норматов //Математическое моделирование и краевые задачи. Труды десятой всероссийской научной конференции с международным участием. Часть 2. –Самара: СамГТУ, 2016. -с.35-38. ил. ISBN 978-5-7964-1904-5.
10. *Джураев Х.Ш.* Исследование процессов массопереноса методом искусственной гиперболизации / Х.Ш. Джураев, К. Комилов, З.С. Норматов //Вестник Таджикского национального университета. 2016, 1/3(200). -с.151-155.

01.01.00

Н.М. Чиганова

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет
(НИУ МГСУ),
кафедра прикладной математики
Москва, chiganovanm.mgsu@gmail.com

МЕТОД КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ ПО КОЛИЧЕСТВЕННОМУ ПРИЗНАКУ

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-1-23-27

При решении задач контроля качества строительных изделий по количественному признаку возникает проблема нахождения экстремальных значений функций, представляющие собой оперативную характеристику контроля. В настоящей статье сделана попытка найти в явном виде экстремальные значения оперативной характеристики.

Ключевые слова: планы контроля, экстремумы функции, контролируемый параметр.

При решении задач контроля качества строительных изделий по количественному признаку [1] возникает проблема нахождения экстремальных значений функции $Z_{n,k}(m, \delta)$, представляющую собой оперативную характеристику контроля.

Известно [1,2], что она имеет вид:

$$Z_{n,k}(m, \delta) = B \int_0^{-\frac{1}{2k}(u_1+u_2)} \eta^{n-2} e^{-\frac{n}{2}\eta^2} \{ \Phi[-(u_2 + \eta k)\sqrt{n}] - \Phi[(u_1 + \eta k)\sqrt{n}] \} d\eta \equiv l(\theta_1, \theta_2) \tag{1}$$

где $B = \frac{2\left(\frac{n}{2}\right)^{\frac{n-1}{2}}}{\Gamma\left(\frac{n-1}{2}\right)}$, $\Gamma(x)$ – Гамма-Функция,

$\theta_i = \Phi(u_i), i = 1,2, u_1 = \frac{X_n - m}{\delta}, u_2 = \frac{m - X_b}{\delta}, \Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{t^2}{2}} dt$, η -случайная величина, распределенная по закону Xu – квадрат с $(n - 1)$ степенью свободы, m – математическое ожидание, δ^2 - дисперсия, (n, k) – план контроля [2].

Как важное обстоятельство отметим, что характеристика $Z_{n,k}(m, \delta)$ зависит от параметров m и δ через функции u_1 и u_2 , которые входят в формулу (1) не в виде комбинации $\Phi(u_1) + \Phi(u_2) = q$

Поэтому в случае двухстороннего ограничения на контролируемый параметр оперативная характеристика $Z_{n,k}(m, \delta)$ не однозначно определяется долей q негодных изделий в партии, а зависит еще от параметров распределения m и δ^2 .

Если бы в технических условиях на параметр X было наложено одностороннее ограничение, например, $X > X_H$, то $Z_{n,k}(q)$ однозначно определялось бы заданием q . В самом деле, полагая в формуле (1) $X_b = \infty$, получим $u_2 = -\infty, \theta_2 = \Phi(-\infty) = 0, q = \theta_1 = \Phi(u_1), u_1 = u_q$ и

$$Z_{n,k}(m, \delta) = B \int_0^\infty \eta^{n-2} e^{-\frac{n}{2}\eta^2} \Phi[-(u_q + \eta k)\sqrt{n}] d\eta = Z_{n,k}(q)$$

Так как при двухстороннем ограничении на параметр вероятность приемки партии с уровнем качества q зависит от параметров распределения m и δ , то при определении плана контроля (n, k) необходимо вместо $Z_{n,k}(q)$ использовать нижнюю и верхнюю границы [3,4] $\underline{Z}_{n,k}(q) = \min_{(m,\delta) \in Q} Z_{n,k}(m, \delta), \bar{Z}_{n,k}(q) = \max_{(m,\delta) \in Q} Z_{n,k}(m, \delta)$.

$$\text{Здесь } Q = \left\{ m, \delta \geq 0: \Phi\left(\frac{X_H - m}{\delta}\right) + \Phi\left(\frac{m - X_b}{\delta}\right) = q \right\}.$$

В настоящей статье сделана попытка найти в явном виде экстремальные значения функции $l(\theta_1, \theta_2)$.

Итак, перейдем к исследованию функции $l(\theta_1, \theta_2)$ на экстремум. Заметим, что $\underline{Z}_{n,k}(q) = \min_{(\theta_1+\theta_2)=\theta} l(\theta_1, \theta_2), \bar{Z}_{n,k}(q) = \max_{(\theta_1+\theta_2)=\theta} l(\theta_1, \theta_2), \theta = \{(\theta_1, \theta_2): 0 \leq \theta_i \leq 1, i = 1,2, \theta_1 + \theta_2 = q\}$

Нахождение экстремумов функции $l(\theta_1, \theta_2)$ проведем по общепринятой классической схеме. Заменяем переменную θ_2 через θ_1 .

$$\text{Тогда получим } \underline{Z} = \min_{0 \leq \theta_1 \leq q} l(\theta_1, q - \theta_1), \bar{Z} = \max_{0 \leq \theta_1 \leq q} l(\theta_1, q - \theta_1).$$

Используя очевидные соотношения $\frac{du_1}{d\theta_1} = \sqrt{2\pi} e^{\frac{u_1^2}{2}}, \frac{du_2}{d\theta_1} = -\sqrt{2\pi} e^{\frac{u_2^2}{2}}$, после ряда преобразований находим $sign \frac{dl(\theta_1, q - \theta_1)}{d\theta_1} = sign \psi_n(u_1, u_2)$,

$$\begin{aligned} \psi_n(u_1, u_2) = & \int_0^{-\frac{1}{2}(u_1+u_2)} x^{n-2} e^{-\frac{n}{2}x^2(\frac{1}{k^2} - \frac{1}{n-1})} \\ & \times \left[e^{-\frac{(n-1)}{2}(u_2 + \frac{nx}{n-1})^2} - e^{-\frac{(n-1)}{2}(u_1 + \frac{nx}{n-1})^2} \right] dx \end{aligned} \tag{2}$$

Нетрудно проверить, что

$$-\psi_n(u_1, u_2) = \psi_n(u_1, u_2) \text{ и } \psi_n(u_1, u_2) = 0 \text{ при } u_1 = u_2 \tag{3}$$

В силу формулы (3) достаточно исследовать знак функции $\psi_n(u_1, u_2)$ при $u_1 < u_2$ для определения $sign \psi_n(u_1, u_2)$ на всем диапазоне изменения u_1 и u_2 .

Рассмотрим отдельный случай $n=2$. Тогда формула (2) может быть записана так:

$$\psi_2(u_1, u_2) = \int_0^A G_2(x) H_2(x, u_1, u_2) dx \tag{4}$$

где

$$\begin{aligned} G_2(x) = & e^{(1-k^{-2})x^2}, \quad H_2(x, u_1, u_2) = h_2(x, u_2) - h_2(x, u_1), \quad h_2(x, u_i) = \\ & e^{-\frac{1}{2}(2x+u_i)^2}, \\ & i=1,2, \quad A = -\frac{1}{2}(u_1 + u_2). \end{aligned}$$

Оценить знак функции ψ_2 позволяет следующая

Лемма I. Пусть функции f и g заданы на интервале $[a, b], f \geq 0$ и

$$\int_a^c f dx = \int_c^b f dx, \quad c \in]a, b[\tag{5}$$

тогда

$$\int_a^c gf dx > \int_c^b gf dx \tag{6}$$

если g – строго убывающая функция.

Доказательство непосредственно следует из теоремы о среднем. Действительно, $\int_a^c g f dx = g(x_1) \int_a^c f dx, x_1 \in]a, c[$, $\int_c^b g f dx = g(x_2) \int_c^b f dx, x_2 \in]a, b[$.

Поскольку $g(x_1) > g(x_2)$, то из условия (5) следует неравенство (6).

Следствие I. Если в условиях леммы I функция g – строго возрастающая, то вместо неравенства (6) будет справедливо противоположное неравенство $\int_a^c g f dx < \int_c^b g f dx$.

В справедливости этого замечания можно убедиться, умножив неравенство (6) на (-1) и заменив функцию g на $-g$.

Применим лемму I для оценки функции ψ_2 . Заметим вначале, что при $u_1 < u_2$,

$$H_2(x, u_1, u_2) = \begin{cases} > 0, x < \frac{A}{2}, \\ = 0, x = \frac{A}{2}, \text{ и} \\ < 0, x > \frac{A}{2}, \end{cases}$$

$$\int_0^{\frac{A}{2}} h_2(x, u_2) dx = \int_{\frac{A}{2}}^A h_2(x, u_1) dx = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \left[\Phi\left(\frac{u_2 - u_1}{2}\right) - \Phi(u_2) \right],$$

$$\int_0^{\frac{A}{2}} h_2(x, u_1) dx = \int_{\frac{A}{2}}^A h_2(x, u_2) dx = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \left[\Phi\left(\frac{u_1 - u_2}{2}\right) - \Phi(u_1) \right]$$

Вычитая из первого уравнения второе, получаем $\int_0^{\frac{A}{2}} H_2 dx = - \int_{\frac{A}{2}}^A H_2 dx$.

Положим в Лемме I $a = 0, c = \frac{A}{2}, b = A, g = G_2, f(x) = \begin{cases} H_2(x), x \leq \frac{A}{2}, \\ -H_2(x), x > \frac{A}{2}. \end{cases}$

Очевидно, введенные функции удовлетворяют условиям Леммы I.

Следовательно, $\psi_2 = \int_0^{\frac{A}{2}} G_2 H_2 dx + \int_{\frac{A}{2}}^A G_2 H_2 dx > 0$, если G_2 - строго убывающая функция, а это возможно, лишь когда $k < 1$.

Если G_2 - строго возрастающая функция ($k > 1$), то в силу следствия I. $\psi_2(u_1, u_2) < 0$.

При $k = 1$ функция $G_2 = 1$, а значит $\psi_2 = 0$. Таким образом, при $n = 2$ и $u_1 < u_2$,

$$\frac{dI(\theta_1, q - \theta_1)}{d\theta_1} \begin{cases} > 0, k < 1, \\ = 0, k = 1, \\ < 0, k > 1. \end{cases} \text{ тем самым установлено, что оперативная характеристика контроля}$$

при $k < 1$ имеет минимум и максимум соответственно в точках $(\theta_1 = 0, \theta_2 = q)$ и $(\theta_1 = \theta_2 = \frac{q}{2})$. При $(k > 1)$ отмеченные точки минимума и максимума меняется местами.

Запишем выражение оперативной характеристики в этих экстремальных точках. Полагая в формуле (1) $n = 2, (\theta_1 = 0, \theta_2 = q)$, т.е. $u_1 = -\infty, u_2 = u_q$, получаем

$$Z_{n,k}(q) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^\infty e^{-\eta^2} \Phi[-(u_q + k\eta)\sqrt{2}] d\eta.$$

При $n = 2, \theta_1 = \theta_2 = \frac{q}{2}$, т.е. $u_1 = u_2 = -\frac{1}{2}u_q$ формула (1) принимает вид [5]

$$Z_{n,k}(q) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\frac{q}{2}} e^{-\eta^2} \left\{ 1 - 2\Phi\left[\frac{u_q}{2} + k\eta\right]\sqrt{2} \right\} d\eta.$$

Итак,

$$Z_{2,k}(q) = \begin{cases} \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^\infty e^{-\eta^2} \Phi[-(u_q + k\eta)\sqrt{2}] d\eta, k \leq 1, \\ \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\frac{q}{2}} e^{-\eta^2} \left\{ 1 - 2\Phi\left[\left(\frac{u_q}{2} + k\eta\right)\sqrt{2}\right] \right\} d\eta, k \geq 1. \end{cases} \quad (7)$$

Верхняя граница $\bar{Z}_{2,k}(q)$ записывается формулой (7), только условия $k \leq 1$ и $k \geq 1$ необходимо поменять местами.

Поскольку при $k = 1$ функция $\psi_2 = 0$, то имеют место следующие тождества:

$$\int_0^{-\frac{1}{2}(u_1+u_2)} e^{-\xi^2} \{ \Phi[-(u_2 + \xi)\sqrt{2}] - \Phi[(u_1 + \xi)\sqrt{2}] d\xi \} = =$$

$$\int_0^\infty e^{-\xi^2} \Phi[-(u_q + \xi)\sqrt{2}] d\xi = = \int_0^{\frac{q}{2}} e^{-\xi^2} \{ 1 - 2\Phi\left[\left(\frac{u_q}{2} + \xi\right)\sqrt{2}\right] \} d\xi, \quad \text{где}$$

$$q = \Phi(u_1) + \Phi(u_2).$$

Рассмотрим теперь случай $n > 2$. Докажем следующее утверждение.

Теорема I. При $u_1 < u_2$ $\psi_n(u_1, u_2) > 0$ для всех $k < k^*$, где

$$k^* = \left\{ \frac{n}{(n-2)\left[\frac{1}{2}(u_1+u_2)\right]} + \frac{1}{n-1} \right\}^{-\frac{1}{2}}.$$

Доказательство.

Очевидно, $\psi_2(u_1, u_2) = \int_0^A G_n(x) H_n(x, u_1, u_2) dx$, где

$$G_n(x) = x^{n-2} e^{-\gamma x^2}, H_n(x, u_1, u_2) = h_n(x, u_2) - h_n(x, u_1),$$

$$h_n(x, u_i) = \exp\left[-\frac{1}{2}(n-1)\left(u_i + \frac{nx}{n-1}\right)^2\right], \quad i = 1, 2, \gamma = \frac{n}{2}\left(\frac{1}{k^2} - \frac{1}{n-1}\right).$$

Нетрудно проверить, что при $u_1 < u_2$

$$H_n(x) \begin{cases} > 0, & 0 \leq x < \frac{n-1}{n} A, \\ = 0, & x = \frac{n-1}{n} A, \\ < 0, & x > \frac{n-1}{n} A. \end{cases} \quad (8)$$

$$a \int_{\frac{n-2}{n}A}^{\frac{n-1}{n}A} h_n(x, u_2) dx = \int_{\frac{n-1}{n}A}^A h_n(x, u_1) dx, \int_{\frac{n-2}{n}A}^{\frac{n-1}{n}A} h_n(x, u_1) dx = \int_{\frac{n-1}{n}A}^A h_n(x, u_2) dx.$$

Из последующих двух уравнений получаем, что $\int_{\frac{n-2}{n}A}^{\frac{n-1}{n}A} H_n dx = -\int_{\frac{n-1}{n}A}^A H_n dx$.

Исследуем теперь функцию G_n . Заметим вначале, что $\gamma > 0 \forall k \in [0, k^*]$.

Функция G_n строго возрастает на интервале $]0, X^*[$ и убывает на интервале $]X^*, \infty[$.

$X^* = \left[\frac{(n-2)}{2\gamma}\right]^{\frac{1}{2}}$. Непосредственной проверкой можно убедиться в том, что $X^* < \frac{(n-2)}{n} A \forall k \in [0, k^*]$. Следовательно, на интервале $\left[\frac{n-1}{n} A, A\right]$ функция G_n строго возрастает.

В силу формулы (8) имеем

$$\psi_n(u_1, u_2) > \int_{\frac{n-2}{n}A}^A G_n H_n dx \quad (9)$$

Оценим знак интервала в неравенстве (9) с помощью *леммы I*.

$$\text{Положим } a = \frac{n-2}{n} A, \quad c = \frac{n-1}{n} A, \quad b = A, \quad g = G_n, \text{ и } f(x) = \begin{cases} H_n(x), & x \leq \frac{n-1}{n} A, \\ -H_n(x), & x > \frac{n-1}{n} A. \end{cases}$$

Введение функции f и g удовлетворяют условию следствия I.

Поэтому $\psi_n > 0$. Доказательство окончено.

Из теоремы I получаем следующий результат.

Следствие II. При $n > 2$:

$$\underline{Z}_{n,k}(q) = B \int_0^{\infty} \xi^{n-2} e^{-\frac{n\xi^2}{2}} \Phi[-(u_q + k\xi)\sqrt{n}] d\xi \quad (10)$$

$$\bar{Z}_{n,k}(q) = B^{-\frac{1}{k}u} \int_0^{\frac{q}{2}} \xi^{n-2} e^{-\frac{n\xi^2}{2}} \{1 - 2\Phi[(\frac{u_q}{2} + k\xi)\sqrt{n}]\} d\xi, \text{ для всех } k \in [0, k_q^*], \text{ где}$$

$$k_q^* = \left(\frac{n}{(n-2)} u_{\frac{q}{2}}^2 + \frac{1}{n-1} \right)^{-\frac{1}{2}}$$

Доказательство непосредственно следует из теоремы I и того факта, что функция $(u_1 + u_2)^2$ достигает минимального значения на множестве

$$\{u_1, u_2: \Phi(u_1) + \Phi(u_2) = q\}$$

в точке $u_1 = u_2 = \frac{u_q}{2}$.

Заключение.

Таким образом, формулы (10) позволяют значительно упростить вычисления планов контроля (n, k) при двустороннем допуске контролируемого параметра, характерного для конкретного строительного изделия.

Список литературы

1. Крамер Г. Математические методы статистики, М., Мир, 1975.
2. Карташов Г.Д., Чиганова Н.М. К обоснованию планов контроля по количественному признаку при двухстороннем допуске. В сборнике Статистические методы. Издательство Пермского государственного университета, 1980.
3. Большев Л.Н., Логинов Э.А., Интервальные оценки при наличии мешающих параметров, Теория вероятности и ее применение, XI, 1966, с. 94-107.
4. Nadezhda Chiganova, Reliability theory application for building structures reliability determination, МАТЕС Web of Conferences, 2016, Vol.86, <https://doi.org/10.1051/mateconf/20168602009>.
5. Большев Л.Н., Смирнов Е.В., Таблицы математической статистики, Москва, Наука, 2012, 416 с.

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ (02.00.00)

02.00.01

Л.С. Григорьева

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет,
институт строительства и архитектуры,
кафедра строительных материалов и материаловедения,
Москва, pehel@yandex.ru

ВОДНО-СОЛЕВЫЕ СИСТЕМЫ ЛАНТАНОИДОВ**DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-1-28-32**

В работе представлены результаты изучения тройных водно-солевых систем трихлорацетатов $Ln^1(CCl_3COO)_3 - Ln^2(CCl_3COO)_3 - H_2O$, где Ln – катион редкоземельного элемента, установлены закономерности в поведении ветвей растворимости и в характере взаимодействия компонентов.

Ключевые слова: *редкоземельные элементы, водно-солевые системы, трихлорацетаты, свободная энергия.*

Востребованность новых полифункциональных материалов привела к дальнейшему развитию научного направления, связанного с ультрамикрорегетерогенными системами[1].

Модификация систем путем введения редкоземельных элементов (РЗЭ) позволяет целенаправленно изменять свойства материалов.

Наиболее важными областями применения РЗЭ являются нефтехимия, электроника, стекольная и керамическая промышленность. В работе [2] представлен синтез, обеспечивающий получение нанокристаллического порошка YAG с удельной поверхностью в диапазоне 22-36 м²/г и средним размером частиц в диапазоне 36-78 нм. При этом присутствие редкоземельных элементов (1,5%) позволяет увеличивать параметры решетки без изменения фазового состава.

Предлагаемая авторами [3] для синтеза алюминатов стронция инновационная технология непрерывного синтеза позволит получать порошки люминофоров ультра- и наноразмера непосредственно в процессе синтеза; снижать температуру и продолжительность синтеза, благодаря термоудару и применению специальной стеклодобавки; оптимизировать гранулометрический состав синтезируемых порошков.

В работе [4] представлен эффективный, технологический метод повышения свойств литейных жаропрочных сплавов – микролегированием РЗЭ (церием, иттрием, лантаном, скандием).

Успешное создание новых функциональных материалов на основе РЗЭ и развитие технологии производств требует создание технологий получения лантаноидов в чистом виде. Для решения этих вопросов ведутся исследования систем РЗЭ [5-10].

Лантаноиды имеют большое сходство в электронном строении и близкие радиусы. Исследование фазовых равновесий в гетерогенных системах растворимости, распределения компонентов между фазами водно-солевых систем имеет теоретическое и практическое значение. Эти данные дополняют справочные материалы по растворимости и являются основой для развития технологии разделения и производства РЗЭ в индивидуальном состоянии в виде солей.

Актуальность работы связана с разработкой теоретических основ технологических процессов и методов разделения лантаноидов.

Экспериментальная часть.

Среди тройных водно-солевых систем солей лантаноидов с общим анионом имеются системы с непрерывным рядом твердых растворов, с ограниченными рядами твердых растворов и с областью кристаллизации исходных компонентов.

Литературные данные по изучению систем хлоридов, нитратов, йодидов, сульфатов, селенатов, броматов, этилсульфатов РЗЭ позволяют сравнивать не только поведение солей одного и того же аниона в серии РЗЭ, но и рассмотреть влияние аниона на поведение солей с теми же катионами.

Наиболее часто встречаются непрерывные ряды твердых растворов. Из изученных девяти систем этилсульфатов РЗЭ в шести образуются твердые растворы [11]. В системах броматов РЗЭ также преимущественно образуются твердые растворы [12].

Для выявления закономерностей в распределении компонентов между фазами изучены системы $\text{Ln}^1(\text{CCl}_3\text{COO})_3 - \text{Ln}^2(\text{CCl}_3\text{COO})_3 - \text{H}_2\text{O}$ при 298 К, где Ln – катион редкоземельного элемента.

Трихлорацетаты РЗЭ представляют собой кристаллогидраты с переменным содержанием кристаллизационной воды. Синтез трихлорацетатов РЗЭ проведен растворением соответствующих оксидов в 20% и 50% трихлоруксусной кислоте. Редкоземельный элемент определяли комплексометрическим титрованием с ксиленоловым оранжевым [13]. Хлор определяли путем сжигания образца в микробомбе с металлическим натрием и последующим титрованием хлорид-иона [14]. Число молекул воды установлено по разности и дифференциальным термическим анализом.

Трихлорацетаты не обладают свойствами рентгено- и термолюминесценции.

Взаимная растворимость солей редкоземельных элементов в системах изучена методом изотермической растворимости. Равновесие между жидкой и твердой фазами достигалось в результате рекристаллизации в течение 7 суток. Полученные жидкую фазу и твердые остатки анализировали. Момент равновесия определен по постоянству состава жидких и твердых фаз во времени и постоянству показателя преломления, измеряемого на рефрактометре марки RL-1. Все исследования и измерения проведены при температуре 298 К.

Определение суммы лантаноидов в жидких фазах и твердых остатках проведено методом комплексометрического титрования. Содержание празеодима, самария, неодима, гольмия, эрбия в присутствии других солей РЗЭ определено дифференциальным спектрофотометрическим методом [15].

При доверительной вероятности 0.95 величина доверительного интервала составляет для комплексометрического титрования $\pm 0.5\%$, для спектрофотометрического метода $\pm 1-2\%$. Для построения линии ликвидуса проведен регрессивный анализ.

Для насыщенных жидких растворов определены показатели преломления, удельные объемы, вязкости.

Для идентификации твердых фаз использованы методы рентгенофазового анализа и кристаллооптики.

В системах $\text{Nd}(\text{CCl}_3\text{COO})_3 - \text{Ln}(\text{CCl}_3\text{COO})_3 - \text{H}_2\text{O}$, где Ln – Pr, Sm; $\text{Er}(\text{CCl}_3\text{COO})_3 - \text{Ln}(\text{CCl}_3\text{COO})_3 - \text{H}_2\text{O}$, где Ln – Ho, Gd; $\text{Y}(\text{CCl}_3\text{COO})_3 - \text{Ln}(\text{CCl}_3\text{COO})_3 - \text{H}_2\text{O}$, где Ln – Nd, Sm установлено образование непрерывного ряда твердых растворов.

Анализ диаграмм распределения (рис.1) показывает, что в системах $\text{Nd}(\text{CCl}_3\text{COO})_3 - \text{Ln}(\text{CCl}_3\text{COO})_3 - \text{H}_2\text{O}$, где Ln – Pr, Y; $\text{Sm}(\text{CCl}_3\text{COO})_3 - \text{Y}(\text{CCl}_3\text{COO})_3 - \text{H}_2\text{O}$, $\text{Gd}(\text{CCl}_3\text{COO})_3 - \text{Er}(\text{CCl}_3\text{COO})_3 - \text{H}_2\text{O}$ твердая фаза обогащена менее растворимым компонентом во всей области концентраций. В системе гольмия-эрбия обогащение менее растворимым компонентом Ho(CCl_3COO)₃ происходит до 65 мол.% содержания трихлорацетата эрбия в жидкой фазе, при увеличении его содержания в жидкой фазе твердая фаза обогащена Er(CCl_3COO)₃. Растворимости Nd(CCl_3COO)₃ и Sm(CCl_3COO)₃ близки и составляют 60.80 и 60.40 мас.%. При содержании Nd(CCl_3COO)₃ в жидкой фазе до 51 мол.% твердая фаза обогащена Sm(CCl_3COO)₃, при большем его содержании – Nd(CCl_3COO)₃.

Твердые растворы трихлорацетатов празеодим-неодим, неодим-иттрий близки к идеальным. Твердые растворы трихлорацетатов неодим-самарий, гольмий-эрбий, самарий-иттрий, неодим-иттрий имеют отрицательное отклонение избыточной свободной энергии от идеальности (рис.2).

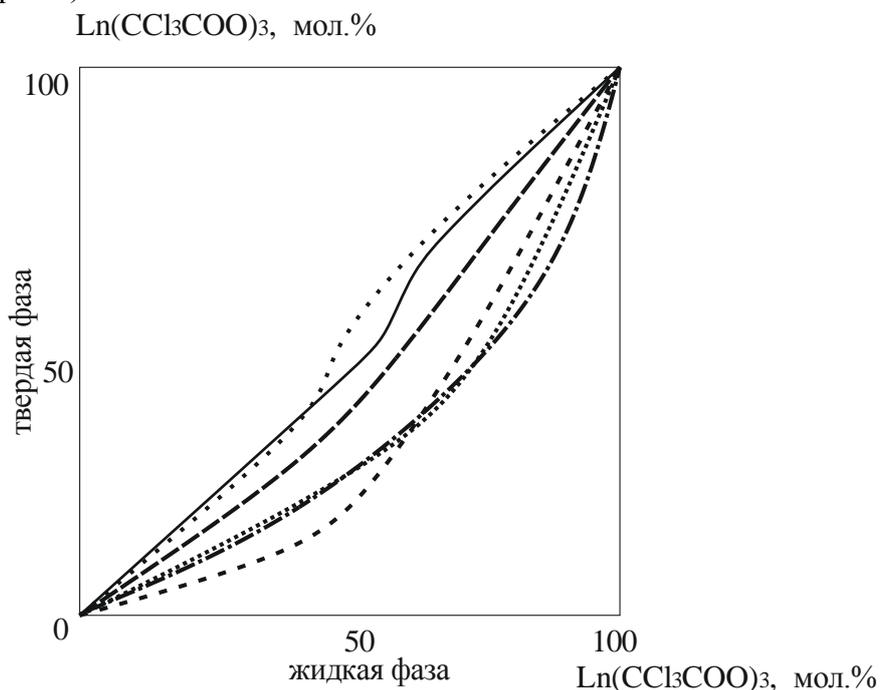


Рис. 1– Диаграммы распределения систем

..... Pr-Nd; · · · Nd-Sm; - - - Gd-Er; — Ho-Er; — — — Nd-Y; — — — Sm-Y

Твердые растворы трихлорацетатов гадолиний-эрбий отклоняются в положительную сторону от идеальности (рис.2).

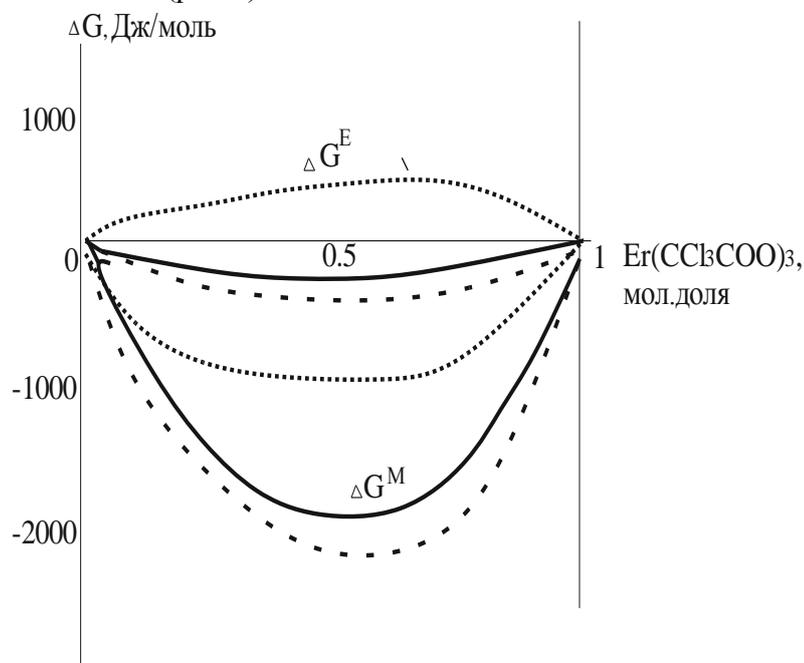


Рис. 2 – Изменение свободной энергии и избыточной свободной энергии в системах:

..... Gd - Er; - - - Ho - Er; — Nd - Sm

Для компонентов твердых растворов рассчитаны коэффициенты сокристаллизации, коэффициенты активности. Эти значения, например, для системы трихлорацетатов гадолиния-эрбия приведены в таблице. Анализ изменения коэффициентов активности

компонентов показывает, что в системе имеется область псевдоидеальных растворов.

Таблица–Значения коэффициентов сокристаллизации (D), коэффициентов активности (γ) компонентов в системе $Gd(CCl_3COO)_3$ - $Er(CCl_3COO)_3$ - H_2O

№	Состав тв.растворов, мол.доля $Er(CCl_3COO)_3$	$D_{Er/Gd}$	$\gamma_{Gd(CCl_3COO)_3}$	$\gamma_{Er(CCl_3COO)_3}$
1	0.050	0.323	1.00	2.28
2	0.100	0.336	1.00	2.12
3	0.150	0.350	1.01	1.97
4	0.200	0.364	1.02	1.84
5	0.250	0.379	1.03	1.72
6	0.300	0.395	1.04	1.61
7	0.350	0.373	1.02	1.79
8	0.400	0.394	1.05	1.68
9	0.450	0.416	1.07	1.58
10	0.500	0.440	1.10	1.50
11	0.550	0.466	1.13	1.42
12	0.600	0.492	1.16	1.35
13	0.650	0.520	1.21	1.29
14	0.700	0.550	1.26	1.23
15	0.750	0.581	1.31	1.18
16	0.800	0.614	1.36	1.14
17	0.850	0.649	1.43	1.10
18	0.900	0.687	1.50	1.06
19	0.950	0.725	1.58	1.03

Результаты

При сравнении результатов исследования тройных водно-солевых систем трихлорацетатов редкоземельных элементов с литературными данными можно отметить, что пределы изоморфного замещения трихлорацетатов лантаноидов ($\Delta r = 7.95\%$) близки к пределам изоморфного замещения хлоридов ($\Delta r = 7.8\%$), нитратов ($\Delta r = 7\%$). Усложнение состава, увеличение массы и размеров аниона приводит к сглаживанию относительных различий в решетке компонентов, к уменьшению затрат энергии на деформацию кристаллической решетки, поэтому возможно расширение пределов изоморфного замещения. Это согласуется с положениями энергетической теории изоморфизма предложенной В.С. Урусовым [16]: энтальпия смешения твердого раствора пропорциональна квадрату относительной разности межатомных расстояний (Δr), которая при фиксированном значении Δr уменьшается с увеличением аниона.

Несколько асимметричная зависимость энергии образования твердых растворов от состава связана с различием размеров сокристаллизующихся компонентов. Например, положительное отклонение от идеальности наблюдается в системе гадолиний – эрбий. Вхождение в структуру основного компонента более крупного иона приводит к возрастанию коэффициентов активности компонентов, увеличению деформации кристаллической решетки и положительному отклонению от идеальности. При отрицательном отклонении от идеальности твердые растворы образуются на основе менее растворимого компонента, обладающего большими параметрами кристаллической решетки. Вхождение в кристаллическую решетку меньшего по размеру иона приводит к уменьшению коэффициентов активности компонентов и отрицательному отклонению от идеальности.

Список литературы

1. Мелихов И.В. Физикохимия наносистем: успехи и проблемы // Вестник Российской академии наук. – 2002. –Т. 72. № 10. – С. 900-909.
2. Grabis, J. Preparation of YAG Nanoparticles and their Characteristics / J. Grabis, D. Jankoviča, I. Šteins, A. Patmalnieks // Materials Science Forum. – 2010. Vol. 636-637, P. 697-702.
3. Арбузова М.В., Буйновский А.С., Кербель Б.М., Лунько Г.А. Разработка технологии синтеза фотолуминофоров // Актуальные вопросы добычи, производства и применения редкоземельных элементов в России: тезисы докл. Всерос. Конф. (Томск, 20-21 ноября 2013 г.). – Северск, 2013. – С. 170-177.
4. Каблов Е. Н., Оспенникова О. Г., Вершков А. В. Редкие металлы и редкоземельные элементы – материалы современных и высоких технологий будущего // Труды ВИАМ. – 2013. – №2. <http://viam-works.ru/ru/articles?year=2013&num=2> (дата обращения 17.10.2017).
5. Deqian, L.I. A review on yttrium solvent extraction chemistry and separation process // Journal of Rare Earths. – 2017. –Vol.35. – Issue 2. – P. 107-119.
6. Стерчо, И.П. Физико-химическое взаимодействие в системе Cs₃Sb₂Br₉ -Cs₂TeBr₆: Диаграмма состояния, природа взаимодействия компонентов / Стерчо И.П., Барчий И.Е., Малаховская Т.А., Погодин А.И., Сидей В.И., Соломон А.М., Переш Е.Ю. // Журнал неорганической химии. – 2015. – Т. 60. – № 2. – С. 266-270.
7. Гаркушин, И.К. Функциональные материалы на основе многокомпонентных солевых систем / Гаркушин И.К., Губанова Т.В., Фролов Е.И., Дворянова Е.М., Истомова М.А., Гаркушин А.И. // Журнал неорганической химии. – 2015. – Т. 60. – № 3. – С. 374-391.
8. Смотров М.П., Черкасов Д.Г., Ильин К.К. Фазовые равновесия и критические явления в тройной системе нитрат цезия–вода–пиридин // Журнал неорганической химии. – 2017. – Т. 62. – № 3. – С.375-380.
9. Федоров П.П. Фазовые равновесия в системах MF₂-YbF₃-ScF₃ (M = Cd, Mg) и стабилизация структурного типа α-YF₃ изоморфными замещениями // Журнал неорганической химии. – 2014. – Т. 59. – № 6. – С. 595-599.
10. Кинду М.Ф.А. Синтез и исследование разнолигандных комплексных соединений РЗЭ (III) с 1.10- фенантролином и салициловой кислотой // Научно-технический вестник Поволжья. – 2011. – №6. – С.76-79.
11. Серебренников В.В., Серженко Л.Ф. Системы Nd(C₂H₅SO₄)₃ - Pr(C₂H₅SO₄)₃-H₂O и La(C₂H₅SO₄)₃ - Sm (C₂H₅SO₄)₃ - H₂O при 25 °С. // Журнал неорганической химии. –1982. – Т.27. – №8. – С.2101-2104.
12. Batyreva V. A., Grigor'eva L. S. The Mutual Solubility of Salts of Rare Earth Elements // Key Engineering Materials. – 2016. –Vol. 670. –P. 82-88.
13. Шварценбах Г., Флашка Г. Комплексонометрическое титрование. – М.: Химия. 1970.– 360с.
14. Климова В.А. Основные микрометоды анализа органических соединений. – М.: Химия.1975. – 224с.
15. Полуэктов Н.С., Кононенко Л.И. Спектрофотометрические методы определения индивидуальных редкоземельных элементов. – Киев.: Наукова думка. 1968. – 170 с.
16. Урусов В.С. Теория изоморфной смесимости. – Москва.: Наука. – 1977. 250с.

02.00.00

В.А. Коршиков, К.А. Дычко, Г.Л. Рыжова

Национальный исследовательский Томский государственный университет,
химический факультет, кафедра органической химии,
Томск, v.a.korshikov@gmail.com

СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВОДНОЙ ВИБРОМАГНИТНОЙ И ВОДНОЙ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ЭКСТРАКЦИИ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ САПРОПЕЛЯ

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-1-33-35

В работе сравниваются эффективность водной вибромагнитной и водной ультразвуковой экстракции при извлечении липидных соединений из пресноводного сапропеля. Результаты исследования методами гравиметрии и ГХ-МС показывают, что использование вибромагнитной экстракции позволяет получить на 34% больше липидов и на 40% больше жирных кислот, чем ультразвуковая экстракция.

Ключевые слова: *вибромагнитная экстракция, ультразвуковая экстракция, липиды, жирные кислоты, ГХ-МС.*

Введение

Сапропели пресноводных озер богаты органическими биологически активными соединениями, которые представлены, в основном, гуминовыми веществами и липидными соединениями. Липиды из сапропеля традиционно извлекаются органическими растворителями (этанол, хлороформ, диэтиловый эфир и их смеси), что делает экстракты малопригодными для дальнейшего использования в качестве косметологических и лечебных продуктов.

Разработка новых, интенсифицированных способов экстракции биологически активных веществ (БАВ) из сапропеля решает одновременно несколько прикладных задач. В ходе экстракции необходимо достичь как можно более полного извлечения органических веществ. Следует избегать загрязнения экстракта токсичными растворителями. Отходы, оставшиеся после проведения экстракции, не должны загрязнять окружающую среду. Кроме того, желательно достичь максимального извлечения экстрактивных веществ за минимальное время, так как это повышает производительность разработанной технологии.

Ранее исследователями предпринимались попытки интенсифицировать экстракцию липидов сапропеля с помощью физико-механического воздействия. Группой исследователей университета Рио-Гранди-ду-Сул (Бразилия, Jaeschke et al.) проведены исследования ультразвуковой экстракции липидов водорослей с применением этанола в качестве экстрагента [1]. Работы, посвященные ультразвуковой экстракции гидрофобных БАВ, таких как липиды, из природного сырья с применением воды в качестве экстрагента, в настоящий момент отсутствуют.

Научной группой НИЛ ПОАПС ТГУ (Россия, Рыжова Г.Л., Дычко К.А. и др.) был разработан способ водной вибромагнитной экстракции и показано положительное влияние этого способа на экстракцию органических соединений сапропеля, в том числе липидов [2].

В данном исследовании проведено сравнение двух методов интенсивной экстракции БАВ из сапропеля – водной вибромагнитной экстракции и водной ультразвуковой экстракции.

Экспериментальная часть

В ходе исследования сравнивали эффективность ультразвуковой и вибромагнитной экстракции БАВ сапропеля с использованием воды в качестве экстрагента. Сапропель озера Карасевое предоставлен санаторием «Чажемто» (Томская область). Отбор проб проводился согласно ГОСТ 17.4.4.02-84.

Вибромагнитную экстракцию проводили в реакторе запатентованной конструкции [3] при температуре в интервале 22-25 °С и атмосферном давлении. Соотношение сырья и экстрагента составило 1:4. Для нахождения оптимального времени экстракции, длительность экстракции варьировали от 10 до 120 минут. Были использованы те же параметры вибромагнитного воздействия, что и в работе [4].

Ультразвуковую экстракцию проводили при температуре в интервале 22-25 °С и атмосферном давлении. Соотношение сырья и экстрагента составило 1:4. Для нахождения оптимального времени экстракции, длительность экстракции варьировали от 10 до 80 минут. Параметры ультразвукового воздействия: частота 35 кГц, мощность 240 В.

Полученный экстракт (жидкую фазу) отделяли от твердого остатка на центрифуге, твердый остаток отбрасывали. Для извлечения липидных компонентов каждый сухой экстракт трижды экстрагировали 10 мл смеси этанол–хлороформ (соотношение 1:2). Порции экстрагента объединяли и удаляли растворитель в сушильном шкафу при температуре 45 °С до сухого остатка. Выход экстрактивных веществ определяли гравиметрически, с пересчетом на абсолютно сухое сырье (а.с.с.).

Для количественного определения содержания свободных и связанных жирных кислот, входящих в состав липидов, извлеченных из сапропеля в ходе ультразвуковой и вибромагнитной экстракции, применяли метод ГХ-МС с электронной ионизацией 70 эВ). Перевод жирных кислот в метиловые эфиры осуществляется с помощью реакции этерификации (метилование) в условиях кислой среды по ГОСТ Р51486-99.

Результаты и обсуждение

Была установлена зависимость между временем воздействия интенсифицирующего фактора экстракции (вибромагнитная обработка и ультразвуковая обработка) и выходом экстрактивных веществ. Результаты представлены на рис. 1.

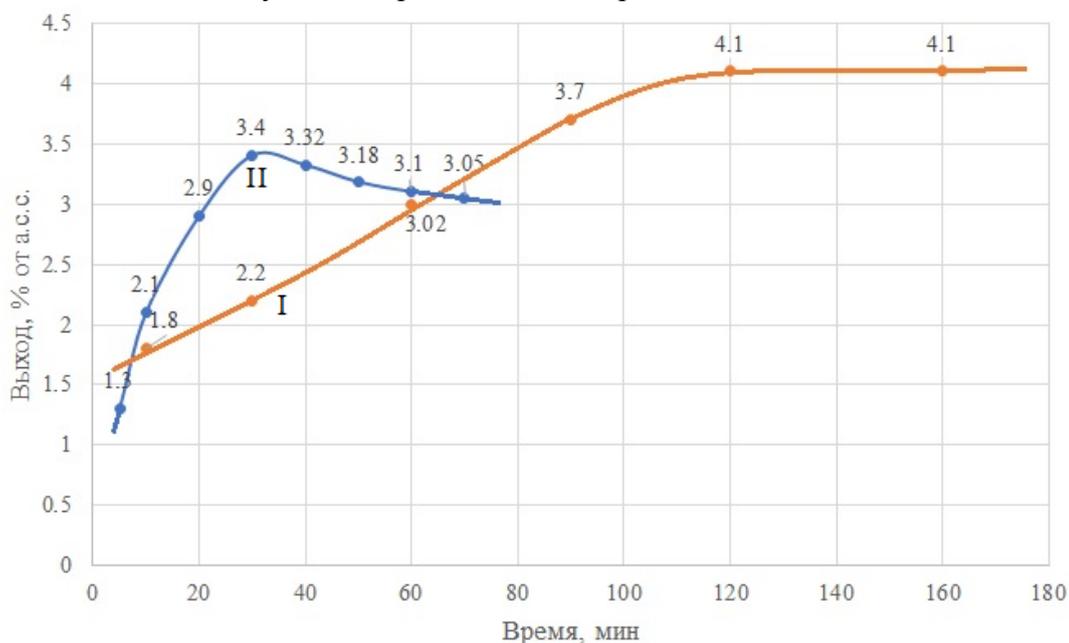


Рис. 1 – Зависимость выхода экстракции органических веществ сапропеля от времени воздействия: I – вибромагнитного, II – ультразвукового

Таблица 1 – Сравнительные результаты определения содержания ЖК в исследуемых образцах, относительно сухого сырья

Соединение	Содержание ЖК (мг _{жк} /г _{а.с.с.})	
	Ультразвуковой экстракт	Вибромагнитный экстракт
Каприновая к-та C _{10:0}	–	0.02±0.01
Ундециловая к-та C _{11:0}	–	0.02±0.01

Лауриновая к-та C _{12:0}	–	0.06±0.01
Тридециловая к-та C _{13:0}	–	0.03±0.01
Миристиновая к-та C _{14:0}	0.30±0.02	0.43±0.01
Пентадециловая к-та C _{15:0}	–	0.06±0.01
Пальмитолеиновая к-та C _{16:1}	0.02±0.01	0.04±0.01
Пальмитиновая к-та C _{16:0}	1.06±0.05	1.41±0.05
Маргариновая к-та C _{17:0}	0.07±0.01	0.09±0.01
Линолевая к-та C _{18:2}	0.02±0.01	0.03±0.01
Олеиновая к-та C _{18:1}	0.37±0.03	0.51±0.02
Стеариновая к-та C _{18:0}	0.26±0.02	0.32±0.02
Арахидиновая к-та C _{20:0}	0.06±0.01	0.09±0.01
Бегеновая к-та C _{22:0}	0.11±0.01	0.16±0.02
Лигноцериновая к-та C _{24:0}	0.15±0.02	0.21±0.03
Суммарное содержание	2.42±0.05	3.48±0.05

Рис. 1 демонстрирует, что в случае вибромагнитного воздействия выход экстрактивных веществ достигает максимального значения 4.1 % а.с.с. при времени воздействия 120 минут, и далее не изменяется. В случае ультразвуковой обработки выход экстрактивных веществ через 30 минут достигает максимального значения 3.4 % а.с.с., а дальнейшее увеличение времени ультразвуковой обработки понижает выход экстрактивных веществ. Аналогичная зависимость наблюдается для содержания липидов в водных экстрактах. В случае вибромагнитного экстракта, максимальное количество липидов составило 2.5 % а.с.с. при времени воздействия 120 минут. В случае ультразвуковой экстракции содержание липидов в экстракте достигает 1.8% а.с.с., после чего несколько снижается.

Липидные экстракты были исследованы методом ГХ-МС на содержание жирных кислот, находящихся в экстрактах в свободной форме и связанных в виде липидных соединений. Результаты количественного определения ЖК в экстрактах приведены в табл. 1. Количественные расчеты демонстрируют, что водная вибромагнитная экстракция позволяет извлечь на 40% больше свободных и связанных жирных кислот, по сравнению с ультразвуковой экстракцией.

Выводы

1. Оптимальное время вибромагнитной и ультразвуковой водной экстракции составило 120 минут и 30 минут соответственно.
2. Вибромагнитная экстракция позволяет получить на 17% больше экстрактивных веществ и на 34% больше липидов, чем ультразвуковая экстракция.
3. Анализ экстрактов методом ГХ-МС показывает, что вибромагнитный экстракт содержит большее число соединений, чем ультразвуковой экстракт – 15 и 10 кислот соответственно, при этом их общее количество выше на 40%.

Список литературы

1. Jaeschke DP, Rech R, Marczak LD, Mercali GD. // Bioresource Technology. – 2017. Vol. 224. – P. 753-757.
2. Рыжова Г.Л., Тюнина М.А., Дычко К.А. Определение жирных кислот в продуктах вибромагнитной переработки сапропеля методом хромато-масс-спектрометрии // Журнал аналитической химии. – 2013. – Т. 68. – № 8. – С. 808-814.
3. Дычко К.А., Рыжова Г.Л., Данекер В.А., Рикконен С.В., Воронин В.Н., Тюнина М.А. Многофункциональное устройство для переработки природного органического сырья в жидкой среде // Патент РФ № 97363 от 2010. Бюл. № 25.
4. Дычко К. А., Тюнина М. А., Рыжова Г. Л. Влияние вибро-магнитного воздействия на выход и состав гидрофильных и липофильных биологически активных веществ из сапропеля // Химия растительного сырья. – 2012. – № 2. – С. 155-163.

02.00.01

¹У.М. Малага, ²М.В. Тачаев, ³Н.Я. Есина, ³М.Н. Курасова

¹Université des Sciences de la Santé,
кафедра фармакологии и токсикологии, Овендо, Габон, will77_77@mail.ru,
²ФГБОУ ВО Российский государственный аграрный университет –
МСХА имени К.А. Тимирязева,
кафедра инженерной химии, Москва, tatchaev@mail.ru,
³Российский университет дружбы народов,
кафедра неорганической химии, Москва

РАЗНОЛИГАНДНЫЕ КОМПЛЕКСНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ РОДИЯ (III) С ПИРИМИДИНОВЫМИ, ПУРИНОВЫМИ ОСНОВАНИЯМИ И АЛАНИНОМ

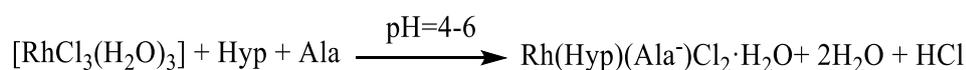
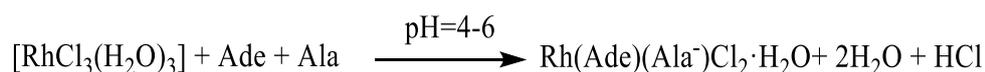
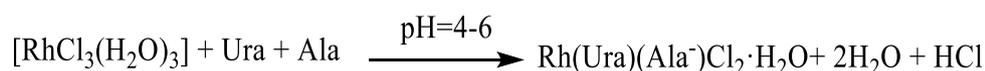
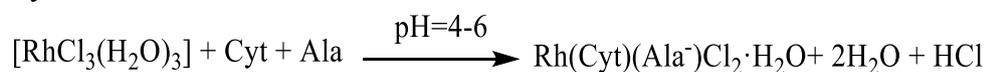
DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-1-36-39

Взаимодействием водных растворов синтезированы координационные соединения: Rh(Cyt)(Ala⁻)Cl₂·H₂O, Rh(Ura)(Ala⁻)Cl₂·H₂O, Rh(Ade)(Ala⁻)Cl₂·H₂O, Rh(Hyp)(Ala⁻)Cl₂·H₂O. Выделенные соединения охарактеризованы методами ИК и ЯМР спектроскопии. Установлен характер координации аминокислоты и пуриновых и пиримидиновых основание ионом родия (III).

Ключевые слова: *разнолигандные комплексы, родий (III), аденин, аланин, цитозин, урацил, гипоксантин.*

Работы исследователей по изучению биологической активности (противоопухолевой) комплексов родия (III) с производными нуклеоснований представляют большой интерес.

Синтез комплексных соединений. Синтез разнолигандных комплексов проводили по следующим схемам:



Для выделения в твердом виде разнолигандных комплексных соединений родия (III) с аминокислотами и нуклеоснованиями с соотношением M:L1:L2 равным 1:1:1 растворы родия и аминокислот объемом по 20 мл сливали вместе и упаривали до 1/3 объема. Затем добавляли 20 мл горячего раствора цитозина, аденина или гипоксантина. При этом предполагали, что цитозин и пуриновые основания будут замещать аминокислоту в комплексе (так как константы устойчивости комплексов родия с цитозином и пуриновыми основаниями больше, чем константы устойчивости комплексов родия с аминокислотами). Полученную смесь упаривали досуха. Образовавшееся вещество многократно обрабатывали водно-спиртовым раствором, ацетоном и эфиром и высушивали в эксикаторе над слоем P₂O₅ под вакуумом.

Идентификация синтезированных соединений была проведена методами химического, рентгенофазового, термогравиметрического анализов, методами ИК и ЯМР-спектроскопии.

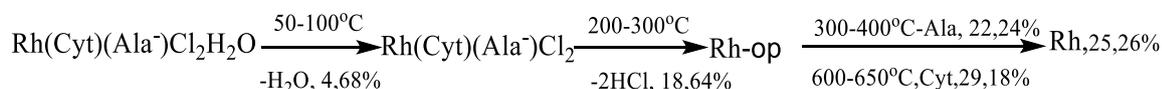
Химический анализ синтезированных комплексных соединений проводили на приборе CHNS-O EA1108 Elemental analyzer фирмы Carlo Erbae с точностью 0,01- 0,1%. Родий – термогравиметрическим методом.

Таблица №1 - Результаты химического анализа разнолигандных комплексных соединений родия (III).

Соединения	Mr	Найдено/Вычислено, %			
		Rh	N	C	H
Rh(Cyt)(Ala ⁻)Cl ₂ ·H ₂ O Rh(C ₄ H ₅ N ₃ O)(C ₃ H ₆ NO ₂)Cl ₂ ·H ₂ O	391,10	25,26 26,31	14,41 14,32	21,53 21,47	3,37 3,32
Rh(Ura)(Ala ⁻)Cl ₂ ·H ₂ O Rh(C ₄ H ₄ N ₂ O ₂)(C ₃ H ₆ NO ₂)Cl ₂ ·H ₂ O	392,11	26,57 26,25	10,65 10,71	21,37 21,42	3,10 3,06
Rh(Ade)(Ala ⁻)Cl ₂ ·H ₂ O Rh(C ₅ H ₅ N ₅)(C ₃ H ₆ NO ₂)Cl ₂ ·H ₂ O	415,11	24,65 24,79	19,97 20,24	22,80 23,13	2,75 3,13
Rh(Hyp)(Ala ⁻)Cl ₂ ·H ₂ O Rh(C ₅ H ₄ N ₄ O)(C ₃ H ₆ NO ₂)Cl ₂ ·H ₂ O	416,11	24,70 24,73	16,54 16,82	22,94 23,07	2,56 2,88

Термогравиметрический анализ. Термограммы синтезированных соединений записывались на термографе «МOM Q 1500D»(Венгрия) при нагревании от 20°С до 1000°С.

Ниже приведена схема термической деструкции комплекса.



Термограммы разнолигандных комплексов носят более сложный характер по сравнению с однороднолигандными комплексными соединениями. Удаление молекулы воды фиксируется при температуре около 100°С. Надо отметить плавный характер кривой ТГ. Наиболее четко убыль массы проявляется на кривой DTG, где наблюдаются изменения массы при температурах ~100°С, 400°С и в интервале 550-650°С, которые можно отнести к удалению воды (~100°С), хлороводорода (200°С), аминокислотной составляющей комплекса (400°С) и полному выгоранию цитозина (600-650°С), остатком является элементарный родий.

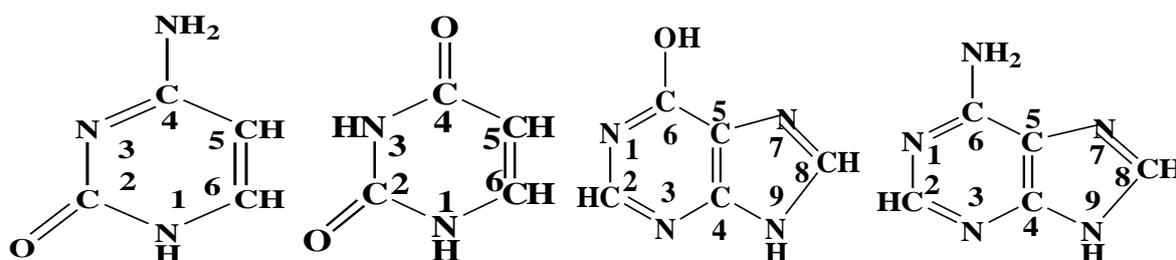
ИК-спектры поглощения разнолигандных комплексных соединений Rh(III), а также исходных лигандов сняты в вазелиновом масле на спектрофотометре «Nexus Nicolet» (в области 200-4000 см⁻¹). Волновые числа полос поглощения комплексных соединений приведены в таблице 2 (в скобках указаны соответствующие полосы в спектре чистых лигандов).

Таблица 2 - Волновые числа максимумов (см⁻¹) полос поглощения разнолигандных комплексных соединений Rh(III) на основе аланина.

Соединение	Rh(Cyt)(Ala ⁻)Cl ₂ ·H ₂ O	Rh(Ura)(Ala ⁻)Cl ₂ ·H ₂ O	Rh(Ade)(Ala ⁻)Cl ₂ ·H ₂ O	Rh(Hyp)(Ala ⁻)Cl ₂ ·H ₂ O
δ, α-NH ₂ -группы аминокислоты	3171, 1540 (1509) 1112, 1005, 1002	3104, 3173, 1455, 1461, 1122, 1112, 666	3389, 3395, 1600, 1115- 1117, 637	3137, 3161, 1577, 1119, 1194, 1109, 630
ν COO ⁻ -группы, связанной с металлом	1669(ас) (1622), 1399 (сим.) (1456),	1668 (ас) (1622), 1418 (сим.) (1456)	1651, 1486	1600, 1626 (ас), 1399, 1400 (s)
ν =C=O группы основания	1722, 1725 (1717)	1651, 1642		1717
ν и δ связей C=C, C=N пуринового кольца			1017-1065 (1022), 908- 901(848), 779 (797)	1475, 1577, 1014, 982, 810
ν пиримидинов. кольца	1489, 1497 (1453, 1418, 1392).	1600, 1642, 1381, 1377		
Колебания связи Rh-N		542, 544		550

Колебания связи Rh-Cl		326		
Колебания связи Rh-O		426		

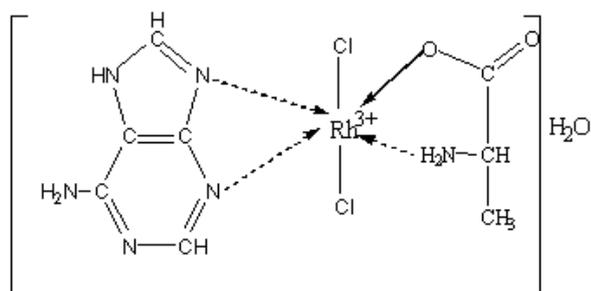
ЯМР-спектры ^{13}C неводных (ДМСО) растворов соединений родия (III) и соответствующих лигандов получены на импульсном спектрометре с Фурье-преобразованием высокого разрешения Bruker "AVANCE-300" (с рабочей частотой протонов 200,13 МГц) и на спектрометре JNM-ECS400 (с рабочей частотой протонов 400 МГц) по одноимпульсной методике с широкополосным подавлением протонов.



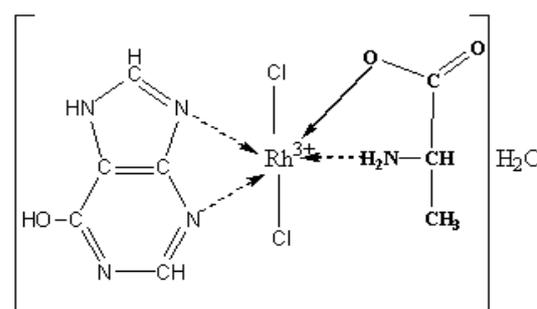
СН _n -группы	Химические сдвиги ^{13}C (м.д.)			
	Rh(Ura)(Ala⁻) Cl₂·H₂O	$\Delta\delta(\text{Ura})$	Rh(Ade)(Ala⁻) Cl₂·H₂O	$\Delta\delta(\text{Ade})$
COOH/ COO ⁻	173,68		174,75	
C ²	52,71		52,78	
C ³	17,44		Под ДМСО	
C(2)=O	153,64	2,01	155,26	2,75
C(4)=O	168,35	3,88	151,01	0,34
C(5)-H	98,42	-1,94	118,78	0,94
C(6)	140,81	-1,51	157,25	1,69
C(7)			135,50	-3,89
C(8)			174,75	

Данные химических сдвигов ЯМР ^{13}C спектров разнолигандных соединений подтверждают бидентатную координацию аланина (COO⁻ и NH₂). Молекулы цитозина и урацила в разнолигандных комплексах взаимодействуют с ионом родия (III) через N-3 и C=O группу лиганда. так как химические сдвиги всех углеродных атомов гетероциклов испытывают смещение относительно исходных лигандов, то реагирует с ионом металла вероятно вся π- электронная система гетероциклов. Аденин и гипоксантин реагируют как полидентатные лиганды, но преимущественно через N-3 и N-7 или N-9.

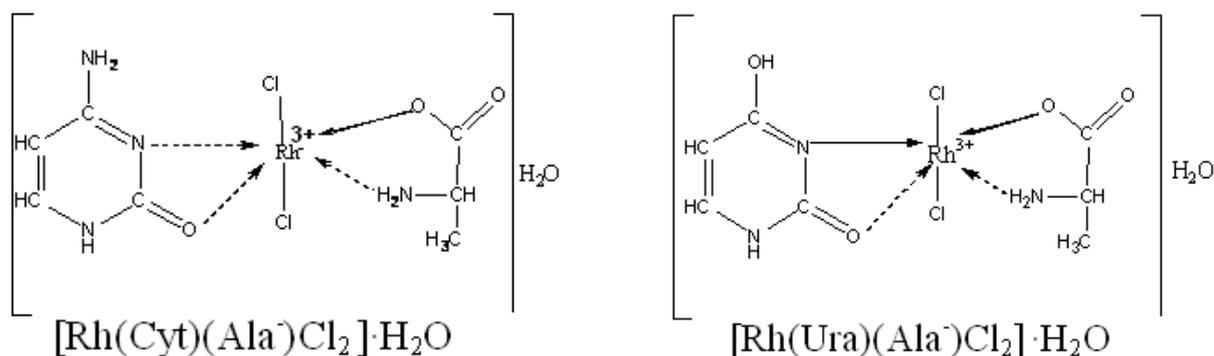
Таким образом, на основании всех проведенных исследований можно предложить следующее строение синтезированных разнолигандных координационных соединений:



[Rh(Ade)(Ala⁻)Cl₂]·H₂O



[Rh(Hyp)(Ala⁻)Cl₂]·H₂O



Список литературы

1. Есина Н.Я., Курасова М.Н., Тачаев М.В., Малага У.М. Разнолигандные комплексные соединения родия (III) с пиримидиновыми, пуриновыми основаниями и аспарагиновой кислотой // НТВП. -2015. № 1. С.23-27.
2. Chifotides H.T., Dunbar K R. Interactions of metal-metal-bonded antitumor active complexes with DNA fragments and DNA. // Chemistry Miscellaneous Papers. Accounts of Chemical Research. -2005. -Vol.38. Issue.2. -P. 146-156.
3. Молодкин А.К., Есина Н.Я., Тачаев М.В., Курасова М.Н. Разнолигандные комплексные соединения палладия(II) с аминокислотами, цитозином и аденином // Журн. неорганич. химии. 2007. Т.52. № 10. С. 1669-1671.
4. Молодкин А.К., Есина Н.Я., Курасова М.Н., Тачаев М.В., Андреева О.И. Монолигандные координационные соединения Rh(III) с аминокислотами // НТВП. -2013. № 2. С.52-55.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ (05.02.00)

05.02.05

А.С. Андреев, В.А. Гаджиян, Е.В. Щербакова

Ульяновский государственный университет,
факультет математики, информационных и авиационных технологий,
кафедра информационной безопасности и теории управления,
Ульяновск, AndreevAS@ulsu.ru

О СТАБИЛИЗАЦИИ ПОЛОЖЕНИЯ ДВУЗВЕННОГО МАНИПУЛЯТОРА БЕЗ ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТЕЙ**DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-1-40-42**

Двухзвенный манипулятор является составной частью многих робототехнических систем. Поэтому задача об его управлении является классической и актуальной. В статье излагаются новые результаты решения задачи о стабилизации заданного положения двухзвенного манипулятора в нелинейной постановке с использованием нелинейного ПИ-регулятора.

Ключевые слова: *управление, стабилизация, манипулятор, ПИ-регулятор.*

Задача об управлении двухзвенным манипулятором является предметом изучения многих работ [1-10]. Рассмотрим математическую модель двухзвенного манипулятора, в которой абсолютно жесткие звенья манипулятора G_1 и G_2 соединены между собой идеальным цилиндрическим шарниром O_2 и с помощью такого же шарнира O_1 первое звено крепится к основанию. Таким образом, манипулятор может совершать движения только в одной вертикальной плоскости. Введем следующие обозначения: q_i ($i=1,2$) – углы поворотов звеньев манипулятора; m_i – масса i -го звена; I_i – момент инерции i -го звена относительно оси шарнира O_i ; l_i – длина отрезка O_iC_i , где C_i – центр тяжести i -го звена; l – длина отрезка O_1O_2 .

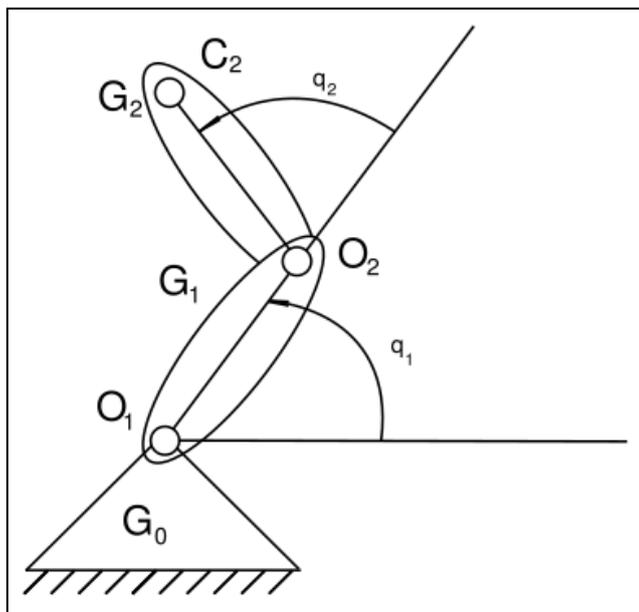


Рис. 1- Схема двухзвенного манипулятора

Уравнения управляемого движения манипулятора в вертикальной плоскости имеют вид [10]:

$$\begin{cases} a_{11}\ddot{q}_1 + a_{12}\ddot{q}_2 - 2m_2ll_2\sin q_2\dot{q}_1\dot{q}_2 - m_2ll_2\sin q_2\dot{q}_2^2 = M_1 + U_1 \\ a_{12}\ddot{q}_1 + a_{22}\ddot{q}_2 + m_2ll_2\sin q_2\dot{q}_1^2 = M_2 + U_2 \\ a_{11}(q_2) = I_1 + I_2 + m_2l^2 + 2m_2ll_2\cos q_2 \\ a_{12}(q_2) = I_2 + m_2ll_2\cos q_2 \end{cases}$$

$$a_{22} = I_2$$

$$M_1 = -(m_1 g l_1 \cos q_1 + m_2 g (l \cos q_1 + l_2 \cos(q_1 + q_2)))$$

$$M_2 = -(m_2 g l_2 \cos(q_1 + q_2))$$

U_1, U_2 – управляющие моменты, M_1, M_2 – гравитационные моменты.

Рассмотрим задачу о стабилизации любого положения манипулятора без измерения скоростей в случае $\dot{q}_1 = \dot{q}_2 = 0$, а $q_1(t) = q_1^0 = const$ и $q_2(t) = q_2^0 = const$ – заданное программное положение манипулятора.

Используя работы [11, 12], покажем, что эта задача решается управлением типа ПИ-регулятора:

$$\begin{cases} U_1 = M_1^0 - k_1 \sin(q_1(t) - q_1^0) + p_1 \cos(q_1(t)) \int_0^t e^{s_1^0(\tau-t)} \sin(q_1(\tau)) d\tau \\ U_2 = M_2^0 - k_2 \sin(q_2(t) - q_2^0) + p_2 \cos(q_2(t)) \int_0^t e^{s_2^0(\tau-t)} \sin(q_2(\tau)) d\tau \end{cases}$$

M_1^0, M_2^0 – компенсаторы гравитационных моментов.

Выберем функционал Ляпунова в виде:

$$V = T(\dot{q}(t), q(t)) + 2k_1 \left(1 - \cos\left(\frac{q_1(t)}{2}\right)\right) + 2k_2 \left(1 - \cos\left(\frac{q_2(t)}{2}\right)\right) + \frac{1}{2} p_1 \int_0^t e^{s_1^0(\tau-t)} (q_1(t) - q_1(\tau))^2 d\tau + \frac{1}{2} p_2 \int_0^t e^{s_2^0(\tau-t)} (q_2(t) - q_2(\tau))^2 d\tau$$

Для полной производной этого функционала получаем:

$$\dot{V} = -p_1 s_1^0 \int_0^t e^{s_1^0(\tau-t)} (q_1(t) - q_1(\tau))^2 d\tau - p_2 s_2^0 \int_0^t e^{s_2^0(\tau-t)} (q_2(t) - q_2(\tau))^2 d\tau \leq 0$$

Несложно видеть, что функционал является определенно-положительным.

Множество $\{\dot{V} = 0\}$ может состоять только из движения $\dot{q}_1 = \dot{q}_2 = 0$, $q_1(t) = q_1^0 = const$, $q_2(t) = q_2^0 = const$. Согласно теоремам из [11, 12], это движение асимптотически устойчиво.

Была составлена программа численного моделирования в среде Maple 2016 при таком управлении.

Ниже представлены графические результаты для значений $m_1 = m_2 = 5, l_1 = l_2 = 0.5, l = 1, I_1 = I_2 = 3.33, k_1 = k_2 = 40, p_1 = p_2 = 90, s_1^0 = s_2^0 = 10$.

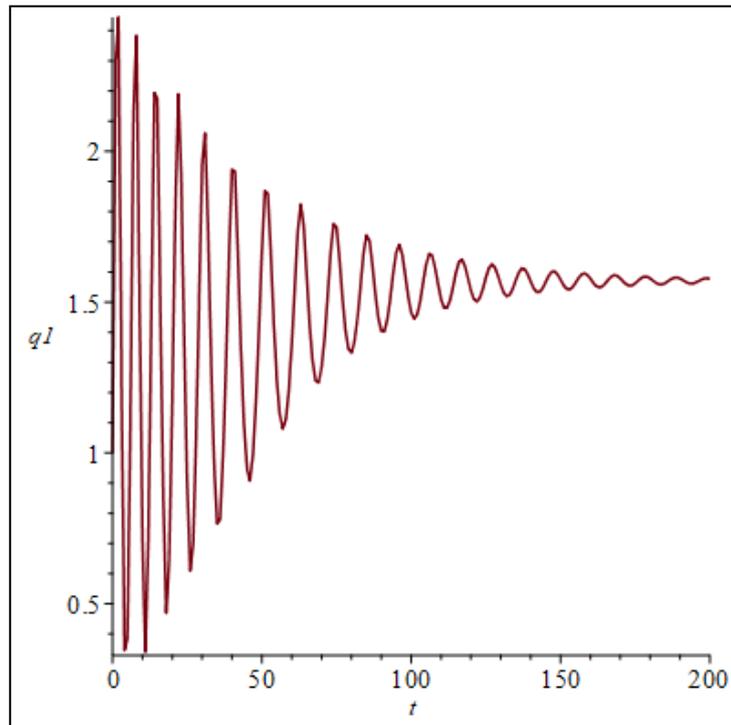


Рис. 2- Сходимость $q_1(t)$ к заданному положению

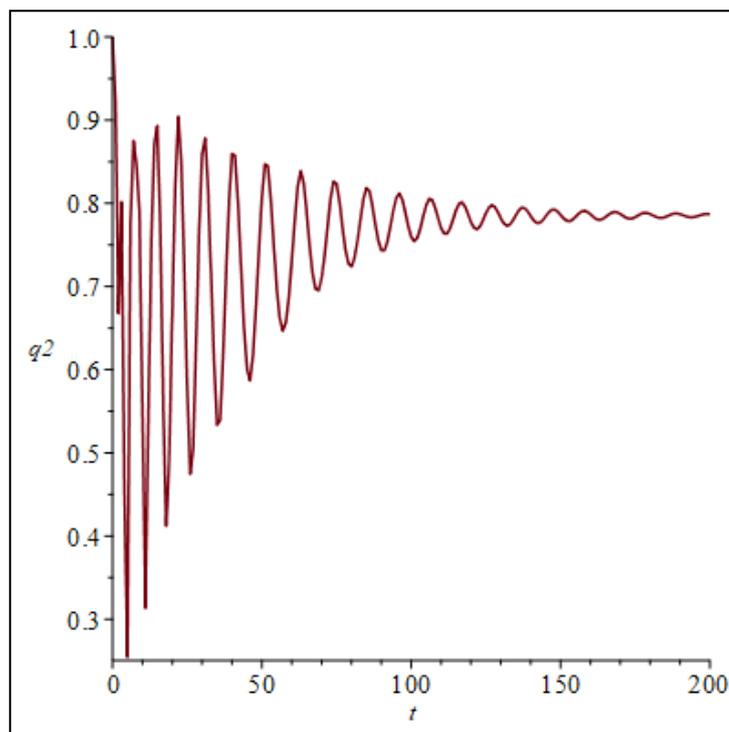


Рис. 3- Сходимость $q_2(t)$ к заданному положению.

Анализ графиков на рисунках 2и 3 подтверждает эффективность обоснованного закона управления двухзвенным манипулятором.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках государственного задания по НИР (проект 9.5994.2017/БЧ).

Список литературы

1. Alvarez J., Cervantes I., Kelly R. PID regulation of robot manipulators: stability and performance // *Systems and Control Letters*. 2000. V. 41. P. 73–83.
2. Cervantes I., Alvarez–Ramirez J. On the PID tracking control of robot manipulators // *Systems and Control Letters*. 2001. V. 42. P. 37–46.
3. Alvarez J., Kelly R., Cervantes I. Semiglobal stability of saturated linear PID control for robot manipulators // *Automatica*. 2003. V. 39. P. 989–995.
4. Santibáñez V., Kelly R., Zavala-Rio A., Parada P. A new saturated nonlinear PID global regulator for robot manipulators // *Proceedings of the 17th IFAC World Congress, Seoul, Korea*. 2008.
5. Alvarez J., Santibáñez V. and Campa R. Stability of robot manipulators under saturated PID compensation // *IEEE Transactions on Control Systems Technology*. 2008. V. 16. № 6. P. 1333–1341.
6. Sun D., Hu S., Shao X., Liu C. Global stability of a saturated nonlinear PID controller for robot manipulators // *IEEE Transactions on Control Systems Technology*. 2009. V. 17. № 4. P. 892–899.
7. Андреев А.С., Макаров Д.С., Таджиев Д.А. Об управлении двухзвенным манипулятором с приводом // *Научно-технический вестник Поволжья*. 2013. № 5. С. 102–105.
8. Андреев А.С., Перегудова О.А. Об управлении двухзвенным манипулятором с упругими шарнирами // *Нелинейная динамика*. 2015. Т. 11. № 2. С. 267–277.
9. Артемова А.О. Моделирование управляемого движения двухзвенного манипулятора на подвижном основании // *Научно-технический вестник Поволжья*. 2012. № 6. С. 112–114.
10. Черноусько Ф.Л., Ананьевский И.М., Решмин С.А. Методы управления нелинейными механическими системами. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. 328 с.
11. Андреев А.С., Перегудова О.А., Раков С.Ю. Уравнение Вольтерра в моделировании нелинейного интегрального регулятора // *Журнал СВМО*. 2016. Т. 18. № 3. С. 8-18.
12. Андреев А.С., Перегудова О.А. О стабилизации программных движений голономной механической системы без измерения скоростей // *ПММ*. 2017. Т. 81. № 2. С. 137—153.

05.02.04

Е.П. Барыльникова, О.А. Кулаков, И.П. Талипова

Казанский (Приволжский) федеральный университет,
Набережночелнинский институт (филиал),
кафедра эксплуатации автомобильного транспорта,
Набережные Челны, 692401@mail.ru

ВЛИЯНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ СИЛОВОГО АГРЕГАТА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ АВТОМОБИЛЯ

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-1-43-45

В работе рассматриваются проблемы эффективности грузовых автомобилей. Проведен анализ влияния изнашивания элементов силового агрегата на работоспособность подвижного состава. Представлены результаты исследования влияния работы неисправного сцепления на параметры двигателя и производительность подвижного состава.

Ключевые слова: *автомобиль, работоспособность, эффективность, производительность, изнашивание, сцепление, вибрации, мощность, крутящий момент, удельный расход топлива.*

Максимальная экономическая эффективность транспортного процесса возможна при использовании работоспособных автомобилей. В процессе эксплуатации происходят изменения и отклонения от исходных характеристик, вследствие чего дальнейшая работа автотранспортных средств приводит к снижению эффективности их использования. Так, например, себестоимость грузовых автомобильных перевозок, которая составляет 12-15% транспортных издержек в себестоимости готовой продукции, в процессе эксплуатации возрастает в 2-3 раза, а производительность автомобилей КАМАЗ снижается в 3-4 раза к пробегу 500 тыс. км [1].

Основными параметрами работоспособности подвижного состава (ПС) для оценки его эффективности являются сила тяги, скорость движения, грузоподъемность, производительность, удельный расход топлива. Они зависят от технического состояния элементов конструкции автомобиля и изменяются в процессе эксплуатации вследствие изнашивания, старения и отказов, что приводит к удорожанию самой эксплуатации ПС, их технического обслуживания и ремонта.

Большая часть эффективности измеряется относительными величинами на единицу работы, т. е. величинами, отнесенными к производительности. На производительность подвижного состава влияет ряд факторов [2]

$$W_{\Gamma} = \frac{q_n \gamma_c \beta V_T T_n D \alpha_B}{l_{\Gamma p} + \beta V_T t_{n-p}}, \quad (1)$$

где q_n – номинальная грузоподъемность, т; γ_c – коэффициент использования грузоподъемности; $l_{\Gamma p}$ – средняя длина ездки с грузом, км; β – коэффициент использования пробега; V_T – средняя техническая скорость, км/ч; T_n – время в наряде, ч; D – количество дней работы в году; α_B – коэффициент выпуска автомобиля (автопоезда) в году; t_{n-p} – время выполнения погрузочно-разгрузочных работ за одну ездку, включающие связанные с ними затраты времени на оформление груза, ожидание, маневрирование и пр., ч.

Если оценивать производительность ПС (1) при прочих равных условиях, то к главным факторам, влияющих на ее результат следует отнести скорость движения и грузоподъемность автомобиля, значения которых в значительной степени зависят от мощностных показателей двигателя

$$q = \frac{P_T - P_B - Dq_a}{D}, \quad (2)$$

$$P_T = \frac{M_{кр} u_k u_{г.п}}{r_k} \eta, \quad (3)$$

где q – грузоподъемность автомобиля, кг; P_T – сила тяги автомобиля, Н; P_B – сила сопротивления воздуха, Н; D – динамический фактор автомобиля, Н/кг; q_a – снаряженная масса автомобиля, кг; $M_{кр}$ – крутящий момент на валу двигателя, Н·м; u_k – передаточное число коробки передач; $u_{г.п}$ – передаточное число главной передачи; η – КПД трансмиссии; r_k – радиус колеса, м.

Из формулы (3) видно, что текущее значение силы тяги определяется величиной крутящего момента на валу двигателя:

$$M_{кр} = 716,2 \frac{N_e}{n}; \quad (4)$$

где N_e – эффективная мощность двигателя, л.с.; $M_{кр}$ – крутящий момент двигателя на валу двигателя, Н·м; n – частота вращения коленчатого вала, мин⁻¹.

Большинство авторов показывают, что по мере износа деталей двигателя происходит снижение крутящего момента, соответственно это приводит к изменению силы тяги и грузоподъемности, и с этим связывают снижение фактической загрузки и эффективности ПС.

Автор [3], исследуя влияние износа деталей цилиндропоршневой группы и деталей механизма газораспределения на динамику снижения работоспособности двигателя, установил функциональную зависимость эффективной мощности двигателя N_e и удельного расхода топлива q_e от степени износа деталей $N_e = f(I)$; $q_e = \varphi(I)$, где I – величина, характеризующая износ деталей двигателя в любой период времени.

Анализ причин изменения параметров автомобиля в эксплуатации показал, что наряду с цилиндропоршневой группой и механизмом газораспределения, на эффективность и работоспособность силового агрегата оказывает влияние и механизм сцепления. В эксплуатации сцепление и работающие в сопряжении с ним детали силового агрегата доводятся до наихудшего технического состояния. Материальные затраты на проведение ремонта в этом случае высоки. Кроме того снижается производительность автомобиля.

На автомобилях КАМАЗ применяется двухдисковое сцепление (модели 14, 142). Передача крутящего момента от коленчатого вала двигателя на ведущие диски сцепления осуществляется через входящие в пазы маховика крестообразно расположенные по наружному диаметру выступающие шипы.

Появление износов на их контактных поверхностях, приводит к радиальному смещению, нарушению их центрирования и росту дисбаланса в механизме сцепления, который развиваясь до значительных величин, оказывает негативное воздействие на работу двигателя [4]. Смещения ведущих дисков в пазах маховика, приводят к перераспределению нагрузок и прогрессирующему росту дисбаланса в механизме, проявляющемся в усилении динамической неуравновешенности и вибрации силового агрегата. Проблемой является то, что при износах поверхностей сопряжения шип-паз происходит значительное смещение ведущих дисков относительно маховика, нарушению их центрирования, что приводит к усилению дисбаланса в узле сцепления. При вращении на ведущий диск сцепления КАМАЗ массой 13,2 кг, центр масс которого смещен, действует центробежная сила, достигающая 400 кг·с при частоте вращения 2600 мин⁻¹. Сцепление начинает расходовать часть получаемой энергии двигателя, на вторичные процессы возбуждения колебаний.

Была поставлена задача, установить степень влияния работы неисправного сцепления на эффективные параметры двигателя путем сравнения выходных параметров двигателя с исправным и изношенным сцеплением. В этом случае, объектом исследований являются эффективная мощность двигателя, крутящий момент и удельный расход топлива. На ремонтном предприятии ОАО «Ремдизель» были проведены стендовые исследования двигателя КАМАЗ-7403, в сборе с комплектами сцеплений модели 142. Для сравнения, использовался двигатель укомплектованный новым маховиком и новым сцеплением, и тот

же двигатель, укомплектованный изношенным маховиком и изношенным сцеплением. В ходе эксперимента оценивались вибрационные процессы методом измерения общего уровня вибрации [5] и параметры двигателя КАМАЗ-7403 в сборе со сцеплением (табл. 1).

Таблица 1 - Параметры двигателя КАМАЗ-7403, в сборе с комплектами сцеплений модели 142, различного технического состояния

Параметры двигателя с новым маховиком и новым сцеплением				Параметры двигателя с изношенным маховиком и сцеплением				Изменение параметров, Δ	
п, мин ⁻¹	N _е , л.с.	M _{кр} , Н·м	g _е , г/л.с.·ч	п, мин ⁻¹	N _е , л.с.	M _{кр} , Н·м	g _е , г/л.с.·ч	N _е , л.с.	g _е , г/л.с.·ч
2600	258,1	71,1	181,7	2600	256,7	70,7	184,2	-1,5	2,5
2400	246,0	73,4	175,6	2400	244,6	73,0	178,0	-1,3	2,4
2200	234,4	76,3	171	2200	232,5	75,7	171,8	-1,8	0,8
2000	222,0	79,5	167,4	2000	221,4	79,3	168,9	-0,6	1,5
1800	208,9	83,1	166,1	1800	206,8	82,3	167,7	-2,0	1,6
1600	176,0	78,8	165,5	1600	175,6	78,6	165,7	-0,4	0,2
1400	131,2	67,1	163,8	1400	131,9	67,5	164,1	0,8	0,3
1200	99,0	59,1	164,4	1200	97,5	58,2	164,6	-1,5	0,2

Анализ результатов показал, что происходит снижение эффективной мощности, крутящего момента и повышение удельного расхода топлива. На основании этого можно утверждать, что эффективная мощность двигателя, крутящий момент и удельный расход топлива находятся в функциональной зависимости от степени износа деталей сцепления. Это в свою очередь приводит к снижению эффективной мощности двигателя, тяговых свойств и, следовательно, к снижению грузоподъемности и производительности ПС при всех прочих равных условиях.

Список литературы

1. Захаров В.П. Совершенствование структуры эксплуатационно-ремонтного цикла двигателей КАМАЗ-Евро с учетом технического состояния : дисс. ... канд. техн. наук : 05.20.03 / В.П. Захаров. – Саратов, 2011. – 145 с. – С. 3.
2. Великанов Д.П. Эффективность автомобиля. – М.: Транспорт, 1969. – 240 с. – С. 24.
3. Иващенко Н.Н. Технология ремонта автомобилей. – Киев: Издательское объединение «Вища школа», 1977. – 360 с. – С. 83-84.
4. Кулаков А.Т. Обоснование методики исследования, повышения надежности и технологии ремонта сцепления автомобиля КАМАЗ / А.Т. Кулаков, Гарипов Р.И. //: Сборник статей Казанского (Приволжского) федерального ун-та. – Казань: Казан. ун-т. 2013. - С. 278-281.
5. Хуснетдинов Ш.С. Диагностирование сцепления автомобиля по показателям вибрации силового агрегата / Ш.С. Хуснетдинов, Е.А. Пеньков, Р.И. Гарипов // Вестник Оренбургского государственного университета. - 2014. - № 10. - С. 146-151.

05.02.18

А.П. Буйносов д.т.н.

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

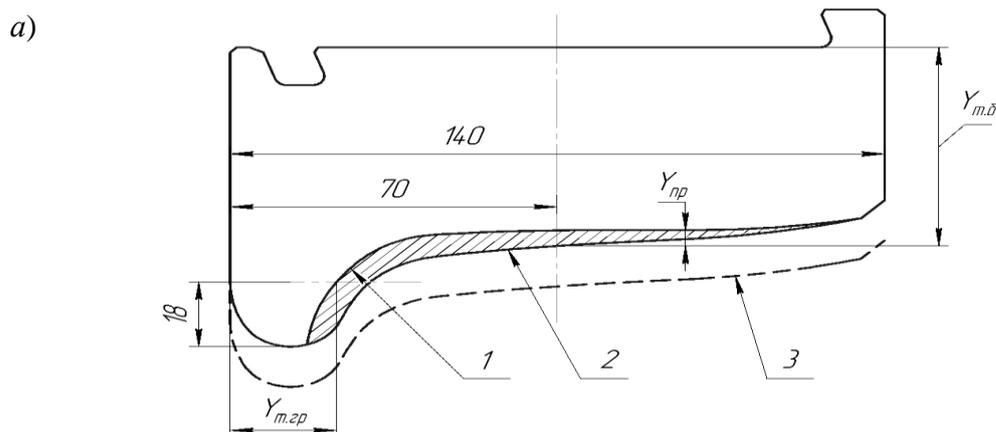
МЕТОДИКА ОЦЕНКИ РЕСУРСА БАНДАЖЕЙ КОЛЕСНЫХ ПАР ЛОКОМОТИВОВ**DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-1-46-49**

В статье приведена новая методика оценки ресурса колесных пар, которая в отличие от используемой в настоящее время позволяет более точно прогнозировать износ бандажей в эксплуатации и определять ресурс до обточки и смены бандажей локомотивов.

Ключевые слова: *локомотив, колесная пара, бандаж, ресурс, методика, оценка.*

Для бандажей колесных пар в локомотивных депо производится замер трех основных контролируемых параметров: величины проката $Y_{пр}$, толщины гребня $Y_{т.гр}$, толщины бандажа $Y_{т.б}$. Замеры производятся с помощью специализированного инструмента, наиболее распространенным видом которого являются универсальный шаблон УТ-1М и толщиномер. Перечисленные параметры измеряются в миллиметрах, с увеличением пробега локомотива величина проката увеличивается, два других параметра уменьшаются от некоторых начальных значений, установленных нормативными стандартами [1] в зависимости от профиля поверхности катания. Линии замеров контролируемых параметров показаны на рис. 1, а.

На практике при выполнении обточки бандажей не всегда производится полное восстановление стандартного профиля ввиду различных причин (низкой точности процесса, износа режущего инструмента), при этом на поверхности бандажа остаются необработанные участки, имеющие высокую шероховатость [2], которые затрудняют проведение замера, а также смещают точки отсчета некоторых параметров [3].



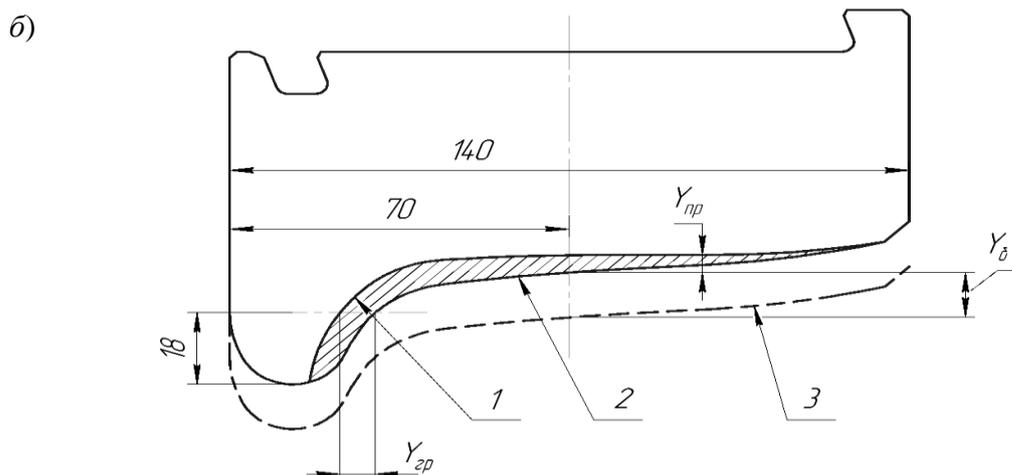


Рис. 1. Контролируемые параметры бандажей: а – измеряемые в локомотивном депо; б – предлагаемые профили бандажа; 1 – изношенный; 2 – номинальный; 3 – первоначальный

Для увеличения точности прогнозирования процесса изнашивания бандажей колесных пар локомотивов в эксплуатации предлагается контролировать следующие параметры: вместо значения проката – нарастание (увеличение) проката $Y_{пр}$ – разность между замером проката и прокатом, оставленным после обточки бандажей; вместо полной толщины гребня – значение износа гребня (уменьшение толщины гребня) $Y_{гр}$ – разница между замером толщины гребня $Y_{т.гр}$ и толщиной гребня, оставляемой при обточке; уменьшение толщины бандажа $Y_{б}$, которое определяется как разница между начальной толщиной бандажа и толщиной бандажа на момент замера $Y_{т.б}$.

Линии замеров предлагаемых контролируемых параметров показаны на рис. 1, б. Предлагаемые параметры обеспечивают большую точность, поскольку в данном случае исключается вероятность несовпадения замеров ввиду смещения условного «начала координат» [4]. Первый замер проводится после обточки или замены бандажа, в последующих замерах используются данные первого измерения. При проведении очередного обслуживания ТО-4 производятся два замера: до и после обточки.

Приведенная последовательность действий позволит систематизировать данные об изнашивании бандажей колесных пар, а также существенно облегчить процесс последующего анализа и прогнозирования предельного ресурса бандажей. Помимо этого, отсчет всех предлагаемых контролируемых параметров начинается с нуля и ведется до некоторого предельного значения, что позволяет унифицировать алгоритм программы прогнозирования.

Значение ресурса бандажей $Q(L_i)$ колесных пар в рамках рассматриваемой задачи является функцией пробега после обточки и определяет процент бандажей, у которых не наблюдается параметрического отказа, от общего их числа. Ресурс бандажей выражается в процентах и связан с вероятностью отказа $P(L_i)$ через соотношение

$$P(L_i) = 1 - Q(L_i). \tag{1}$$

Параметрический отказ работы бандажа колесной пары происходит в случае выхода хотя бы одного из контролируемых параметров за установленное предельное значение. В общем случае вероятность отказа имеет возрастающий характер и определяется плотностью вероятности $P(L)$ выбранного распределения $f(Y)$ величины контролируемого параметра Y .

$$P(L) = \int f(Y) dy. \tag{2}$$

Для выбора пределов интегрирования в формуле (2) рассмотрена ситуация предельного значения параметра. По достижению контролируемым параметром Y своего предельного значения $Y_{доп}$ функция нормального распределения $f_y(Y_{доп})$, форма которой зависит от среднего значения M_y , и среднеквадратического отклонения σ_y принимает вид, приведенный на рис. 2.

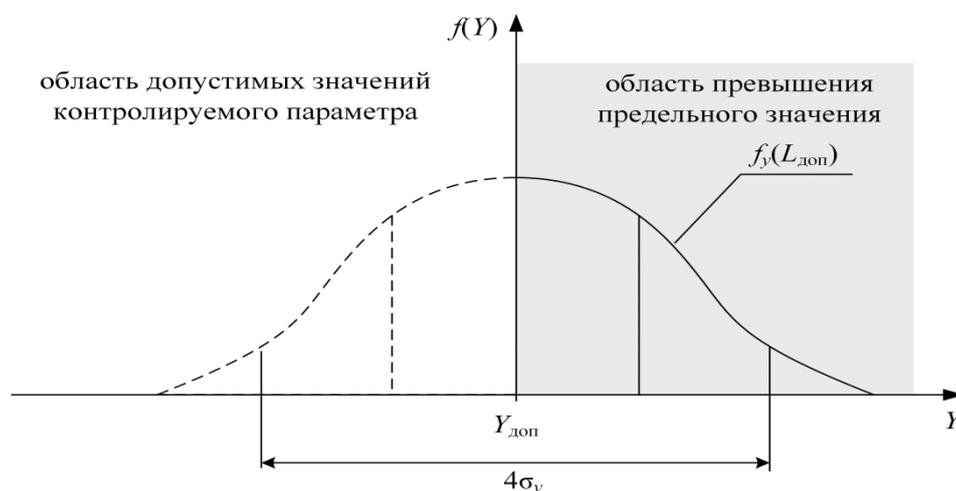


Рис. 2. Нормальное распределение при предельно допустимом значении возрастающего контролируемого параметра

В интервале значений $(-\infty; Y_{\text{доп}})$ величина контролируемого параметра находится в допустимых пределах, отказ бандажа колесной пары не регистрируется, плотность вероятности равна нулю. На отрезке $(Y_{\text{доп}}; M_y(L_i) + 2 \cdot \sigma_y(L_i))$ фиксируется превышение допустимого значения контролируемого параметра, при этом число отказавших бандажей увеличивается при движении к правой границе и при значении $M_y(L_i) + 2 \cdot \sigma_y(L_i)$ достигает 100% всех исследуемых бандажей. Интервал $(M_y(L_i) + 2 \cdot \sigma_y(L_i); +\infty)$ также не принимается к рассмотрению, поскольку плотность вероятности достигла максимального значения, равного единице [5]. Выделены три характерных диапазона значений контролируемого параметра, на которых функция $P(L)$ принимает определенные значения.

$$P(L) = \begin{cases} 0 & \text{если } Y \in (-\infty; Y_{\text{доп}}); \\ [0; 1] & \text{если } Y \in [Y_{\text{доп}}; M_y(L) + 2 \cdot \sigma_y(L)]; \\ 1 & \text{если } Y \in (M_y(L) + 2 \cdot \sigma_y(L); +\infty). \end{cases} \quad (3)$$

Из выражения (3) следует, что для работы требуется исследование второго интервала. Таким образом, в качестве пределов интегрирования задаются границы отрезка, функция вероятности отказа примет вид

$$P(L) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma_y(L)} \int_{Y_{\text{доп}}}^{M_y(L) + 2 \cdot \sigma_y(L)} e^{-\frac{(Y - M_y(L))^2}{2 \cdot (\sigma_y(L))^2}} dy \quad (4)$$

Существующие в настоящее время методики позволяют определять 90%-ый ресурс бандажей колесных пар, вероятность отказа при этом составляет 10 %. Это означает, что по достижению прогнозируемого ресурса у 10 % всех бандажей контролируемые параметры превышают допустимые в эксплуатации значения. Бандажи колесных пар являются одним из наиболее ответственных элементов механической системы электровозов, в связи с этим снижение вероятности отказа при прогнозировании позволит повысить безопасность движения и перевозочного процесса в целом.

В рамках настоящего исследования измерения контролируемых параметров бандажей производились универсальным прибором КИП-03, имеющим относительную погрешность, равную 5%. При анализе статистического материала выбранная функция распределения предполагает относительную погрешность метода 4,6 %. Таким образом, общая погрешность метода не превышает 5 %, что позволяет определить 95%-ый ресурс бандажей. При дальнейших расчетах для каждой контрольной группы определялась величина пробега электровоза, при котором функция вероятности отказа принимает значение

$$P(L_{95\%}) = 0,05. \quad (5)$$

Результаты расчета 95%-ного ресурса до обточки по предельному износу гребня бандажей колесных пар электровозов ВЛ11, определенный по разным моделям, приведены в таблице.

Таблица. Ресурс до обточки бандажей по предельному износу гребня

Модель	Ресурс бандажей, тыс. км
существующая	58,2
предлагаемая	52,7

Прогнозируемый ресурс по предложенной методике ниже, чем для существующей. Однако использование описанного метода позволит уменьшить число отказов бандажей до наступления прогнозируемого ресурса. В случае типового депо с парком в 300 секций электровозов ВЛ11 прогнозирование 95%-го ресурса вместо 90%-го позволит снизить число отказов в период между обточками на 120 бандажей. Внедрение в локомотивных депо предложенной методики определения 95%-го ресурса позволит снизить вероятность преждевременного отказа бандажей и оптимизировать проведение обточек и ремонтов колесных пар локомотивов.

Список литературы

1. Горский А.В., Буйносов А.П. Анализ износа бандажей // Железнодорожный транспорт. 1991. № 1. С. 46-47.
2. Буйносов А.П., Медведев Н.Ф. Автоматизация измерения проката бандажей колесных пар электровозов // Железнодорожный транспорт: Обзорная информация. Серия: Локомотивы и локомотивное хозяйство, ремонт локомотивов. ЦНИИТЭИ МПС, 1991. Вып. 5. С. 1-9.
3. Буйносов А.П. Основные причины интенсивного износа бандажей колесных пар подвижного состава и методы их устранения. Екатеринбург : Изд-во УрГУПС, 2009. 224 с.
4. Горский А.В., Буйносов А.П., Наговицын В.С., Клинский В.С. Экономичная обточка // Локомотив. 1992. № 4. С. 26-27.
5. Буйносов А.П. Повышение ресурса бандажей колесных пар электровозов в результате изменения технологии их обточки // Автоматизация и современные технологии. 1992. № 8. С. 23-25.

05.02.02

А.А. Вознесенская, Л.В. Беляев, Д.А. Кочуев, Д.М. Кононов, И.В. Шинаков

Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых, институт машиностроения и автомобильного транспорта, кафедра технологии машиностроения, Владимир, blv_vlsu@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УГЛЕРОДНОЙ ДОБАВКИ НА ПОГЛОЩЕНИЕ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ СЕЛЕКТИВНОМ ЛАЗЕРНОМ ПЛАВЛЕНИИ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ АЛЮМИНИЯ

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-1-50-52

Проведена экспериментальная работа по лазерному плавлению порошка алюминия и композиции Al+Mg+nC. Изучено влияние длительности лазерного импульса на результат обработки порошковой композиции. Порошки Al+Mg+nC были получены путем механической активации в шаровой мельнице. Проведено исследование на наличие пор и трещин. Качественно показана возможность изменения поглотительной способности гранул порошковой композиции путем использования сильно поглощающих материалов.

Ключевые слова: *лазерное спекание, углерод, легирующая добавка, поглощение.*

Создание гибридных материалов для ответственных деталей машиностроения является новой тенденцией в аддитивных инженерных технологиях. Свойства этого материала закладываются в процессе его синтеза. Как правило, изделие изготовлено из материалов, имеющих разные свойства (коэффициент теплового расширения, твердость, пластичность, термостойкость). Алюминиевые матрицы заполняют микро- и нанодисперсными углеродными компонентами. Углеродные нанотрубки, фуллерены, наноалмазы, графен и графит используются в качестве перспективного наноразмерного наполнителя. Композиционные материалы на основе алюминиевой матрицы, заполненные углеродными «компонентами», перспективны для высокотехнологичных отраслей. В настоящее время проведено значительное количество исследований, направленных на получение композитов на основе углерода, алюминия и его сплавов [1-3]. Таким образом, разность температуры плавления является серьезной и требующей особого внимания проблемой. В рамках данной работы планируется установить возможность применения поглощающих материалов, способных снизить необходимую энергию лазерного излучения для формирования гомогенного оплавленного участка порошкового материала. Применение данного подхода позволит обеспечить путем оплавления за счет изменения коэффициента поглощения лазерного излучения для каждого материала порошковой композиции. Это позволит выровнять энергетический порог приводящий к оплавлению тех или иных гранул. В качестве обрабатываемых материалов использовался алюминиевый жаропрочный порошок. Углерод использовался в качестве поглощающего материала [4]. Насыщение углеродом поверхности порошковых материалов осуществлялось путем совместного размолла в планетарной мельнице.

Селективное лазерное плавление проводилось с использованием миллисекундной лазерной системы, работающей в импульсном режиме генерации излучения. Обработка проводилась в аргоне: порошковая композиция наносилась на поверхность металлической подложки, толщина слоя порошка составляла 150 мкм. Эффективность оплавления на этапе подбора режимов определялась путем визуального контроля поверхности образованного валика. Полученная поверхность подвергалась импульсному лазерному воздействию, длина волны излучения составляла 1,06 мкм, частотой следования импульсов 25 Гц, энергия в импульсе изменялась от 1 до 30 Дж. Диаметр лазерного пучка на обрабатываемой поверхности составлял 1,8 мм. Обработка проводилась в 1 слой. Характер обработки не вызывал значительной тепловой нагрузки на систему «оплавленный порошок – подложка».

Оптимальными режимами для равномерного оплавления порошковых материалов по критерию минимально достаточной мощности: Al – 9 Дж, (Al+Mg+1C) – 5 Дж, (Al+Mg+9C) – 4 Дж. В процессе выполнения обработки композиция Al+Mg+9C оплавлялась при энергии почти в 2 раза меньшей, нежели чистый алюминиевый порошок. Стоит отметить достаточно узкий диапазон, при котором формируется равномерный валик ($\pm 0,2 \div 0,4$ Дж). При воздействии с меньшей энергией порошок собирается в капли, выражена плохая смачиваемость компонентов композиции, при превышении энергии происходит интенсивное горение материала с характерным динамичным газообразованием. При обработке чистого алюминия стабильное формирование валика происходит при 9 Дж, продолжается примерно до 12 Дж, далее наблюдается образование трещин, вызванное большой температурной нагрузкой. Вероятно, при обеспечении прогрева обрабатываемой поверхности до температур $250 \div 350$ °С согласно работам [5] образования трещин удастся избежать. При энергии свыше 15 Дж происходит активное газообразование и горение порошкового материала. Исследовательская работа состояла в анализе исходного материала, распределения частиц по размерам и морфологии поверхности частиц порошка. Морфология поверхности и гранулометрический состав порошков после механохимической обработки в шаровой мельнице были исследованы методом растровой электронной микроскопии (РЭМ) (рис.1). На фотографиях РЭМ видно, что форма и размер частиц порошков различаются. Размеры частиц Al варьируются – от 10 до 120 мкм, Al+Mg+1C от 40 до 150 мкм, Al+Mg+9C – от 10 до 100 мкм. Частицы порошка имеют сложную, неоднозначную форму.

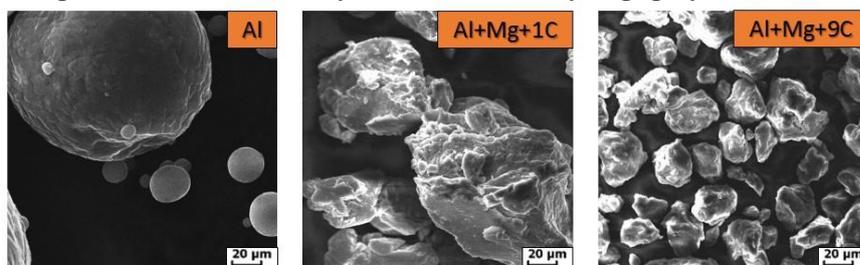


Рис. 1 - РЭМ изображения исследуемых порошков

Исследование поверхности образованной в результате оплавления проводилось с помощью спектроскопии комбинационного рассеяния (рис. 2) и оптической микроскопии (рис. 3). Исследовалась структура поверхности, наличие углерода, карбида алюминия, оксида алюминия. Исследовалось распределение этих веществ на образованной поверхности. На поверхности образца (Al+Mg+9C) присутствовали пики карбида алюминия, встречались зерна графита, на поверхности образца (Al+Mg+1C) встречались островки мелкодисперсного графита. Для образца из чистого алюминия оксид алюминия не регистрировался.

Следующим шагом было исследование структуры образованного материала в поперечном сечении для выявления пор, трещин с помощью металлографического анализа. Результаты исследования микршлифов представлены на рисунке 3.

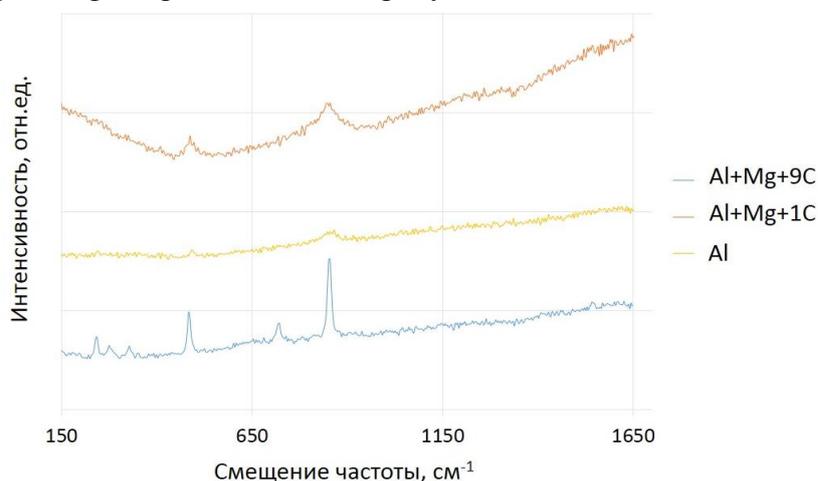


Рис. 2 - Спектроскопия комбинационного рассеяния спеченных порошков

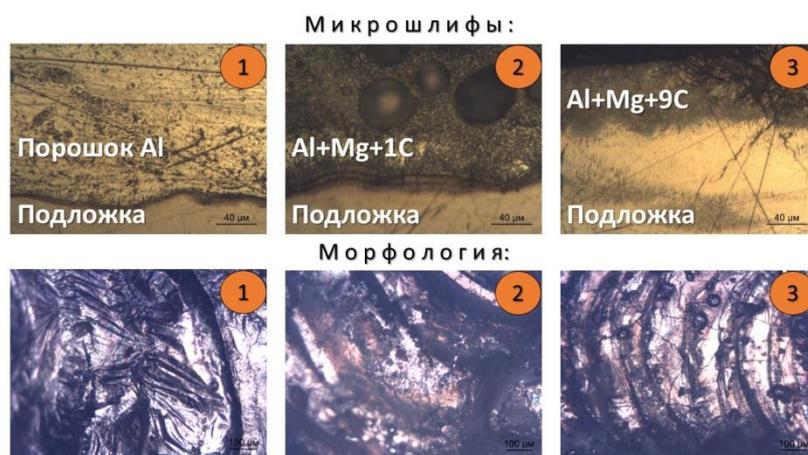


Рис.3 - Металлографическое исследование спеченного алюминиевого порошка

Ширина и глубина зоны термического лазерного воздействия в общем случае зависит как от параметров лазерной обработки, так и от отражательной способности, плотности и теплофизических свойств обрабатываемого материала [6]. На рисунке 3.1 показано образование мелкозернистой структуры, пористость не наблюдается. Однако достижение стабильного плавления в 2 раза превышает мощность, чем материал, обработанный в случае, показанном на рис.3.2 и 3.3. На рисунке 3.3 показано, что на поверхности расплавленной зоны содержится свободный углерод и включение карбида алюминия, которое предотвращает смачивание между слоями. На рисунке 3.2 наблюдаемые процессы похожи на образец 3.3, но меньшее содержание углерода не приводит к образованию выраженного углеродсодержащего слоя, предотвращающего смачивание расплавом, существует возможность нанесения нескольких слоев. Для рисунков 3.2 и 3.3 характерна значительно меньшая толщина образованного слоя. Что наверняка вызвано наличием избыточного количества углерода, препятствующего смачиванию компонентов композиции между собой. Так же развитая поверхность используемых порошковых материалов является достаточно газонасыщенной средой, что сопровождается динамическим выходом газов при воздействии лазерного излучения, как итог вынос материала из области воздействия, небольшая толщина образованного слоя (около 30% от толщины порошка).

Таким образом, использование поглощающих материалов (углерода) позволило снизить энергию образования равномерного валика из порошка почти в 2 раза. Итогом данной работы качественно показана возможность изменения поглощательной способности гранул порошковой композиции путем использования сильно поглощающих материалов. Эффективность данного подхода возможно повысить путем усовершенствования технологии изменения морфологии поверхности путем подбора материала поглощающего покрытия и использования других физических механизмов воздействия.

Список литературы

1. Башкиров Е.Р. и др. 3D синтез композитных материалов и деталей //Вестник магистратуры. – 2015. – С. 39.
2. Григорьев С. Н. и др. Оптимизация параметров лазерной наплавки сплавов системы Al-Si // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2015. – №. 10. – С. 15-20.
3. Yan S. J. et al. Investigating aluminum alloy reinforced by graphene nanoflakes //Materials Science and Engineering: A. – 2014. – Т. 612. – С. 440-444.
4. Santos-Beltrán A. et al. Механическая и микроструктурная характеристика нанокомпозитов системы Al-C с дисперсионно-упрочненной структурой // Журнал сплавов и соединений. - 2010. - Т. 489. - №. 2. - С. 626-630.
5. Кузнецов С. И. и др. Влияние состава порошковой композиции Ti–Al на процессы лазерного спекания и синтеза интерметаллидов //Известия Самарского научного центра РАН. – 2005. – Т. 7. – №. 1.
6. Шишковский И. В. Лазерный синтез функционально-градиентных мезоструктур и объемных изделий / И. В. Шишковский. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. – 424 с.

05.02.22

С.Б. Жилина

Публичное акционерное общество Арзамасское научно-производственное предприятие
«ТЕМП-АВИА»,
Арзамас, zhilina@temp-avia.ru

**КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ И РАСЧЕТНАЯ МОДЕЛИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ
КОМПЛЕКТУЮЩИМИ ИЗДЕЛИЯМИ МЕЛКОСЕРИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА
ПРИБОРОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ**

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-1-53-56

В статье представлены модели обеспечения комплектующими изделиями мелкосерийного производства приборостроительного предприятия при непрерывно поступающих изменениях в конструкторской и технологической документациях. Приведенные модели использованы при построении системы управления производством.

Ключевые слова: *цифровое предприятие, особенности обеспечения мелкосерийного производства.*

Специально разработанный производственный документ – электронная комплектовочная ведомость (ЭКВ), описанный в публикациях [1,2], содержит в концентрированном виде атрибутивную информацию, необходимую и достаточную для специалистов отдела снабжения при обеспечении сборочного производства, а также и при взаимодействии с поставщиками покупных комплектующих изделий (ПКИ) в части своевременной корректировки номенклатуры заказанных ПКИ при поступлении документа по изменениям в конструкторской и технологической документациях.

Концептуальная модель задачи изменения потребности в закупке ПКИ с учетом непрерывно поступающих изменений выглядит следующим образом:

$$Z = Pzn \rightarrow F \rightarrow Pzk;$$

$$Pzn = \sum_{k=0}^n PKI(k, t);$$

$$Pzk = \sum_{i=0}^l PKI(i, m);$$

$$F = \{Ik, Ix, Id, Rc, Os, Op, Onl, Ds, An, Zt, Csb, Cp, Pmin, Pgoz\},$$

где Pzn – начальное целевое состояние плана закупок потребности к комплектующих PKI в разрезе месяцев t ;

Pzk – конечное целевое состояние плана закупок по итогам проведения изменений i комплектующих PKI в разрезе месяцев m ;

F – множество внешних факторов, воздействий и внутренних алгоритмов, имеющих ограничения, переводящих состояние Pzn в Pzk :

Ik – извещение на изменение количества ПКИ;

Ix – извещение на изменение характеристик ПКИ;

Id – извещение на выпуск дополнительных ЭКВ;

Rc – произведенная выдача со склада в сборочные подразделения;

Os – анализ остатков, проходящих по срокам хранения до постановки в изделие;

Op – ожидаемые ближайшие поставки от поставщиков;

Onl – анализ остатков по неликвидным позициям;

Ds – учет допустимых замен по действующему составу изделия;

An – учет перечня аналогов на замену;

Zt – учет заявок поставщику уже выставленных на торги;

Csb – длительность цикла сборки изделий и узлов;

Cp – срок поставки ПКИ конкретным поставщиком;

$Pmin$ – минимальная партия заказа ПКИ у конкретного поставщика;

$Pgoz$ – признак изделия по гособоронзаказу (анализ возможности переноса резерва с менее приоритетного заказа).

С учетом вышеперечисленных воздействий и факторов производится корректировка потребности ПКИ по выдаче в сборочное подразделение и на заказ поставщикам.

Во время проведенного исследования выявлена еще одна актуальная задача по расчету срока складского и цехового хранения ПКИ до постановки в изделие.

Расчетное значение срока хранения ПКИ до постановки в изделие определяет допустимый срок хранения на складе при фактическом сроке службы системы (блока, изделия), в которую входит (по применяемости) ПКИ. Таким образом, в общем виде, срок T хранения ПКИ до постановки в изделие выглядит следующим образом:

$$T = T_C - T_{изд} - T_{сб},$$

где T_C – срок сохраняемости,

$T_{изд}$ – срок службы составной части (блока, изделия),

$T_{сб}$ – технологический цикл сборки составной части (блока, изделия).

Согласно проведенному исследованию возможны три варианта расчета T_C и, соответственно T , в зависимости от соотношения параметров надежности ПКИ – срока сохраняемости T_C /срока сохраняемости до ввода в эксплуатацию $T_{сдэ}$ и срока службы $T_{сл}$:

Вариант №1: $T_{сл} \leq T_C$ (схема представлена на рисунке 1),

Вариант №2: $T_{сл} > T_{сдэ}$ (схемы представлены на рисунках 2, 3),

Вариант №3: особый случай расчета T_C для бескорпусных ПКИ (схема представлена на рисунке 4).

Для каждого из трех вариантов расчет срока T хранения ПКИ до постановки в изделие имеет свои особенности, учитывая данные из нормативно-технологической документации (НТД) на ПКИ. При расчетах нам понадобится новое понятие жизненного цикла ПКИ: $T_{жци}$ – это период времени от даты изготовления до перехода изделия в предельное состояние.

Вариант №1: $T_{сл} \leq T_C$ при $T_C = T_{жци}$ срок сохраняемости равен жизненному циклу ПКИ. При выдаче ПКИ со склада необходимо рассчитать максимально возможный срок T хранения ПКИ до постановки в изделие:

$$T \rightarrow \max \quad (1)$$

Частный случай: если для ПКИ в НТД оговорен срок хранения в упаковке завода-изготовителя $T_{уп}$ и он отличается от срока сохраняемости T_C , то должно выполняться условие:

$$T \leq T_{уп},$$

что представлено на рисунке 1. В результате получаем:

$$T = \min (T_C - T_{изд} - T_{сб}; T_{уп}).$$

Вариант №2: $T_{сл} > T_{сдэ}$. Параметр $T_{сдэ}$ ограничен сроком сохраняемости, предшествующим вводу в эксплуатацию и может включать в себя срок хранения в упаковке и/или законсервированном виде, срок монтажа и/или срок хранения на другом ПКИ, упакованном в более сложный объект. В таком случае срок службы исчисляется после окончания $T_{сдэ}$, причем сумма фактического срока сохраняемости до ввода в эксплуатацию и фактического срока службы не должна превышать значения, установленного для срока службы, что приведено на рисунке 2.

Срок сохраняемости принимается равным значению срока службы и устанавливается с момента приемки изделий на предприятии-изготовителе. Срок хранения ПКИ до постановки в изделие является составной частью срока сохраняемости до ввода в эксплуатацию $T_{сдэ}$, поэтому удовлетворяет условию:

$$T \leq T_{сдэ}.$$

В таком случае срок сохраняемости определяется по следующей формуле:

$$T_c = T_{сл}$$

Для выполнения условия (1) накладывается еще одно ограничение на расчетное значение срока хранения ПКИ до постановки в изделие, которое может превысить значение срока сохраняемости $T_{сдэ}$:

$$T = \min (T_c - T_{изд} - T_{сб} ; T_{сдэ}).$$

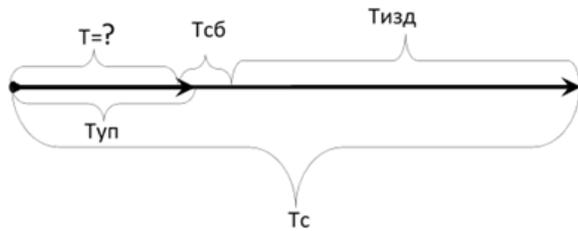


Рис. 1 – Вариант №1 расчета T_c

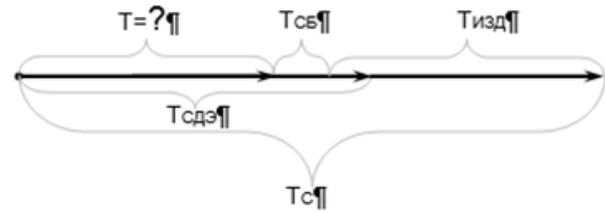


Рис. 2 – Вариант №2 расчета T_c

Частный случай: если для ПКИ в НТД оговорен срок хранения в упаковке завода-изготовителя, и он отличается от срока сохраняемости $T_{сдэ}$, то должно выполняться следующее условие:

$$T \leq T_{уп} \leq T_{сдэ},$$

что представлено на рисунке 3. В итоге получим:

$$T = \min (T_{сл} - T_{изд} - T_{сб} ; T_{уп}).$$

Вариант №3 является особым случаем расчета времени для бескорпусных ПКИ (полупроводниковых приборов, микросхем и т.д.), где срок хранения исчисляется с даты отгрузки до их герметизации в составе микросборок и не входит в срок сохраняемости, который обеспечивается только в составе загерметизированных микросборок и исчисляется с даты монтажа ПКИ в микросборку, что показано на рисунке 4.

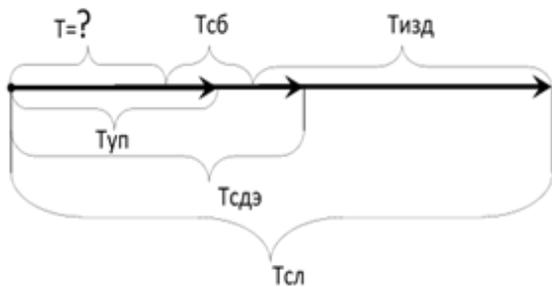


Рис. 3 – Частный случай расчета T_c по варианту №2

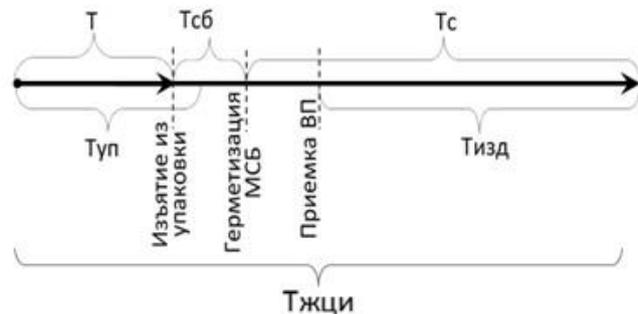


Рис. 4 – Вариант №3 – Расчет T_c для бескорпусных ПКИ

В таком случае жизненный цикл бескорпусного ПКИ складывается из срока хранения ПКИ до изъятия из упаковки предприятия-изготовителя, срока нахождения ПКИ после изъятия потребителем из упаковки предприятия-изготовителя до момента его герметизации в составе микросборок и срока сохраняемости, следовательно,

$$T = T_{жци} - T_{сб} - T_c,$$

а из рисунка 4 видно, что срок T хранения ПКИ до постановки в изделие является составной частью срока хранения ПКИ в упаковке завода-изготовителя:

$$T \leq T_{уп}.$$

В итоге, модель расчета срока хранения ПКИ до постановки в изделие должна удовлетворять следующему условию с учетом ограничений распределения параметров надежности ПКИ:

$$\left\{ \begin{array}{l} T \rightarrow \max, \\ T = \min (T_c - T_{\text{изд}} - T_{\text{сб}} ; T_{\text{уп}}) \text{ при } T_{\text{сл}} \leq T_c, \\ T = \min (T_{\text{сл}} - T_{\text{изд}} - T_{\text{сб}} ; T_{\text{уп}}) \text{ при } T_{\text{сл}} > T_{\text{сдэ}}, \\ T = T_{\text{жци}} - T_{\text{сб}} - T_c \text{ для бескорпусных ПКИ.} \end{array} \right.$$

Разработанная концептуальная модель снабжения производства комплектующими изделиями с учетом изменений и предложенная математическая модель расчета срока хранения ПКИ до постановки в изделие в зависимости от возможных случаев распределения параметров надежности ПКИ обеспечивают в динамике процесс многочисленных замен ПКИ в электронных комплектовочных ведомостях в схеме «конструктор-технолог-закупщик-производство».

Список литературы

1. Жилина, С.Б. Автоматизация жизненного цикла документа «Комплектовочная ведомость». Часть 1 / С.Б. Жилина, Н.В. Капитанов // САПР и графика. – М.: Изд. «КомпьютерПресс», 2014. – № 12. – С. 72-75.
2. Жилина, С.Б. Специализированные алгоритмы конструкторской и технологической подготовки производства и информационного обеспечения процесса изготовления изделий / С.Б. Жилина, Н.В. Капитанов, О.В. Осоченко, И.А. Кочедыкова, А.Н. Важаева // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2016. – т. 18, № 4(3), – С.638–645.

05.02.02

**А.В. Иващенко, М.А. Тарасова, Д.А. Кочуев, К.С. Хорьков,
Д.М. Кононов, А.В. Жданов к.т.н.**

Владимирский Государственный Университет имени Александра Григорьевича и
Николая Григорьевича Столетовых,
Владимир

ПОЛУЧЕНИЕ УГЛЕРОДНЫХ ПЕРИОДИЧЕСКИХ СТРУКТУР НА КОНТАКТИРУЮЩИХ ПОВЕРХНОСТЯХ ПРЕЦИЗИОННЫХ ДЕТАЛЕЙ

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-1-57-60

В работе рассмотрены механизмы формирования углеродных нано- и микроструктур контактирующих поверхностях прецизионных деталей под действием фемтосекундного лазерного излучения, а также механизмы взаимодействия фемтосекундных импульсов с углеродом. Полученные нано- и микроструктуры исследованы с помощью спектроскопии комбинационного рассеяния и растровой электронной микроскопии. На основании полученных данных сделаны выводы о динамике структурно фазовых изменений.

Ключевые слова: *фемтосекундное лазерное излучение (ЛИ), стеклоуглерод (СУ), спектроскопия комбинационного рассеяния (КР-спектр), поверхностно-периодические структуры (ППС).*

Существование аллотропных форм углерода, их формирование, свойства и применение являются предметами исследования не одного десятилетия, что связано с уникальными свойствами углеродных соединений. Развитие лазерной техники позволяет создать условия формирования различных углеродных микро- и наноструктур, начиная от карбида до алмаза. Также возможно получение новых и уникальных углеродных материалов. В настоящее время поискам и изучением взаимодействия фемтосекундного ЛИ с веществом посвящено множество работ, так в статье [1] было продемонстрировано получение алмазоподобных и лукообразных углеродных структур с помощью фемтосекундного ЛИ.

Процессы, протекающие во время взаимодействия сверхкоротких лазерных импульсов с веществом, затрагивались в работе [3], приводилось описание получения наноматериалов под действием ЛИ. Распространено применение ультракоротких лазерных систем как при изучении взаимодействия ЛИ с веществом, так и при синтезе различных веществ. Особенность данных систем заключается в колоссальной пиковой мощности порядка 10^{15} - 10^{17} Вт/см² при сверхмалом времени воздействия 10^{-14} - 10^{-16} секунд. При таких условиях обработки для материалов не характерно нагревание, что позволяет создавать исключительные условия не достижимой для лазерных систем с большей длительностью импульса.

В качестве источника излучения используется фемтосекундная Yb: KGW-лазерная система с длиной волны излучения 1030 нм, частотой следования импульсов 10 кГц и длительностью импульса 280 фс. В качестве материал для обработки использовался стеклоуглерод (СУ). Образец помещён в кювету, обработка осуществлялась в среде атмосферного воздуха при атмосферном давлении. На рис. 1 изображена схема эксперимента по воздействию фемтосекундного ЛИ на углеродные образцы.

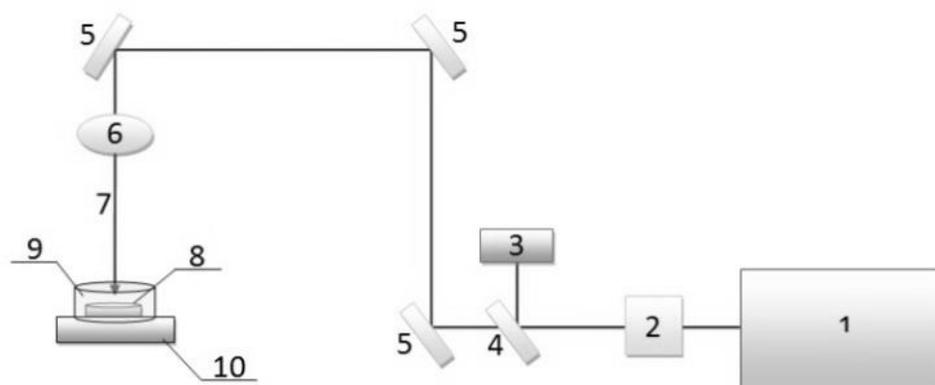
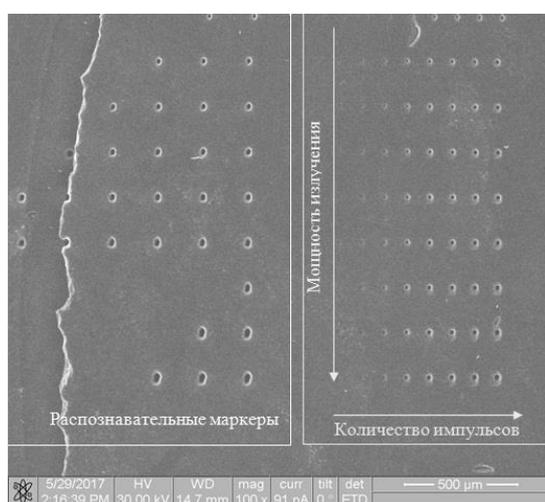
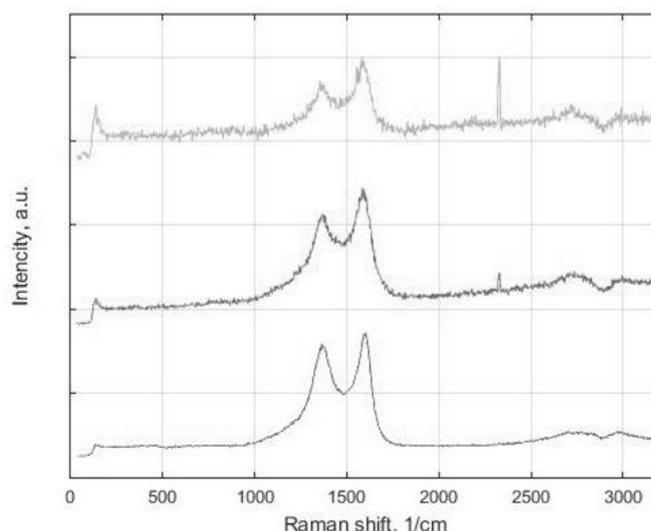


Рис.1. Схема проведения эксперимента: 1 – источник ЛИ; 2 – поляризационный ослабитель; 3 – измеритель мощности; 4 – оптический клин; 5 – система зеркал; 6 – фокусирующая система (сферическая линза); 7 – ЛИ; 8 – образец; 9 – кювета; 10 – координатный стол

Исследование взаимодействия фемтосекундного ЛИ со СУ производилось путём создания матрицы точек. В каждом последующем столбце матрицы импульсов производилось увеличение количества импульсов (2; 4; 8; 16; 32; 64; 128; 150; 200; 250), в каждой последующей строке мощность увеличивалась на 100 мВт. Параметры эксперимента были следующими: мощность излучения - 100...1000 мВт, частота следования импульсов - 10кГц, фокусное расстояние линзы - 50 мм, расстояние между точками в ряду – 100 мкм, расстояние между рядами 200 мкм, количество импульсов - 2...250. Результаты ЭМ-изображение полученных лазерных каверн в воздушной среде, сделанных при помощи растрового электронного микроскопа (РЭМ), можно увидеть на рис. 2, а. В результате обработки на поверхности СУ были образованы выраженные области воздействия ЛИ с диаметром примерно от 30 до 100 мкм в зависимости от мощности ЛИ и количества импульсов в точку – диаметр измерялся по внешней границе, с учетом выноса продуктов абляции.



а) РЭМ-изображение полученных каверн в воздухе



б) КР-спектры области воздействия ЛИ на СУ, полученных при мощности в 1 Вт

Рис. 2. Результаты эксперимента при мощности ЛИ 1 Вт

Анализ обработанных областей с помощью спектроскопии комбинационного рассеяния на установке *NtergaSpectra* при длине волны возбуждающего лазера 473 нм (рис. 2, б) показал, что помимо пиков, характерных для нашего образца наблюдалось появление пика 2329 см^{-1} . Данный пик объясняется наличием молекулярного азота (N_2). При обработке в среде атмосферного воздуха, увеличение суммарного вклада энергии за счет воздействия ЛИ приводит к разогреву области воздействия и, как следствие, происходит газонасыщение

приповерхностного слоя СУ. На рис. 2, б нижняя кривая отражает спектр до обработки, средняя кривая – при воздействии 200 импульсов, верхняя – 250 импульсов ЛИ. 3 Рост интенсивности пика происходит в результате аккумуляции азота, наличие кислорода связано с его соединением с атомарным углеродом. Было замечено образование поверхностно-периодических структур (ППС) после точечного воздействия ЛИ на образцы. ППС связаны с неравномерным нагревом поверхности материала и воздействием поверхностных электромагнитных волн. Влияние скорости ЛИ на структуру поверхности представлена на рис.3.

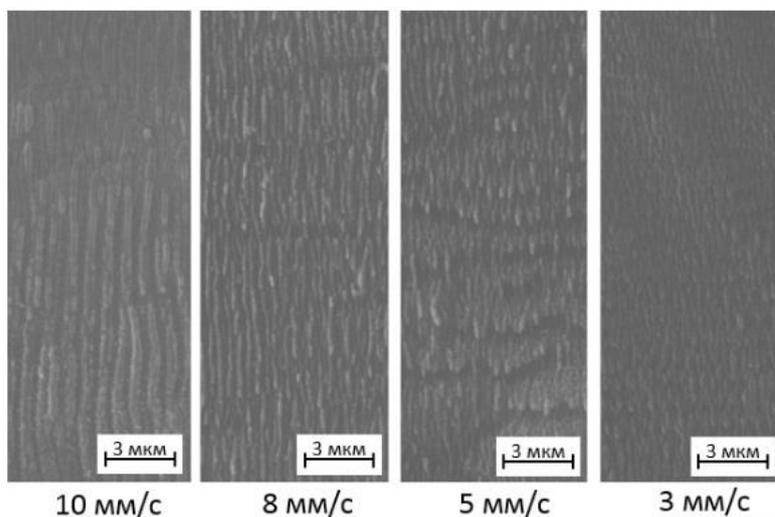
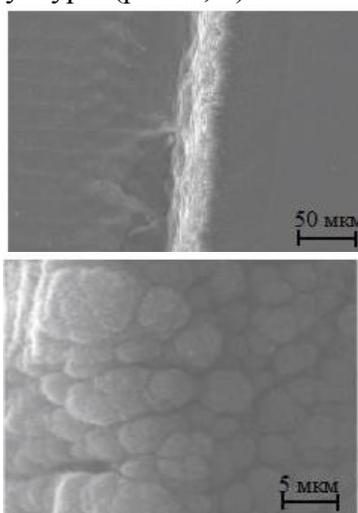
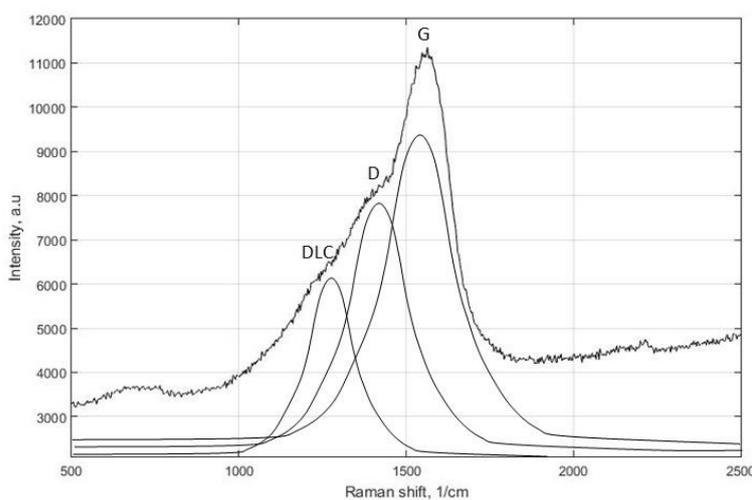


Рис. 3. Области воздействия с различной скоростью обработки лазерного луча

Был проведен эксперимент, в котором образец СУ подвергался воздействию фемтосекундного ЛИ мощностью 800 мВт (рис. 4). Исходя из анализа КР-спектров обработанной области наблюдается смещение D-пика и появление нового пика, который можно отнести к алмазоподобной структуре. Более выраженный пик на 1260 см^{-1} наблюдается на краях области воздействия, что, скорее всего, вызвано переосаждением углеродных продуктов абляции на поверхность образца с образованием алмазоподобной структуры (рис. 4, б).



а) РЭМ-изображения края



б) КР-спектр с разложением контура

Рис. 4. Результаты обработки СУ ЛИ мощностью 800 мВт

Результаты полученные в ходе выполнения данной работы могут быть применены для обработки прецизионных деталей машин. Исследования обработанной поверхности с помощью РЭМ свидетельствуют об эффективном выносе материала, инициированном воздействием ЛИ. В результате воздействия ЛИ на поверхность СУ были образованы каверны с диаметром от 30 до 100 мкм в зависимости от мощности ЛИ и количества импульсов, направленных в область воздействия.

Было обнаружено формирование ППС после точечного воздействия ЛИ на поверхность образца с различным периодом, сопоставимым с длиной волны. Таким образом, использование ультракоротких лазерных импульсов позволяет с высокой точностью проводить обработку СУ, а характерный размер получаемых структур может быть меньше диаметра обрабатываемого луча. Исследования КР-спектров из области обработки и приграничных областей позволило установить факт насыщения образованной поверхности азотом в результате переосаждения материала выброшенного в результате абляции из области обработки. Установлен режим образования алмазоподобных структур на поверхности СУ, так же в результате переосаждения продуктов абляции.

Список литературы

1. *Maia, F. C. B. Et al.* Synthesis of diamond-like phase from graphite by ultrafast laser driven dynamical compression // *Scientific Reports*. – 2015. V.5.№11812. – P.6.
2. *Ashitkov SI* Ultra-short laser pulses in science and technology // Digital Library, OIVTRAS. - Access mode: <http://www.jiht.ru/study/courses/%E%D0%B2.pdf>
3. *Khaled Habiba , Vladimir I. Makarov, B.R. Weiner, G. Morell.* Fabrication of Nanomaterials by Pulsed Laser Synthesis // *Manufacturing Nanostructures*. – 2014. – Chapter 10. – С. 263-292.

05.02.08

В.Ф. Пегашкин д.т.н., И.И. Вендер к.т.н., Л.В. Боршова к.т.н.Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина,
Нижний Тагил, v.f.pegashkin@urfu.ru**ОБРАБОТКА КРОМОК ЛОПАСТНЫХ ДЕТАЛЕЙ КВАЗИЖИДКИМ
ИНСТРУМЕНТОМ****DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-1-61-64**

Предложен метод удаления заусенцев и закругления кромок на выступах обточенных деталей вращением их в обрабатывающей среде – квазижидким инструментом, состоящим главным образом из фракций металлической дроби. Приведены зависимости для определения производительности процесса в зависимости от размеров заусенцев и скорости вращения обрабатываемой детали.

Ключевые слова: технология машиностроения, обработка кромок, абразивная среда.

В машиностроении развито массовое производство стальных деталей, для которых характерна сложная конфигурация с выступами (лопастями), проходящими вдоль продольной оси детали на ее наружной поверхности. Технические условия, а также и отраслевые стандарты содержат жесткие требования к оформлению кромок выступов: заусенцы и острые кромки недопустимы, причем притупление кромок должно быть не большим, чем до фаски $0,5 \times 45^\circ$ или до радиуса $R 0,5$. Следует также учитывать, что после обточки выступов на их кромках заусенцы образуются неизбежно, причем в ряде случаев они достигают значительных размеров.

Удаление заусенцев и закругление кромок обычно применяемыми методами имеют ряд недостатков: низкая производительность, малая вероятность обеспечения требований к точности и качеству обработанных поверхностей [1-6].

Предложен метод обработки кромок вращением детали в среде металлической дроби или другой специально подобранной обрабатывающей среде, которая является по сути квазижидким обрабатывающим инструментом. Введем термин «обрабатывающая среда» для обозначения смеси из различных видов металлической дроби, в которой вращается деталь и под воздействием которой удаляются заусенцы и закругляются кромки.

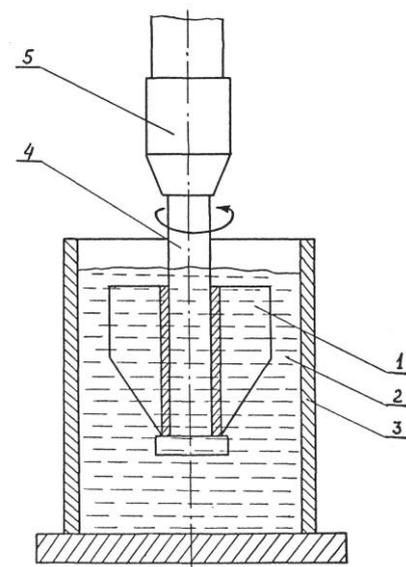


Рис. 1. – Схема устройства:

1 – деталь, 2 обрабатывающая среда (квазижидкий обрабатывающий инструмент), 3 – емкость; 4 – оправка, 5 – патрон

На рис. 1 показана схема обработки: деталь 1 погружена в обрабатывающую среду 2, находящуюся в емкости 3; деталь 1 надета на оправку 4, закрепленную в патроне 5, передающем вращение от шпинделя сверлильного станка.

Протекание процесса удаления заусенцев показано на рис. 2. Заусенцы, полученные на кромках детали в результате фрезерования боковых поверхностей лопастей, перед началом обработки имеют вид, показанный на поз. 1. в начале обработки заусенцы претерпевают изгиб (поз. 2), затем плотно наклепываются на кромки (поз. 3), а затем – наклепанный металл отпадает, а кромки закругляются (поз. 4).

В таблице приведены результаты экспериментов по определению оптимальных уровней факторов процесса при обработке групп типичной для этого вида детали: сталь 40ХФА, твердость $HV = 302...321$, размеры заусенцев – 1,0...1,5 мм в длину и 0,3...0,5 мм по толщине у основания («корня»).

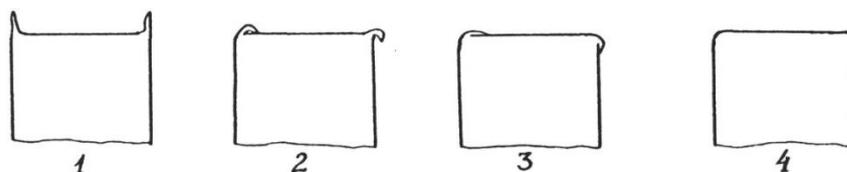


Рис. 2.– Этапы удаления заусенцев

Таблица – Результаты экспериментов

№	Состав обрабатывающей среды	Линейная скорость V , м/мин.	Среднее время обработки, мин.
1	Дробь стальная колотая с диаметром частиц 0,3 мм	150	26,17
		250	20,11
		450	14,23
2	Дробь стальная колотая с диаметром частиц 1,0 мм	150	17,11 11,18
		250	
		450	3,91
3	Дробь стальная колотая с диаметром частиц 1,5 мм	150	13,23
		250	10,00
		450	4,33
4	Дробь стальная сферическая с диаметром частиц 3,0 мм	150	3,00
		250	2,11
		450	0,83
5	Электрокорунд Э91 №160	150	11,45
		250	7,17
		450	3,06
6	Дробь стальная сферическая 3,0 мм + дробь стальная колотая 1,0 мм (1 ч/1 ч)	150	4,28
		250	2,11
		450	1,17
7	Дробь стальная колотая 1,5 мм + дробь стальная колотая 1,0 мм (1 ч/ 3 ч)	150	10,51
		250	3,39
		450	4,23
8	Дробь стальная колотая 1,5 мм + электрокорунд Э91 №160 (5 ч/2 ч)	150	4,73
		250	3,45
		450	2,23
9	Дробь стальная сферическая 3,0 мм + дробь стальная колотая 1,5 мм + электрокорунд Э91 №160 (1 ч/4 ч/3 ч.)	150	2,17
		250	1,34
		450	0,72
10	Дробь стальная сферическая 3,0 мм + электрокорунд Э91 №160 (2 ч/1 ч)	150	0,72
		250	0,62
		450	0,45

Установлено, что применение состава № 4, указанного в таблице, (дробь стальная сферическая 3,0 мм), а также состава № 6, содержащего эту же дробь в большом количестве, приводит к тому, что заусенцы полностью не удаляются, а быстро и плотно приклепываются к кромке, теряя заострение. Составы № 4 и № 6 могут быть применены на черновых обточках выступов. Наибольшая производительность при оформлении кромок после чистовой обточки достигается при применении состава № 10. Во всех случаях рекомендуется назначать линейную скорость вращения 400...450 м/мин.

На рис. 3 показано изменение высоты заусенцев (h) от времени обработки (t) для состава №10. Зависимость описывается уравнением

$$h = 1,63 e^{-3,8t}.$$

Для управления процессом с целью обеспечения требуемых производительности и качества необходимо построить его физическую модель.

Рассмотрим физико-механические свойства обрабатывающих сред. Применяемые в данном технологическом процессе обрабатывающие среды имеют свойства квазижидкости, в которой, при вращении в ней детали с «лопастями» - выступами, образуются потоки, имеющие определённые направления.

На рис. 4 показана схема перемещения частиц обрабатывающей среды относительно выступов при вращении в ней детали. Поскольку частицы среды, находящиеся между выступами, вовлечены во вращательное движение, они действием центробежной силы отбрасываются на периферию, а именно – из зоны B в зону A . Поскольку зона A практически неподвижна, то частицы на её границе затормаживаются, отстают от вращения детали и оказываются в зонах B , где возникает особенно большое давление на кромки выступов. Значительное давление также существует в зонах Γ , где оно создаётся воздействием плоскостей вращающихся выступов на обрабатываемую среду. Из зон Γ частицы перемещаются через выступ, попадая в зоны D и попутно воздействуя на торцевые кромки выступа. В зонах E образуется своего рода разрежение, поэтому туда поступают частицы из расположенных выше слоев обрабатывающей среды.

Центробежная сила, действующая вблизи кромки на выступе, имеющем радиус R_d , на частицу металлической дроби, представляющую собой расколотую на две равные части сферу с радиусом $r = 1,5$ мм, при плотности стали $\gamma = 7,85$ г/см³, при скорости вращения детали $V = 446$ м/мин., равна

$$F = \frac{mV^2}{R_d} = \frac{1,33\pi r^3 \gamma V^2}{R_d} = 0,6 \text{ Н}, \tag{1}$$

что для малой частицы является значительной величиной. Это делает понятным, почему в зоне A обрабатываемая среда оказывается плотно спрессованной, а её расположенные на границе частицы прочно удерживаются и могут воздействовать на выступ детали.

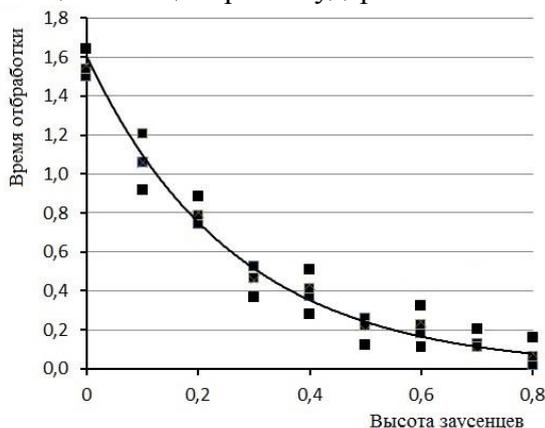


Рис. 3. – Зависимость высоты заусенцев (h) от времени обработки (t)

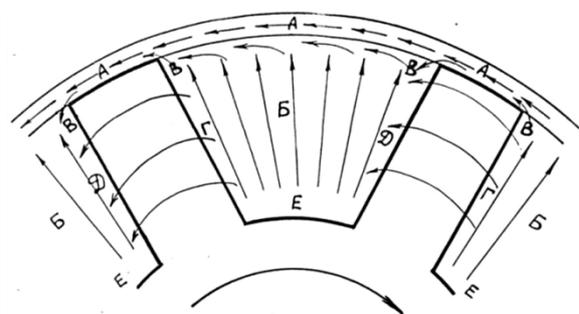


Рис. 4. – Схема перемещения частиц обрабатывающей среды при вращении детали и воздействия частиц на кромки выступов

Экспериментальная апробация предлагаемой технологии в условиях производства показала высокую производительность процесса.

Список литературы

1. *Валиков Е.Н.* Новый метод обработки фасок и удаления заусенцев на торцах зубьев крупногабаритных цилиндрических зубчатых колес / Е.Н. Валиков, В.А. Белякова // Наука и устойчивое развитие общества. Наследие В.И. Вернадского. – 2010. – №10. – С. 15-17.
2. *Войтов В. Н., Чернобай С. П.* Современные технологии в машиностроении 2000 : сб. материалов III Всерос. науч.-практ. конф. / Пензенский гос. ун-т. Пенза, 2000.
3. *Сурсяков А. А., Стрюк А. И., Шестаков И. Я.* Способ электроконтактного удаления заусенцев и сглаживания острых кромок. Патент РФ 2212319, опубл. 20.09.2003. Бюл. № 26.
4. *Маслов А.В.* Электрохимическое удаление заусенцев / А.В. Маслов, А.И. Егориков // Сборнике трудов конференции: Проблемы и перспективы развития машиностроения. – Липецк: Липецкий государственный технический университет, 2016. – С. 164-167.
5. *Могильников Э.В.* Методы удаления заусенцев на деталях летательных аппаратов / Э.В. Могильников, И.Я. Шестаков // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – 2015. – №11. – С. 245-246.
6. Пат. 2406601 Российская Федерация. Галтовочное тело для абразивной обработки / Костенков С.А., Чухломина Л.Н., Костенков М.А. – №2009109332/02; заявл. 13.03.2009; опубл. 20.12.2010, Бюл. №35.

05.02.08

П.М. Салов, Т.Г. Виноградова, В.В. Плотников, С.С. Сайкин, Н.В. Мулюхин,
Д.П. Салова, В.Н. Цай, С.С. Сорокин

Чебоксарский институт (филиал) Московского политехнического университета,
факультет строительных и транспортных технологий,
кафедра транспортно-технологических машин,
Чебоксары, tavin2008@mail.ru

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ПРАВКИ КРУГОВ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ИСТОЧНИКОВ ТЕПЛА В ЗОНЕ ШЛИФОВАНИЯ

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-1-65-67

В работе представлены условия правки кругов, при которых обеспечивается отсутствие локальных участков с уровнем температур, вызывающих дефекты. Температура шлифования складывается из отдельных импульсов, создаваемых абразивными зёрнами, наполнителем и связкой. Оптимальное расположение этих источников тепла на круге обеспечивает высокую производительность операции.

Ключевые слова: правка, качество, температура, поверхность, импульс, плотность.

Под температурой шлифования подразумевают усредненную величину, до которой нагревается поверхностный слой заготовки в зоне контакта с кругом. Плотность распределения зёрен определяют различными методами: выбиванием образца из зоны резания [1-3], прокатыванием круга по фиксируемой поверхности [4 и др.], изучением поверхности круга под микроскопом [5 и др.], шлифованием конических поверхностей, шлифованием тонких пластин (лезвий), с помощью профилограмм, аналитически. Более надежным является метод, при котором образец мгновенно выбивается из-под круга [1-3]. Методика анализа мгновенной поверхности шлифуемого образца позволяет определить общее число выступов, способных создавать царапины на обрабатываемой поверхности при ее отводе из зоны резания, их количество, а также выделить те, которые формировали риски со снятием или без снятия стружки. Тепловые импульсы возникают от активных зёрен.

Отстреливаемые образцы из сталей выполнены в виде болтов с шлифуемой головкой 5x5 мм. Материал заготовок: сталь ШХ15 (HRC 61-63), ст. 45 (HRC 48-52), ст. 30ХГСНА (HRC 48-50). Режим обработки: $V_k = 30$ м/с; подача на глубину $t_l = 0,05$ мм, СОЖ-Укринол-1М, круг 1.250x20x76 24AF60NV.

Режимы правок:

1. Правка алмазным карандашом С3, который после 2-3 правок поворачивается на 30°, подача на глубину $t = 0,01$ мм, продольная подача $S_o = 0,3$ мм/об.кр, затем 2 зачищающих прохода без подачи на глубину.

2. Правка алмазным карандашом С3 с фиксируемой площадкой износа v_a , равной 0,30 мм при: $t=0,01$ мм, $S_o=0,15$ мм/об.кр.; один проход.

3. Обкатка с алмазным роликом на металлической связке: поперечная подача $S_{\text{поп}}=0,005$ мм, суммарная подача $\Delta=0,1$ мм, ширина (высота) круга $B_p=20$ мм. Угол поворота оси ролика по отношению к оси круга $\varphi=0$. Ролик врезался в круг по всей ширине и обкатывался до момента, когда мощность процесса уменьшалась до 25% от начальной. Осцилляция вдоль оси круга - 1...2 мм, время правки $\tau=30-80$ с.

4. Обкатка с алмазным роликом на металлической связке: $S_{\text{поп}}=0,01$ мм, $\Delta=0,1$ мм, $\varphi=5^\circ$, время правки $\tau=20-28$ с. (остальное см. п.3).

5. Обкатка с абразивным кругом из карбида кремния зеленого 63С: $S_{\text{поп}}=0,005$ мм, $\varphi=5^\circ$, $\Delta=0,1$ мм.

6. Обкатка с вулканитовым кругом: $S_{\text{поп}}=0,005$ мм, $\varphi=5^\circ$, $\Delta=0,1$ мм.

7. Непрерывная правка-очистка кругом 1.10x20A500/400 MC15-100, который приводился во вращение за счет трения с рабочим кругом и совершал возвратно-поступательное движение вдоль его оси. Поперечная подача круга-ролика составляла от 0,25 до 1 мкм на один его оборот.

При правке единичным алмазом форму инструмента определяет ширина режущей кромки v_a на фактической глубине внедрения в круг t . Ее увеличение приводит к возрастанию сил резания при шлифовании, уменьшению межзернового пространства для размещения стружки, появлению дефектов на обработанной поверхности.

При первом режиме площадка на алмазе не контролируется и продольная подача часто назначается больше. Второй режим обеспечивает более стабильные показатели. Однако требует контроля и обеспечения оптимальной величины v_a . Его целесообразно использовать при чистовом шлифовании. Режимы 3-6 успешно реализуются при наличии жесткого оборудования и обкаточных приспособлений. Третий режим правки обеспечивает показатели микропрофиля круга, близкие к первому. Однако он экономически не конкурентоспособен, как и условия 4-6.

Одной из особенностей методов 3-6 является правка врезанием.

Другая особенность - быстрое возрастание натяга и усилия резания при врезании до некоторой величины, при которой формируется микропрофиль на рабочем круге. Большая длина (и площадь) контакта между обкатываемыми инструментами может привести к появлению вибраций, которые недопустимы при правке. Колебания круга при правке влияют на его геометрию: макро- и микропрофиля, волнистость, их неоднородность. Геометрия круга передается на заготовку. Стойкость круга снижается. После полного врезания происходит выхаживание, при котором натяг уменьшается и форма кругов приобретает геометрию, близкую к цилиндрической. Применение винтовых шарошек, у которых уменьшена ширина контакта, позволяет снизить вероятность возникновения вибраций [1].

Плотность активных зерен (тепловых источников) во многом задается состоянием режущего профиля алмазного ролика, а также условиями, когда натяг между инструментами оптимален – при окончании процесса правки. При $\varphi=0$ величина проскальзывания между телами мала, поэтому натяг, создаваемый при начальном врезании, выбирается медленно, производительность процесса невысока.

При использовании четвертого режима, когда $\varphi=5^\circ$, проскальзывание между кругами увеличивается в 3-4 раза, что позволяет увеличить величину врезания, производительность процесса увеличивается. Улучшаются условия правки. Алмазные зерна ролика, как бы вычищают связку около зерен. Микропрофиль на круге более развит, зерна расположены более равномерно.

При правке обкаткой отжатия в технологической системе изменяют положения кругов в пространстве. Их взаимный износ также искажают формы. Скорость поперечной подачи сдерживается необходимостью увеличения частоты вращения правящего инструмента в момент врезания. Инструмент подводится к рабочему кругу до начала его вращения (обката), затем увеличивают скорость врезания по мере возрастания частоты вращения. В режиме выхаживания относительное проскальзывание между кругами минимально.

Ограничения в использовании правок методами обкатки, в первую очередь, связаны с недостаточной изученностью и сложностью настройки, нужна высокая квалификация рабочего.

Применение для обкатки кругов из карбида кремния зеленого (5-ый режим) резко увеличивает производительность и нестабильность процессов правки и последующего шлифования.

Применение вулканитовых кругов для обкатки (6-ой режим) обеспечивает стабильный микропрофиль. По-видимому, это связано с высокой упругостью кругов. Кроме того, разновысотность зерен в более упругих связках меньше, чем более жестких. Однако расход правящих кругов существенно возрастает.

Непрерывная правка кругов (7-ой режим) изначально предполагает качественное обслуживание всей операции шлифования, которое должно включать: активный контроль при шлифовании, контроль микро- и макропрофиля круга, а также колебательных процессов. Он наиболее целесообразен на ответственных операциях.

Стойкость кругов во многом определяется условиями правки и характером износа круга (режим притупления или самозатачивания). Наличие единичных выступающих зерен создает условия, при которых в работе участвует относительно ограниченное число зерен, не обеспечивающих требуемых производительности или/и шероховатости. Высокая нагрузка на эти зерна приводит к появлению засалки, которая может частично остаться на круге после выпадения зерен.

Правка алмазными накатными роликами более предпочтительна по сравнению с правкой единичным алмазом, т.к. обеспечивает большее пространство для размещения стружки и развитый микропрофиль с более острыми абразивными зернами. Попутное вращение ролика обеспечивает более развитый микрофиль на круге, чем встречное, а меньшее число активных зерен в зоне резания увеличивает шероховатость обрабатываемой поверхности.

Состояние рабочей поверхности, полученное правкой, со временем прирабатывается к некоторому квазистационарному состоянию, соответствующему условиям процесса шлифования. Быстрее прирабатываются круги, которые правятся по 1-му режиму.

Выводы по работе:

1. При мелкосерийном производстве правка точением с управляемой шириной алмазной кромки v_a является предпочтительной по сравнению с другими.

2. Обкаточные методы правки необходимо использовать при чистовом шлифовании материалов, для которых характерна стружка, не требующая большого объема для размещения в межзерновом пространстве.

Список литературы

1. Анализ тепловой ситуации при внутреннем шлифовании с продольной подачей/ Салова Д.П., Виноградова Т.Г., Салов П.М. и др. :М-во образ. Рос. Фед. , Чув. гос. ун-т. – Чебоксары, 2013 – 21с. Библиогр.: с19-21, Деп. в ВИНТИ 25.10.2013 №298-В2013
2. Исследование зоны контакта при шлифовании/Д.П.Салова, В.А. Аврелькин, П.М. Салов и др.: М-во образ. Рос. Фед. , Чув. гос. ун-т. – Чебоксары, 2013 – 29с. Библиогр.: с. 28-29, Деп. в ВИНТИ 25.10.2013 №297-В2013.
3. Резников, А.Н. Исследование мгновенной контактной температуры поверхности при шлифовании / А.Н. Резников, В.В. Шипанов // Вестник машиностроения. 1974. №9 – С. 64-66
4. Корчак, С.Н. Производительность процесса шлифования стальных деталей/ С.Н.Корчак. М.: Машиностроение, 1974. - 280 с.
5. Королев, А.В Теоретико-вероятностные основы абразивной обработки: в 3 -х ч. Ч.1: Состояние рабочей поверхности инструмента/ А.В.Королев, Ю.К. Новоселов; под ред. С.Г.Редько. Саратов: Изд-во Сарат.ун-та, 1987. 156 с.

05.02.08

**П.М. Салов, М.В. Купцов, Т.Г. Виноградова, Ю.И. Воронцов, С.С. Сайкин,
Д.П. Салова, Н.В. Петрова, В.С. Григорьев**

Чебоксарский институт (филиал) Московского политехнического университета,
факультет строительных и транспортных технологий,
кафедра транспортно-технологических машин,
Чебоксары, tavin2008@mail.ru

ФОРМА КРУГА ДЛЯ ЗАТОЧКИ ИНСТРУМЕНТА И ЕЕ СВЯЗЬ С ДЛИТЕЛЬНОСТЬЮ ПРИРАБОТКИ И КРИТИЧЕСКОЙ СКОРОСТЬЮ ВРЕЗАНИЯ В ЗАГОТОВКУ

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-1-68-70

В работе обоснована целесообразность работы кругами оптимальной формы.

Ключевые слова: *форма круга, внутреннее трение, вязкость, напряжения, среда Фойхта.*

Время приработки и критическая скорость врезания в заготовку зависят от его формы. В работе [1], используя принципы естественной прирабатываемости, развиваемые В.В. Шульцем [2], получено уравнение образующей вращающейся пластины, врезающейся в среду Фойхта

$$y = \frac{f_{\text{вн}} \cdot E}{4 \cdot V \cdot \eta} \cdot x^2, \quad (1)$$

где $f_{\text{вн}}$ - коэффициент внутреннего трения среды; η и E - вязкость и коэффициент длительной жесткости среды Фойхта; V - скорость врезания пластины.

В работах [1,3,4], при анализе многочисленных исследований установлено, что парабола (1) удачно описывает профили приработанных кругов при сохранении физического смысла ее составляющих. Форма уравнения (1) должна быть сохранена при учете несовершенства среды Фойхта. В формуле (1) координата y направлена вдоль оси круга (направление изнашивания), x - радиальная координата.

Среда Фойхта полностью не может отражать свойства твердого тела, поэтому нуждается в уточнении. В первую очередь необходима информация о характере затухания скорости деформации в твердом теле. То есть необходимо определять время релаксации среды.

Коэффициент $f_{\text{вн}}$ определяется и уточняется экспериментально. Для этого проводят графическое интегрирование всех касательных и нормальных сил по профилю (форме) приработанного круга. Их отношение равно коэффициенту $f_{\text{вн}}$ [1,5,6].

Более сложно определить коэффициент жесткости и особенно вязкости среды Фойхта, используемых для описания поведения твердого тела.

В работе [5] их определяли «методом кинетической твердости» и микротвердости на приборе С.И. Булычева и уточняли в соответствии с рекомендациями [6]. В процессе вдавливания индентора скорость внедрения сознательно уменьшалась, что соответствует условиям применения модели Фойхта [5, 6].

Напряжение в теле для тела Фойхта [5]

$$\sigma = E \cdot \varepsilon + 3\eta_{\phi}^* \cdot \dot{\varepsilon} = E(\varepsilon + t_{\phi} \cdot \dot{\varepsilon}),$$

где E и $3\eta_{\phi}^*$ - коэффициенты пропорциональности в законах Гука и Ньютона; $\dot{\varepsilon}$ - скорость истинной деформации; t_{ϕ} - время запаздывания.

$$3\eta_{\phi}^* = E \cdot t_{\phi} = \eta_{\phi}.$$

По диаграммам вдавливания определяли σ , ε , $\dot{\varepsilon}$. Далее рассчитывались условная вязкость деформируемого тела $\eta = 3\eta_{\phi}^*$ и время запаздывания.

Полученное значение η сравнивалось с расчетным, используя формулу Томпсона [7].

Время релаксации определяли, используя диаграммы вдавливания [5,6].

Зависимость (1) не учитывает уровень температур T и скоростей деформаций $\dot{\epsilon}$, свойственных процессу шлифования. При их учете имеем

$$y = \frac{f_{вн} \cdot E(T, \dot{\epsilon})}{4V \cdot \eta(T, \dot{\epsilon})} \quad (2)$$

Зависимость $E(T, \dot{\epsilon})$ определяется с помощью модификации К. Макгрегора-Фишера [8].

Применительно к шлифованию принято [8]: отношение температуры, модифицированной по скорости деформации, к абсолютной температуре тела

$$T_{км}/T_k=0,63, \text{ где } T_{км} = T_k \left(1 - k \ln \left(\frac{\dot{\epsilon}}{\dot{\epsilon}_0} \right) \right);$$

$T_m=0,63 \cdot T - 98,3$ (°C) – модифицированная температура в градусах Цельсия; $\dot{\epsilon}_0=10^{-3} \text{ с}^{-1}$, $\dot{\epsilon}=10^7 \text{ с}^{-1}$; коэффициент k – выбирают так, чтобы изменение напряжения в зоне контакта при температуре 293 К и скорости деформации $\dot{\epsilon}_0=10^{-3} \text{ с}^{-1}$ были такими же, как при $\dot{\epsilon}=10^7 \text{ с}^{-1}$ и температуре $T_{км}$.

В работах [1,9] вязкость твердого тела увязывается с коэффициентом внутреннего трения $\eta = a_\epsilon \cdot Q^{-1}$, где a_ϵ - коэффициент пропорциональности, Па·с. Это обосновывается тем, что диаграмма напряжение-деформация при нагрузке и разгрузке из-за неполной упругости металлов не совпадают. Они образуют петлю гистерезиса. Ее площадь эквивалентна рассеянной энергии, т.е. вязкости [7,10].

Формула (2) преобразуется к виду [1]

$$y = \frac{f_{вн} \cdot E_{мод}}{4 \cdot V \cdot a_\epsilon \cdot Q_{мод}^{-1}} \cdot x^2 = \frac{f_{вн}}{4S_{np} \cdot t_{шт}} \cdot x^2, \quad (3)$$

где $E_{мод}$ и $Q_{мод}^{-1}$ - модифицированные жесткость и вязкость твердого тела; S_{np} - скорость врезания круга в заготовку; $t_{шт}$ - обобщенный коэффициент, учитывающий проявление твердым телом свойств тела Максвелла. Величина a_ϵ определялась экспериментально. Параметры x и y снимались с приработанных кругов.

При глубинной заточке твердого сплава ВК6 кругом А11 125×10 на связке М04, когда $S_{np}=5 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}$; $T=458 \text{ °C}$ [4] по координатам x и y круга получено:

$$E_{мод}=122 \text{ ГПа}; A=0,63; Q^{-1}=240 \cdot 10^{-4}; a_\epsilon=608 \text{ ГПа} \cdot \text{с}; \eta_{фмод}=14,6 \text{ ГПа} \cdot \text{с}.$$

Корректность принятой математической модели подтверждена анализом работ [4,11,12]. Расчетная формула для определения длительности приработки имеет вид (4)

$$T = \frac{(2\pi)^{1-\beta} \cdot f_{вн} \cdot E_{мод}}{k_k P_y n^\beta (2-\beta) 2 \cdot S_{np} \cdot a_\epsilon \cdot Q_{мод}^{-1}} \cdot \left(\frac{R_2^{4-\beta} - R_1^{4-\beta}}{4-\beta} - R_1 \frac{R_2^{3-\beta} - R_1^{3-\beta}}{3-\beta} - R_1^{2-\beta} \frac{R_2^2 - R_1^2}{2} + R_1^{3-\beta} \cdot x_m \right) \quad (4)$$

где β - коэффициент, отражающий изнашиваемость круга на различных диаметрах, как функцию от скорости резания; k_k - коэффициент пропорциональности в формуле, связывающей внедрение зерен с давлением на него; n – частота вращения круга; R_2 и R_1 – радиусы круга; P_y – усилие сближения тел; $V=S_{np}$ (см. формулу (3)); x_m – координата x , соответствующая удаляемому припуску t_Δ (уровень радиуса R_2).

По аналогии с (1) $x_m = 2 \sqrt{\frac{t_\Delta \cdot S_{np} \cdot a_\epsilon \cdot Q_{мод}^{-1}}{f_{вн} \cdot E_{мод}}}$.

Критическая скорость врезания круга оптимальной геометрии в заготовку

$$V_{Y_{зи}^{max}} \approx \frac{714 \sigma_T \cdot a_\Delta^{1,5} (p + 2t_\Delta)^{2,25}}{E^2 \rho_{шт}^{0,5} \cdot t_\Delta^3 \cdot p^{0,75} \left(1 - K_t \frac{a_\Delta}{t_\Delta} \right)}, \quad (5)$$

где σ_T - предел текучести связки круга; a_δ - деформация (натяг) в технологической системе в момент удара; E – приведенный модуль упругости [7]; $\rho_{ш}$ - плотность связки круга; p – характеристика параболы [1], $2p = \frac{x^2}{y} = \frac{4S_{np} \cdot a_\delta \cdot Q_{mod}^{-1}}{f_{вн} \cdot E_{mod}} = 4S_{np} \cdot \tau$, K_t - коэффициент жесткости технологической системы заточных станков, для приработанных кругов $K_t = 0,45 - 0,70$ [1].

Корректность зависимостей (4) и (5) подтверждена экспериментально. Для приработанных кругов при глубинном шлифовании $V_{y_{max}} = 0,008 - 0,043$ м/с, для неприработанных - в 8-20 раз меньше. Длительность приработки при глубинной заточке составляет от 10 до 22 минут.

Список литературы

1. Салов, П.М. Повышение эффективности заточки, круглого и плоского шлифования с продольной подачей: дис... докт. техн. наук: 05.02.08 и 05.03.01: защищена 04.12.1998: утв. 11.06.1999 / Салов Петр Михайлович. – Самара: Сам. гос. техн. ун-т. - 497 с.
2. Шульц, В.В. Форма естественного износа деталей машин и инструмента / В.В. Шульц. – Л.: Машиностроение, 1990. – 208 с.
3. Салов, П.М. Рациональное использование рабочей поверхности абразивных кругов / П.М. Салов, Д.П. Салова. – Чебоксары: Чебоксар. политехн. ин-т (филиал) МГОУ, 2010. – 332 с.
4. Шепелев, А.А. Форма режущей поверхности алмазного круга при глубинной заточке твердых сплавов / А.А. Шепелев, Ю.С. Савчук, В.П. Черных // Алмазы и сверхтвердые материалы. – 1977. – Вып. 8. – С. 10-12.
5. Булычев, С.И. Испытание материалов непрерывным вдавливанием индентора / С.И. Булычев, В.П. Алехин. – М.: Машиностроение, 1990. – 224 с.
6. Федосов, С.А. Определение механических свойств материалов микроиндентированием. Современные зарубежные методики / С.А. Федосов, Л. Пешек. – М.: Физический факультет МГУ, 2004. – 100с.
7. Кольский, Г. Волны напряжения в твердых телах / Г. Кольский; перев. с англ. В.С. Ленского. – М.: Изд-во иностранной литературы, 1955. – 192 с.
8. Евсеев, Д.Г. Физические основы процесса шлифования / Д.Г. Евсеев, А.Н. Сальников. – Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1978. – 128 с.
9. Криштал, М.А. Внутреннее трение в металлах и сплавах / М.А. Криштал. – М.: Металлургия, 1964. – 293 с.
10. Курдюков, В.И. Установка для исследования вязко-упругих характеристик связок алмазно-абразивного инструмента / В.И. Курдюков, Б.П. Кудряшов // Алмазы и сверхтвердые материалы. – 1980. Вып. 12. – С. 10-12.
11. Савчук, Ю.С. О некоторых закономерностях работы и износа алмазных кругов при глубинной заточке твердых сплавов / Ю.С. Савчук, А.А. Шепелев // Резание и инструмент. – Харьков, 1979. Вып. 22. – С. 33-38.
12. Захаренко, И.П. К вопросу о закономерности образования рабочей поверхности алмазного круга / И.П. Захаренко, В.З. Мовладзе, А.А. Шепелев // Резание и инструмент. – 1973. – Вып. 8. – С. 46-55.

05.02.00

¹А.Р. Фардеев к.т.н., ²А.А. Фардеев, ³А.М. Абдуллина

Набережночелнинский институт (филиал)
ФГАОУ ВПО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»,
кафедра механики и конструирования,
Набережные Челны, ¹albert.fardeev@mail.ru, ²progmast@mail.ru, ³albimir@mail.ru

АНАЛИЗ РАБОТЫ ТРУБОПРОВОДА МАНИПУЛЯТОРА, ИСПОЛЬЗУЕМОГО В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ КОВКИ ИЛИ ГОРЯЧЕЙ ШТАМПОВКИ ЗАГОТОВОК

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-1-71-73

В статье исследована динамика трубопровода гидроприводов манипулятора с тремя поступательными переносными степенями подвижности, используемого для переноса заготовок в технологическом процессековки или горячей штамповки. Преобразовано уравнение Бернулли при неустановившемся течении жидкости. Определена структура функции суммарных потерь давления в трубопроводе и произведена ее линейаризация, введены относительные переменные. Выведено уравнение, описывающее работу трубопровода. Полученное уравнение необходимо для исследования работы манипулятора в целом.

Ключевые слова: *динамика трубопровода, гидроприводы манипулятора, уравнение Бернулли, суммарные потери давления, относительные переменные.*

Существует возможность использования манипулятора в технологических процессахковки и горячей штамповки заготовок машиностроительного предприятия. Это можно сделать путем включения в существующий технологический процесс манипулятора, заменяющего человека при переносе заготовки в рабочую зону прессы и из неё [1]. Для обеспечения высокой скорости переноса заготовки по заданной траектории, обхода возникшего препятствия, экономии энергии при малых ускорениях плунжеров необходима автоматизированная система управления манипулятором.

Согласно проведённому анализу для автоматизации рассматриваемого технологического процесса более всего подходит манипулятор с тремя поступательными переносными степенями подвижности и тремя вращательными и одним поступательным ориентирующими степенями подвижности.

Продольные размеры элементов модулей подвижности предлагается выбирать исходя из требований технологического процесса. Поперечные размеры элементов модулей подвижности можно выбрать из справочников согласно весу заготовки, выбранных продольных размеров и масс предшествующих модулей подвижности.

Исходя из особенностей данного технологического процесса, выбрана система адаптивного управления, использующая принцип обратной связи, направленный на компенсацию действия возмущений.

Функционирование выбранной адаптивной системы управления могут обеспечить гидравлические механизмы приводов. Для экономии энергии предлагается использовать общий для всех приводов пластинчатый насос с переменным рабочим объёмом [2]. Пластинчатый насос удобен тем, что позволяет регулировать свой рабочий объём на ходу. Это делает возможным изменение рабочего объёма насоса с целью управления его подачей в зависимости от скорости плунжеров.

Схема выбранного гидропривода показана на рис. 1. Управление манипулятором в основном происходит при помощи сигналов, поступающих из устройства управления, которым является процессор. Управляющие сигналы поступают в гидрораспределители 8, 10, 12 (см. рис. 1), где преобразуются в управляющие воздействия, передающиеся через

гидроцилиндры 9, 11, 13 объекту управления – манипулятору. Благодаря управляющим воздействиям происходит перемещение объекта манипулирования по траектории, близкой к заданной и сближение истинной траектории с заданной, если расстояние между ними превысило допустимое значение. Если на заданной траектории возникло препятствие, то управляющим воздействием является изменение заданной траектории, которое производится самим процессором путём внесения изменений в заложенную в него программу.

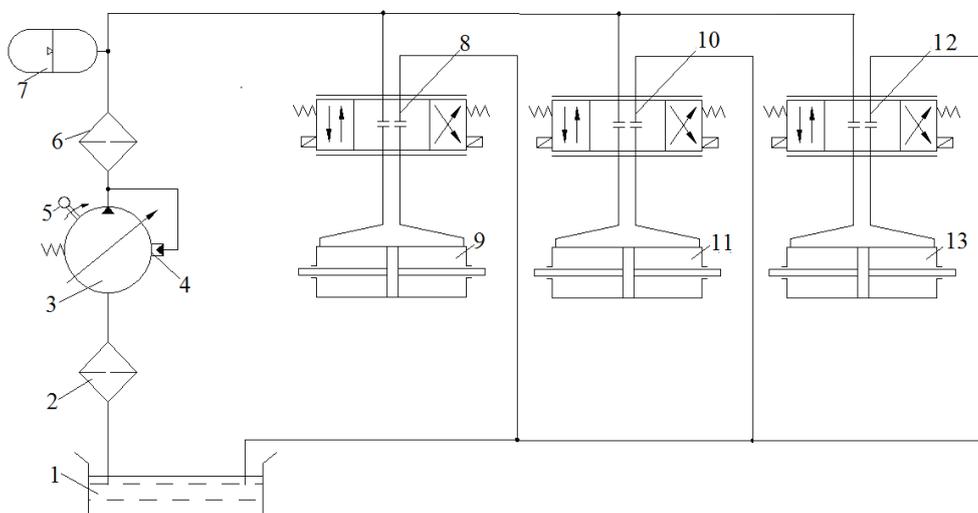


Рис. 1 – Схема гидропривода дроссельного управления с общим насосом переменного рабочего объёма

Для исследования работы манипулятора в целом необходимо рассмотреть динамику отдельных его частей.

Рассмотрим динамику трубопровода. Уравнение Бернулли для начального 1-1 и конечного 2-2 сечений при неустановившемся течении жидкости имеет вид [3]:

$$\frac{p_1}{\rho g} = \frac{p_2}{\rho g} + \frac{\Delta p_{\Sigma}}{\rho g} + \frac{dv}{dt} \frac{l}{g}, \quad (1)$$

где p_1 - давление жидкости в сечении 1-1, p_2 - давление жидкости в сечении 2-2, ρ - плотность жидкости, g - ускорение свободного падения, v - скорость жидкости, l - длина трубопровода, Δp_{Σ} - суммарные потери давления в трубопроводе. Они определяются по формуле

$$\Delta p_{\Sigma} = p_{\Gamma} + K_{\Sigma 1} Q + K_{\Sigma 2} Q^2, \quad (2)$$

где p_{Γ} - перепад давления на гидродвигателе, Q - расход трубопровода, $K_{\Sigma 1}$, $K_{\Sigma 2}$ - коэффициенты.

Умножим обе части уравнения (1) на площадь поперечного сечения трубопровода S_{TP} , ускорение свободного падения g , и поделим на длину трубопровода l . Тогда получим:

$$\frac{d(v S_{TP})}{dt} = \frac{S_{TP} p_1}{\rho l} - \frac{S_{TP} p_2}{\rho l} - \frac{S_{TP} \Delta p_{\Sigma}}{\rho l}.$$

Т.к. расход трубопровода $Q = v S_{TP}$, то

$$\frac{dQ}{dt} = k(p_1 - p_2) - k \Delta p_{\Sigma}, \quad (3)$$

где $k = \frac{S_{TP}}{\rho l}$.

Пусть p_1 - давление на выходе из насоса, p_2 - давление на выходе из гидродвигателя, которое равно давлению на входе в насос, т.к. насос забирает жидкость из линии, в которую сбрасывает жидкость гидродвигатель. Следовательно, в данном случае $p_1 - p_2 = p_{нас}$ - перепад давления на насосе [4]. Тогда уравнение (3) примет вид:

$$\frac{dQ}{dt} = kp_{нас} - k\Delta p_{\Sigma} \tag{4}$$

После подстановки (2) в (4) получим:

$$\frac{dQ}{dt} = kp_{нас} - kp_{\Gamma} - kK_{\Sigma 1}Q - kK_{\Sigma 2}Q^2.$$

Подставим в это уравнение переменные в виде:

$$Q = Q_0 + \Delta Q, p_{нас} = p_{нас0} + \Delta p_{нас}, p_{\Gamma} = p_{\Gamma 0} + \Delta p_{\Gamma},$$

где $Q_0, p_{нас0}, p_{\Gamma 0}$ - значения соответствующих переменных в номинальном режиме.

Тогда:

$$\frac{1}{k} \frac{d\Delta Q}{dt} = p_{нас0} + \Delta p_{нас} - p_{\Gamma 0} - \Delta p_{\Gamma} - K_{\Sigma 1}Q_0 - K_{\Sigma 1}\Delta Q - K_{\Sigma 2}Q_0^2 - 2K_{\Sigma 2}Q_0\Delta Q - K_{\Sigma 2}\Delta Q^2 \tag{5}$$

В номинальном режиме при $\Delta Q = \Delta p_{нас} = \Delta p_{\Gamma} = 0$ это уравнение примет вид:

$$0 = p_{нас0} - p_{\Gamma 0} - K_{\Sigma 1}Q_0 - K_{\Sigma 2}Q_0^2. \tag{6}$$

Тогда с учетом (6) уравнение (5) примет вид:

$$\frac{1}{k} \frac{d\Delta Q}{dt} = \Delta p_{нас} - \Delta p_{\Gamma} - K_{\Sigma 1}\Delta Q - 2K_{\Sigma 2}Q_0\Delta Q - K_{\Sigma 2}\Delta Q^2. \tag{7}$$

Произведем линеаризацию функции $f(\Delta Q) = \Delta Q^2$ в окрестности точки 0:

$$\Delta Q^2 \approx f(0) + f'(0)(\Delta Q - 0) = 0 + 2 \cdot 0 \cdot \Delta Q = 0$$

Тогда уравнение (7) примет вид:

$$\frac{1}{k} \frac{d\Delta Q}{dt} = \Delta p_{нас} - \Delta p_{\Gamma} - K_{\Sigma 1}\Delta Q - 2K_{\Sigma 2}Q_0\Delta Q \tag{8}$$

или

$$\frac{1}{k} \frac{d\Delta Q}{dt} = \Delta p_{нас} - \Delta p_{\Gamma} - (K_{\Sigma 1} + 2K_{\Sigma 2}Q_0)\Delta Q \tag{9}$$

Поделив уравнение (9) на $p_{нас0}$ получим уравнение динамики жидкости в трубопроводе в относительных переменных:

$$T_T \frac{du_Q}{dt} = u_p - k_{p_{\Gamma}}u_{p_{\Gamma}} - k_Q u_Q, \tag{10}$$

где $u_Q = \frac{Q - Q_0}{Q_0}, u_p = \frac{p_{нас} - p_{нас0}}{p_{нас0}}, u_{p_{\Gamma}} = \frac{p_{\Gamma} - p_{\Gamma 0}}{p_{\Gamma 0}}, T_T = \frac{Q_0}{kp_{нас0}} = \frac{\rho l Q_0}{S_{TP} p_{нас0}},$

$$k_Q = \frac{(K_{\Sigma 1} + 2K_{\Sigma 2}Q_0)Q_0}{p_{нас0}}, k_{p_{\Gamma}} = \frac{p_{\Gamma 0}}{p_{нас0}}.$$

Уравнение (10) описывает работу трубопровода манипулятора, используемого в технологическом процессековки заготовок, при управлении рабочим объемом насоса.

Список литературы

1. Фардеев А.Р. Анализ совместной работы насоса манипулятора и трубопровода / А. Р. Фардеев, А.А. Фардеев, А.М. Абдуллина // Научно-технический вестник Поволжья – 2017. – №2. – С. 36-38.
2. Фардеев А.Р. Определение условий асимптотической устойчивости номинального режима работы манипулятора / А. Р. Фардеев, Р.Г. Марданшин, А.А. Фардеев // Научно-технический вестник Поволжья – 2015. – №2. – С. 210-214.
3. Лепешкин А.В. Гидравлические машины и Гидропневмопривод: Учебник. Ч. 2. / А.В. Лепешкин, А.А. Михайлов, А.А. Шейпак; под ред. А.А. Шейпака. 3-е изд. стереот. – М. : МГИУ, 2005. – 352 с.
4. Башта Т.М. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы: Учебник для машиностроительных вузов / Т. М. Башта [и др.]. – М. : Машиностроение, 1982. – 423 с.

05.02.02

Н.Г. Фетисова, А.П. Буйносов д.т.н.

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

СОЗДАНИЕ БЕГУЩЕЙ ВОЛНЫ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ПРИ ПРОИЗВОЛЬНЫХ ПАРАМЕТРАХ ПУТИ И ДВИГАТЕЛЯ ПОЕЗДА НА МАГНИТНОЙ ЛЕВИТАЦИИ

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-1-74-77

В статье выведены уравнения и приведены результаты создания бегущей волны магнитного поля при произвольных параметрах пути и линейного асинхронного двигателя поезда на магнитной левитации.

Ключевые слова: *поезд, магнитная левитация, двигатель, поле, волна, бегущая, параметры, произвольные, создание.*

В поездах, которые движутся, используя принцип магнитной левитации, обычно применяются линейные двигатели с развернутым статором. В данном случае ротором являются обмотки или постоянные магниты, расположенные в подвижном составе, а роль статора выполняет структура фазных контуров встроенных в путь, который может представлять собой канал или монорельс [1]. Ранее [2, 3] бегущая волна рассматривалась как поле, изменяющееся по гармоническому закону в каждой точке с добавочной фазой пропорциональной ее X -координате, но не обсуждалось, как ее можно получить. Бегущая волна магнитного поля образуется трехфазной статорной обмоткой, фазы тока в которой смещены на 120° . Пусть контуры статорной обмотки расположены таким образом, как показано на рис. 1. Из рис. 1 видно, что фазовые обмотки наложены друг на друга и величина перекрытия равна k .

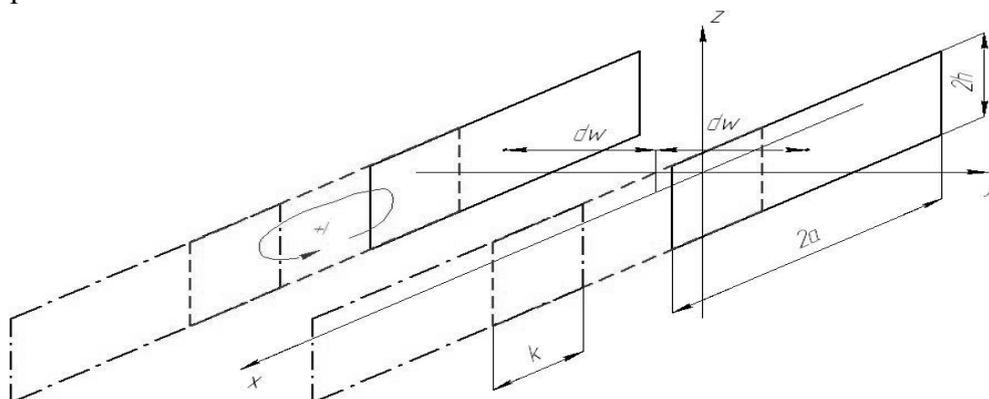


Рис. 1. Фазы статорной обмотки

Пусть ток в некоторой рамке равен I . Найдем поле в точке, определяемой вектором $\vec{r} = (x, y, z)$, используя при этом закон Био-Савара-Лапласа.

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot I \cdot \oint \frac{[d\vec{l} \vec{r}']}{r'^3}. \quad (1)$$

Зададим параметры какой-либо из статорных обмоток: координаты центра рамки (x_0, y_0, z_0); ее ориентация – параллельна плоскости XZ (вектор площади $\vec{n} = \vec{j}$); размер $2a$ вдоль оси X и $2h$ вдоль оси Z . Вектор \vec{n} связывает положительные направления для тока и потока вектора магнитной индукции через правило буравчика.

В формуле (1) вектор $\vec{r}' = (x', y', z')$ направлен от элемента $d\vec{l}$ к точке наблюдения поля и

отличается от вектора точки «наблюдения» поля $\vec{r} = (x, y, z)$ (рис. 2). Интеграл берется по контуру (вектор $d\vec{l}$ направлен по положительному обходу контура). Под интегралом векторное произведение, которое в свою очередь является вектором и, следовательно, складываются бесконечно много бесконечно малых векторов. Проекция суммы векторов равна сумме проекций составляющих, т. е. если расписать выражение по отдельности для каждой проекции, получим:

$$\begin{pmatrix} i & j & k \\ dlx & dly & dlz \\ x' & y' & z' \end{pmatrix} = i \cdot (dly \cdot z' - dlz \cdot y') + j \cdot (dlz \cdot x' - z' \cdot dlx) + k \cdot (y' \cdot dlx - x' \cdot dly). \quad (2)$$

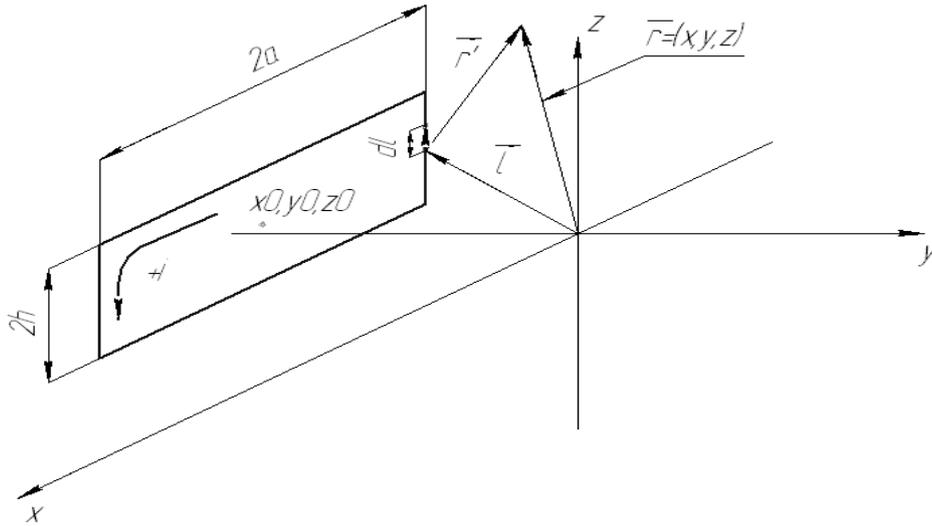


Рис. 2. Магнитное поле рамки с током

В данном случае нас интересует только разгоняющая сила, которая пропорциональна $B_y(x, 0, 0)$ [4].

$$B_y = k \cdot I \cdot \oint \frac{dlz \cdot x' - dlx \cdot z'}{((x')^2 + (y')^2 + (z')^2)^{\frac{3}{2}}}, \quad (3)$$

$$\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}, \quad k = \frac{\mu_0}{4 \cdot \pi} = 10^{-7}.$$

B_y -поле контура перпендикулярного оси Y с центром в точке (x_0, y_0, z_0) в произвольной точке (x, y, z) описывается формулой

$$B_y(x, y, z, I, x_0, y_0, z_0) = k \cdot I \cdot \left[\int_{z_0-h}^{z_0+h} \frac{[x - (x_0 - a)]}{([x - (x_0 - a)]^2 + (y - y_0)^2 + (z - s)^2)^{\frac{3}{2}}} ds - \int_{z_0-h}^{z_0+h} \frac{[x - (x_0 + a)]}{([x - (x_0 + a)]^2 + (y - y_0)^2 + (z - s)^2)^{\frac{3}{2}}} ds - \int_{x_0-a}^{x_0+a} \frac{[z - (z_0 + h)]}{([x - s]^2 + (y - y_0)^2 + [z - (z_0 + h)]^2)^{\frac{3}{2}}} ds - \int_{x_0-a}^{x_0+a} \frac{[z - (z_0 - h)]}{([x - s]^2 + (y - y_0)^2 + [z - (z_0 - h)]^2)^{\frac{3}{2}}} ds \right] \quad (4)$$

Для каждого из первых (и правого и левого) контуров поле на оси X будет описываться выражением:

$$B_y(x, 0, 0, I, 0, dw, 0) = k \cdot I \cdot \left[\int_{-h}^h \frac{x + a}{[(x + a)^2 + dw^2 + s^2]^{\frac{3}{2}}} ds - \int_{-h}^h \frac{(x - a)}{[(x - a)^2 + dw^2 + s^2]^{\frac{3}{2}}} ds - \int_{-a}^a \frac{-h}{[(x - s)^2 + dw^2 + h^2]^{\frac{3}{2}}} ds - \int_{-a}^a \frac{h}{[(x - s)^2 + dw^2 + h^2]^{\frac{3}{2}}} ds \right] \quad (5)$$

При сложении поле удвоится. Теперь рассчитаем B_y для пары контуров одной фазы при заданных параметрах $a = 0,75$ м; $I = 1$ А; $h = 0,25$ м; $dw = 0,2$ м.

$$B(x) := 2 \cdot 10^{-7} \cdot \left[2h \cdot \int_{-a}^a \frac{1}{\left[(x-s)^2 + dw^2 + h^2 \right]^{\frac{3}{2}}} ds + \int_{-h}^h \frac{x+a}{\left[(x+a)^2 + dw^2 + s^2 \right]^{\frac{3}{2}}} ds - \int_{-h}^h \frac{(x-a)}{\left[(x-a)^2 + dw^2 + s^2 \right]^{\frac{3}{2}}} ds \right] \quad (6)$$

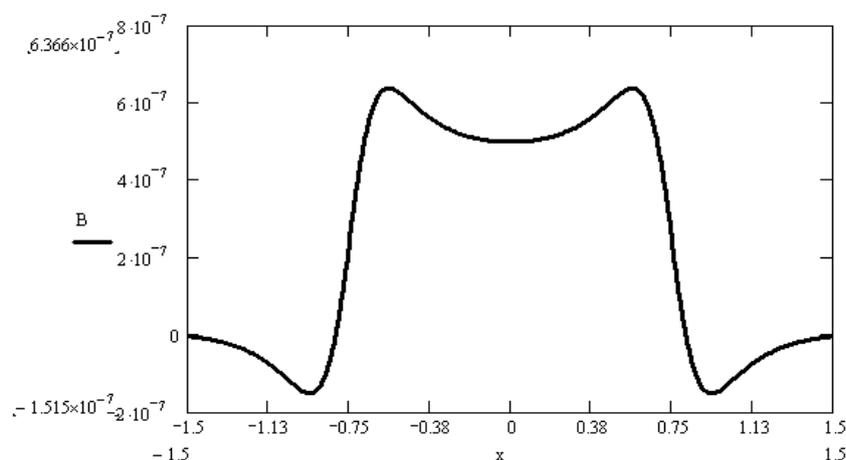


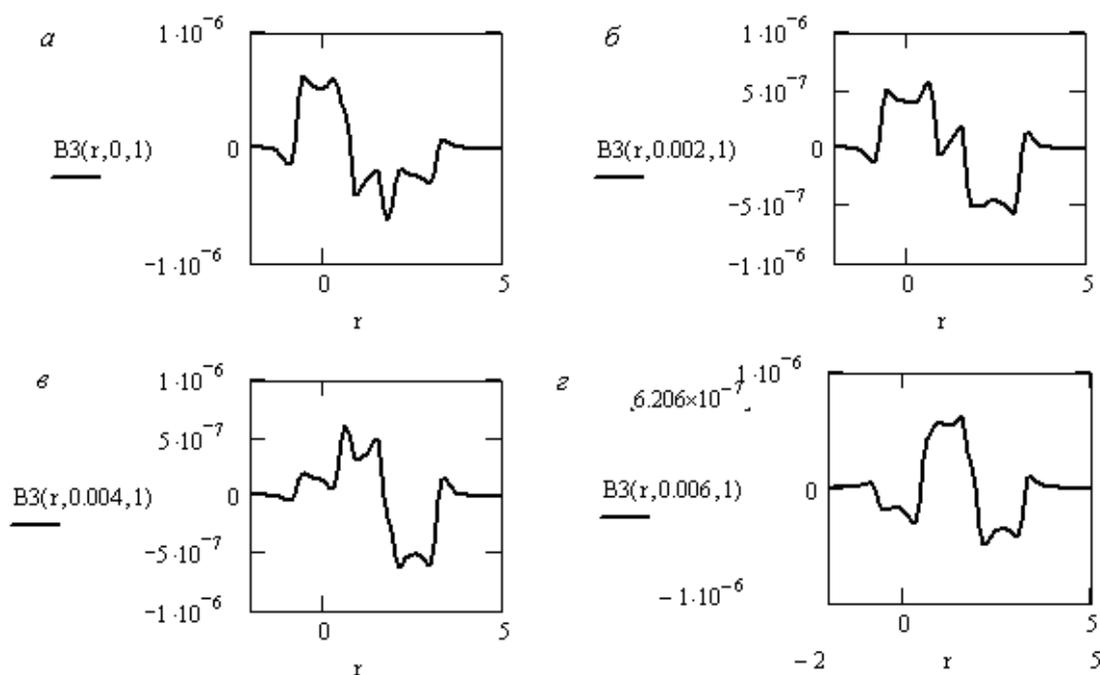
Рис. 3. Магнитная индукция пары противоположных контуров тяги

Теперь рассчитаем поле от трехфазного блока. Известно, что токи в каждой фазе сдвинуты на $\frac{2}{3}\pi$

$$\begin{aligned} i_1(t) &= I_0 \cdot \cos(\omega t) ; \\ i_2(t) &= I_0 \cdot \cos\left(\omega t - \frac{2}{3}\pi\right) ; \\ i_3(t) &= I_0 \cdot \cos\left(\omega t - \frac{4}{3}\pi\right) ; \end{aligned} \quad (7)$$

$$B_3(x, t) = i_1(t) \cdot B(x) + i_2(t) \cdot B(x - (2a - k)) + i_3(t) \cdot B(x - 2(2a - k)) \quad (8)$$

где k – величина наложения контуров; $2a - k$ – смещение контуров (рис. 1).

Рис. 4. Магнитная индукция трехфазного блока в различные моменты времени, с.: а) $t = 0$; б) $t = 0,002$; в) $t = 0,004$; г) $t = 0,006$

Видно, что волна меняет форму в зависимости от времени. Теперь нужно повторить трехфазный блок N раз:

$$\lambda = 3(2a - k);$$

$$N = 10;$$

$$B(x, t) = \sum_{i=0}^N B_3(x - i \cdot \lambda, t). \tag{9}$$

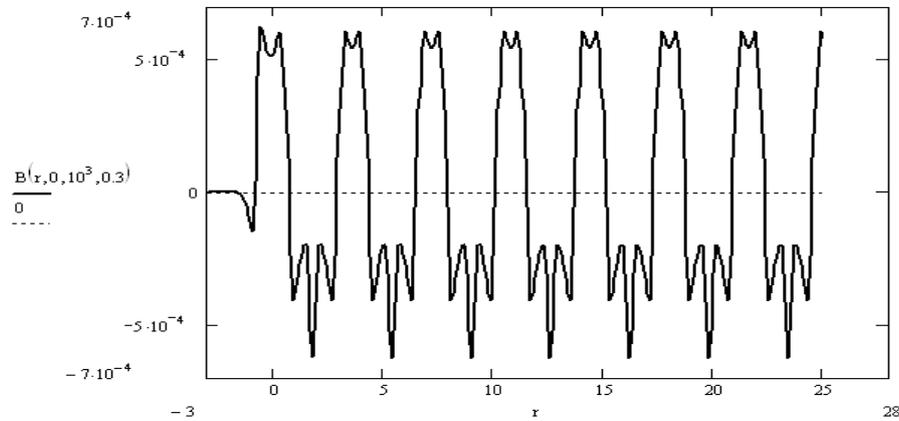


Рис. 5. Магнитная индукция N трехфазных блоков при $dw = 0,2$

При других условиях, например, при увеличении ширины пути, поле на оси пути будет уменьшаться по амплитуде, но вместе с тем по форме стремиться к гармоническому колебанию. Считается, что экономически более эффективно получать бегущую волну магнитного поля по форме близкую к гармоническому колебанию. Это связано с тем, что при отклонении формы от синусоиды возникают вредные гармоники (при разложении полученной кривой в ряд Фурье), которые не выполняют полезной работы, а тратят энергию на потери [5]. Внешне результат напоминает гармоническое колебание. Конечно, сложно получить магнитное поле, изменяющееся по закону синуса или косинуса, но можно получить форму, близкую к таковой. Форма и амплитуда кривой магнитной индукции определяются величиной тока, протекающего по фазным обмоткам статора I_0 и величиной перекрытия контуров статорной обмотки k .

Список литературы

1. Фетисова Н.Г., Буйносов А.П. Определение сил линейного асинхронного двигателя высокоскоростного поезда // Научно-технический вестник Поволжья. 2017. № 4. С. 58-61.
2. Буйносов А.П. Основные причины интенсивного износа бандажей колесных пар подвижного состава и методы их устранения. Екатеринбург: УрГУПС, 2009. 224 с.
3. Буйносов А.П., Умылин И.В. Разработка схемы стабилизации зарядки аккумуляторных батарей на моторвагонном подвижном составе // Вестник транспорта Поволжья. 2016. № 4. С. 36-39.
4. Буйносов А.П., Фетисова Н.Г. Основные принципы создания компьютерной модели экипажной электровагона // Научно-технический вестник Поволжья. 2016. № 2. С. 54-56.
5. Буйносов А.П. Алгоритм построения уравнений трансляционной динамики движения колесной пары в рельсовой колее // Научно-технический вестник Поволжья. 2016. № 3. С. 87-90.

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

05.11.01

¹А.П. Иванова, ²Л.В. Межуева, ³Т.И. Пискарёва

Оренбургский государственный университет,
¹архитектурно-строительный факультет,
кафедра начертательной геометрии, инженерной и компьютерной графики,
²факультет прикладной биотехнологии и инженерии, кафедра пищевой биотехнологии,
³физический факультет, кафедра общей физики,
Оренбург, ivaanastassia27@mail.ru, larisam57@mail.ru, tatjanapickareva@mail.ru

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ
ВИБРОСМЕСИТЕЛЯ****DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-1-78-81**

В работе представлен вибросмеситель, с помощью которого измерены режимные параметры. Результаты измерений представлены с помощью графических зависимостей, анализ которых позволяет выделить оптимальный режим для приготовления смеси нужного качества и уменьшить энергозатраты.

Ключевые слова: *вибросмеситель, амплитуда и частота виброимпульса, удельная мощность вибрации.*

Повышение производительности производства, снижение расходов, улучшения гомогенности однородной смеси и получения желательного содержания биологически активных веществ в конечном продукте необходимо внимательно относиться к смешиванию компонентов, на которое влияет множество факторов, в том числе технологические режимы и оборудование, используемые для получения смеси.

При смешивании в вибросмесителе качество готового продукта зависит от характера потребления и перераспределения механической энергии, передаваемой от рабочей виброактивной поверхности приготавливаемой смеси. В зависимости от этих особенностей формируется конструктивно – технологическая модель взаимосвязей параметров, описывающих элементы конструкции вибросмесителя при приготовлении однородных масс.

Процесс смешивания является динамическим, зависящим от времени, поэтому его изменения отражаются внутренней характеристикой, которая определяет значение выходных величин - параметров эффекта. Функция передачи энергии обрабатываемому материалу, т. е. вибрационный импульс, является "сверткой" наибольшего числа параметров эффекта и выбирается в качестве внутренней характеристики системы.

Эффективность производственного процесса в различных отраслях промышленности во многом зависит от геометрических форм контактных поверхностей, моделирование которых позволяет решать задачу снятия сил трения и сцепления [1].

Для интенсификации процесса смешивания внутри рабочей камеры устанавливается сменная виброактивная поверхность, благодаря которой увеличивается площадь соприкосновения компонентов с рабочими частями смесителя. Результатом этого процесса становится увеличение степени однородности смеси.

Для отражения сущности процесса вибросмешивания в качестве режимных параметров выбирают кинематические перемещения корпуса смесителя – амплитуду (A) и частоту (ω), измерение которых проводят с применением тензорезисторных преобразователей. В этом случае, чтобы получить высокую точность измерений, необходимо применение упругих элементов из материала со стабильной упругой характеристикой.

Нами было разработано приспособление для замера амплитуды колебаний вибрационного смесителя (патент РФ №2230298) [2], позволяющее повысить точность измерения амплитуды колебаний из-за простоты фиксации результатов. Оно содержит (рисунок 1) торообразный корпус смесителя 1, опору смесителя в виде балки 2 с пружиной 3, пластину 4 из пружинной стали с тензорезисторами 5, в которой выполнено отверстие с установленным в нем регулировочным винтом 6, зажимное устройство 7, хомут 8, вибровозбудитель 9, дебалансы 10.

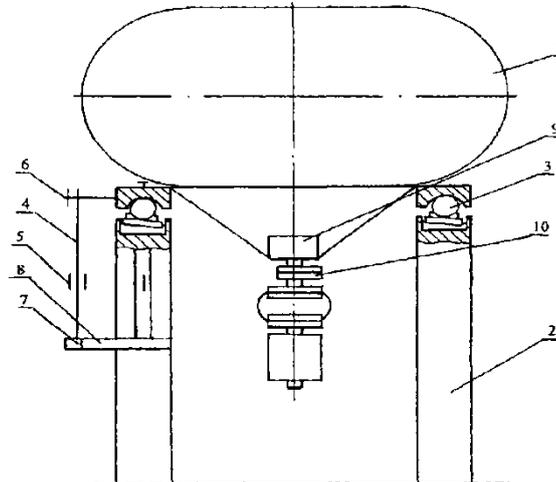


Рис. 1 - Приспособление для замера амплитуды колебаний вибросмесителя по патенту № 2230298

Пружина выполнена в виде телескопической шаровой опоры, а тензорезисторы расположены на расстоянии $\frac{2}{3}l \div \frac{1}{2}l$ от свободного конца пластины, причем размеры ее соответствуют условию $\frac{\delta}{2}l \div \frac{\delta}{3}l$, где δ – толщина пластины, а l – длина пластины.

Приспособление для замера амплитуды колебаний вибрационного смесителя работает следующим образом.

Регулировочный винт 6 находится в контакте с гнездом пружины 3. Хвостовик пластины 4 закреплен в клемме, установленной на хомуте 8, расположенном на опоре смесителя. Для измерения перемещения по трем осям прямоугольной системы координат на опоре смесителя в виде балки 2 расположены три пластины 4.

От привода вибровозбудителя 9 вибрационное воздействие передается торообразному корпусу смесителя 1, который установлен на четырех опорах в виде балки 2. Во время колебаний смесителя гнездо пружины 3 смещается и каждая пластина 4 изгибается. Изгиб регистрируется тензорезисторами 5 и передается на осциллограф, где и фиксируется. Так как пружина 3 выполнена в виде телескопической шаровой опоры, то вибрация торообразного корпуса смесителя 1 происходит плавно, без ударов, приобретая свободу движения в трех плоскостях, что повышает точность измерения амплитуды колебаний.

Амплитуду колебаний, зависящую от статического момента дебалансов 10, регулируют за счет массы дебалансов 10 и угла развода между ними, а частоту колебаний – за счет частоты вынужденных колебаний, вызываемых вращением дебалансов 10.

На рисунке 2 изображена конструктивная схема приспособления для замера амплитуды колебаний вибросмесителя.

Нахождение эффективной амплитуды сводится к определению ее составляющих. Замеры смещения необходимо производить сразу по трем осям координат. Приспособление содержит тензометрическую балочку в виде пластины постоянного поперечного сечения из пружинной стали, в которой выполнено технологическое отверстие для регулировочного винта, фиксируемого гайками. С обеих сторон пластины, симметрично наклеены два тензорезистора (2ПКБ 10.100 В ТУ 25-06-1382-78) номинальным сопротивлением 100 Ом. Регулировочный винт находится в контакте с гнездом пружины. Хвостовик пластины,

закреплен в клемме 6, установленной на хомуте, расположенном на опоре смесителя. Для измерения перемещения по трем осям прямоугольной системы координат на опоре расположены три тензометрические балочки.

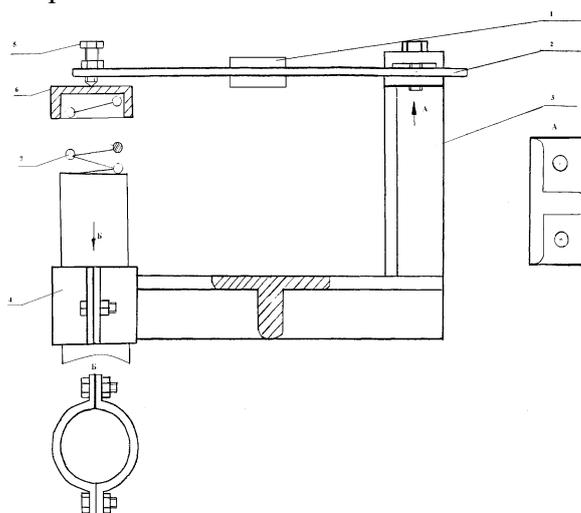


Рис. 2 - Конструктивная схема приспособления для замера амплитуды колебаний смесителя вибрационного действия

Отсчет и регистрация величин сигналов, пропорциональных оказанному воздействию на тензорезисторы, осуществляется с помощью регистрирующих приборов, подключенных к выходу усилителя 8АНЧ-7М. Измерение номинала тензодатчиков произведено на приборе типа МО-62.

Принцип действия данного приспособления заключается в следующем. При смещении гнезда пружины, в заданном направлении каждая тензометрическая балочка изгибается. Значения этих изгибов непрерывно регистрируются тензорезисторами и передаются через тензометрический усилитель на осциллограф. Фиксировались смещения в радиальном направлении от центра масс смесителя, в тангенциальном и в вертикальном направлении. Эффективной амплитудой колебаний в точке замера является максимальное значение результирующего смещения по трем осям.

Результаты измерений записывались на одной опоре по трем каналам тензометрического усилителя. Имея диаграмму смещения гнезда опоры за период колебаний, можно построить диаграмму смещения любой точки корпуса смесителя. Для определения действительной величины смещения строили тарировочный график (рисунок 3).

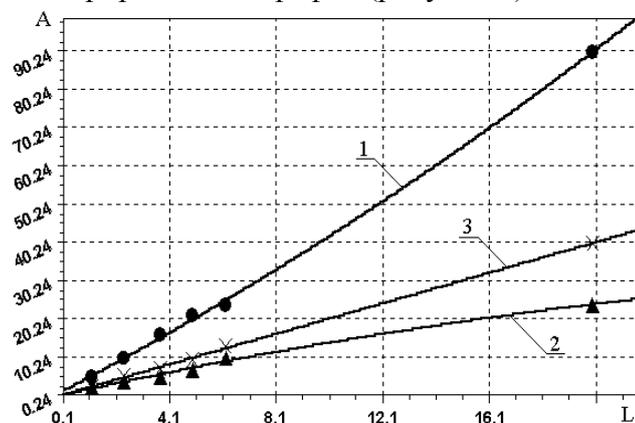


Рис. 3 - Тарировочный график. 1-ось X, 2-ось Y, 3-ось Z

Результаты обработки полученных осциллограмм позволяют определять амплитуду колебаний вибросмесителя по всем осевым направлениям, что дает возможность описывать кинематические параметры процесса смещения и устанавливать их корреляцию с достигаемым критерием однородности.

Определение угловой частоты рассчитывали по формуле:

$$\omega = 2\pi\nu \text{ (с}^{-1}\text{)}, \quad (1)$$

где $\nu = \frac{1}{T}$ - частота колебаний, T- период колебаний,

Величина коэффициента динамичности характеризует момент отрыва частиц от виброактивной поверхности, то есть если $A \omega^2$ больше ускорения свободного падения g, то начинается процесс виброкипения, поэтому он является характеристикой режима работы вибросмесителя.

$$K_y = \frac{A * \omega^2}{g} \quad (2)$$

Удельная мощность вибрации, определяется по формуле:

$$I = A^2 \omega^3 \text{ (м}^2 \text{ с}^{-3}\text{)}. \quad (3)$$

Характер изменения мощности, расходуемой на смешивание, от амплитуды колебаний вибросмесителя при различной загрузке четко прослеживается из графической зависимости на рисунке 4, где наблюдается с увеличением амплитуды колебаний смесителя уменьшение мощности, расходуемой на смешивание. Это объясняется тем, что величина вибрационного импульса, увеличивающаяся с амплитудой колебаний, интенсифицирует процесс смешивания, что влечет за собой уменьшение мощности, расходуемой на смешивание. Таким образом, при массе загрузки смесителя 3,3 кг, когда величина амплитуды наибольшая, мощность, расходуемая на смешивание, наименьшая [3].

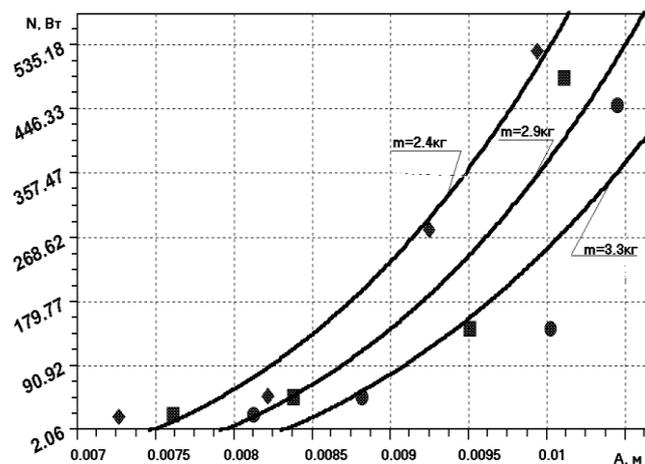


Рис. 4 - Влияние амплитуды колебаний A вибросмесителя при различной загрузке на изменение мощности N, расходуемой на смешивание

Однако процесс приготовления смесей ведется на различных амплитудно-частотных режимах, поэтому, чем интенсивнее протекает процесс, тем короче он по длительности, но при этом энергоёмкость его выше (рисунок 4). Выделение оптимальных режимов позволяет не только приготовить смесь нужного качества, но и экономить энергоресурс.

Список литературы

1. Иванова А.П. Надёжность как фактор проектируемой системы./ Иванова А.П. [и др.] // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – Оренбург, 2016. – № 4 (60). – С. 77-79.
2. Иванова А.П., Межуева Л.В., Припадчев А.Д., Огородников П.И., Васильева М.А. Патент №2230298 Российской Федерации. Приспособление для замера амплитуды колебаний вибрационного смесителя. /Бюл. №16 от 10.06.2004г.
3. Иванова, А.П. Инженерная геометрия в проектировании смесителей./ Иванова А.П. [и др.] // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2010. – № 10. – С. 138 – 140.

05.11.00

Г.Э. Лазаренко, Д.Г. Лазаренко

Обнинский институт атомной энергетики – филиал ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» (ИАТЭ НИЯУ МИФИ),
Обнинск, gelazarenko2016@yandex.ru

ТЕРМОСТАТИРУЮЩИЕ БУФЕРЫ РЭА НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ АККУМУЛЯТОРОВ ПЛАВЛЕНИЯ

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-1-82-85

Представлены результаты работ по созданию технологии производства изделий – термических буферов, встраиваемых между радиаторами и полупроводниковыми элементами радиоэлектронной аппаратуры (РЭА). Термические буферы предлагается создавать на основе тепловых аккумуляторов плавления с энергоемким веществом – металлическим сплавом с низкой температурой плавления. Практическим результатом является улучшение согласования тепловой мощности элемента РЭА и радиатора, что приводит к повышению надежности и продлению срока службы.

Ключевые слова: *тепловой аккумулятор, плавящееся вещество, РЭА.*

В тепловом процессе всегда можно выделить три элемента: источник, поглотитель и канал транспорта. Каждый из них может обладать свойством аккумуляции тепловой энергии за счет теплоемкости и/или теплоты фазового перехода. Тем не менее, тепловыми аккумуляторами (ТА) принято называть устройства, специально предназначенные для приема, хранения и отдачи тепла. Введение ТА в тепловые системы повышает их гибкость, обеспечивая работоспособность при временном рассогласовании тепловых мощностей источника и поглотителя. Применение плавящегося вещества (ПВ) как энергоемкого материала в тепловых аккумуляторах плавления (ТАП) позволяет стабилизировать температуру относительно точки плавления ПВ, что открывает дополнительные возможности по применению ТАП в системах обеспечения теплового режима устройств с узким диапазоном рабочих температур, например – радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) [1].

Основные направления работ по ТАП – выбор ПВ и создание оптимальных для конкретных условий теплопереноса конструкций. В работе [2] было выполнено исследование 20 тыс. материалов – кандидатов в ПВ. Условно в диапазоне умеренных температур ПВ можно разделить на 3 группы: органические вещества, водосодержащие (вода, рассолы и кристаллогидраты) и металлы. Под эффективностью ПВ будем понимать величину, обратно пропорциональную темпу роста температуры смоченной расплавом обогреваемой стенки ТАП. Она определяется размерным комплексом:

$$K_{ПВ} = \rho \cdot r \cdot \lambda ,$$

где ρ – плотность, r – теплота плавления, λ – теплопроводность расплава ПВ.

Для трех указанных выше групп ПВ $K_{ПВ}$ составляет 10^7 , 10^8 и 10^{10} соответственно, из чего следует, что металлические ПВ наиболее перспективны для ТАП в системах обеспечения теплового режима [3, 4].

Как уже отмечалось, ТАП находят применение при наличии временного рассогласования тепловой мощности в элементах теплового тракта. Для обеспечения теплового режима мощных электронных приборов с радиаторами воздушного охлаждения были разработаны термостатирующие буферы, содержащие ТАП на основе сплава с низкой температурой плавления, рис.1. Варианты размещения ТАП представлены на рис.2. В качестве ПВ использованы легкоплавкие сплавы с температурами плавления от 80°C до 126°C, размещенные в межреберном пространстве. Выбор металлического ПВ определяется

высокой плотностью металлов, что обеспечивает максимальную теплоемкость ТАП при заданном объеме. Ребра изделия выполнены из меди. Порозность реберной структуры – 0,5. Энергоемкость ТАП определяется объемом ПВ и для ТАП с габаритами Ø 20x5 мм составляет примерно 0,4 кДж.

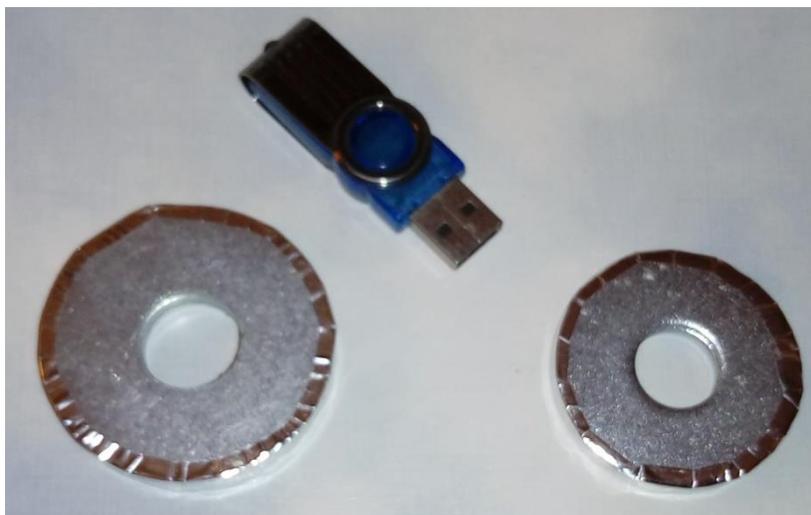


Рис. 1 – Внешний вид опытных образцов термостатирующих буферов на основе технологии аккумуляторов плавления

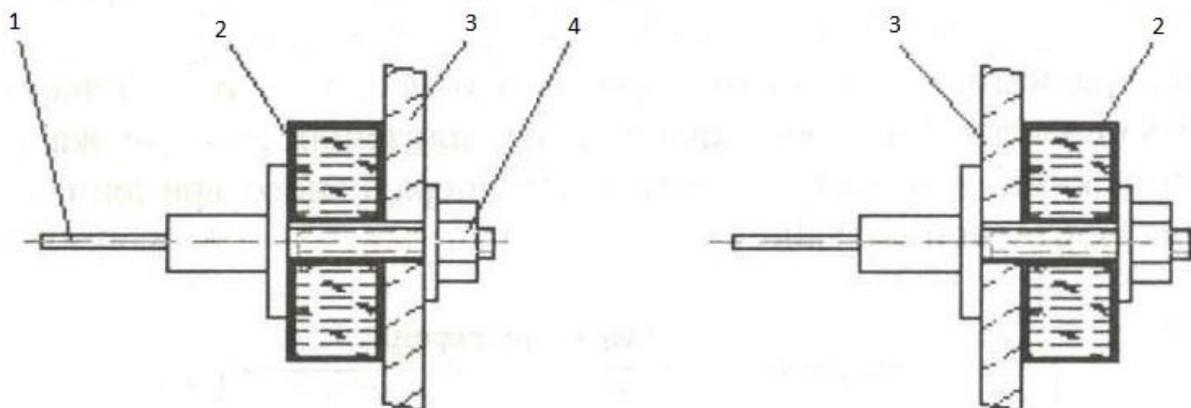


Рис. 2 – Варианты размещения ТАП: 1 – охлаждаемый прибор; 2 – ТАП; 3 – радиатор; 4 – крепеж

Рассмотрим ситуации, при которых наличие ТАП дает положительный эффект:

- работа прибора в режиме повторно-кратковременного включения;
- работа прибора в аварийном режиме с перегрузкой;
- отсутствие теплоотвода от радиатора.

В первой ситуации для охлаждения прибора с пиковой тепловой мощностью можно использовать радиатор, рассчитанный на усредненную по времени мощность прибора. При этом установленная тепловая мощность определяется следующим выражением

$$Q_{Cp} = Q_{Pmax} \cdot t_P / (t_P - t_{II}),$$

где Q_{Pmax} – пиковая тепловая мощность, t_P – температура радиатора, t_{II} – температура прибора. Тепловые режимы прибора и радиатора представлены на рис.3.

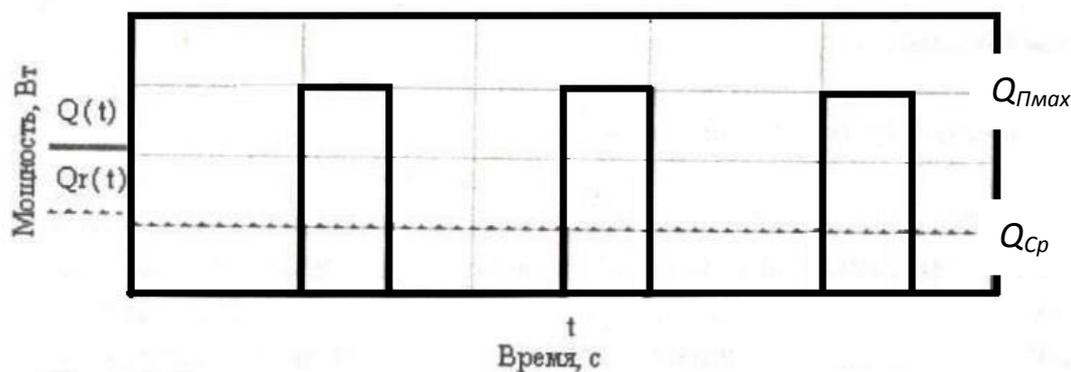


Рис. 3 – Тепловые мощности, рассеиваемые прибором и радиатором

Т.к. удельная мощность у ТАП (Вт/кг) много больше, чем у радиатора, применение ТАП обеспечивает значительное улучшение массогабаритных характеристик.

Во второй ситуации введение в тепловую цепь ТАП обеспечивает временную стабилизацию температуры прибора. Ход температуры при линейном росте мощности, выделяемой на приборе, схематически показан на рис.4. Поскольку теплоотвод от радиатора не нарушен, ТАП принимает только тепло, избыточное относительно мощности, рассеянной радиатором, поэтому даже при относительно небольшой тепловой мощности ТАП обеспечивается длительное поддержание теплового режима, что обеспечивает запас оперативного времени Δt для устранения нештатной ситуации.

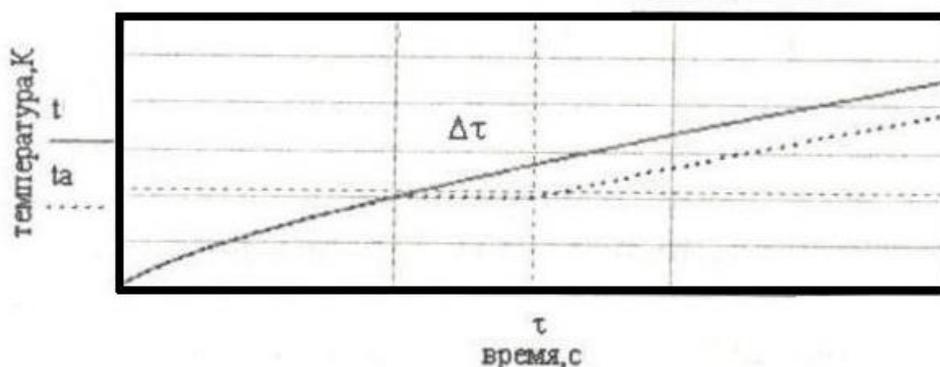


Рис. 4 – Ход температуры прибора при линейном росте тепловыделения

В третьей ситуации теплоотвод от радиатора сокращается или полностью прекращается. Такая ситуация реализуется при прекращении принудительной вентиляции или при пожаре в блоке с приборами. Хотя бы непродолжительное поддержание теплового режима приборов для введения аварийных мероприятий может быть сохранено только при наличии ТАП. Продолжительность обеспечения теплового режима при этом определяется только емкостью ТАП.

В заключении сформулируем основные выводы. Введение в тепловую цепь между охлаждаемым прибором и радиатором ТАП позволяет в ряде случаев улучшить массогабаритные характеристики, и практически всегда – увеличить надежность и создать оперативный запас времени при аварийных ситуациях.

Выполненный комплекс работ показал возможность обеспечения теплового режима приборов с плотностью теплового потока на их поверхности порядка 10^5 Вт/м² при прямом тепловом контакте с ТАП. Применение легкоплавких металлов и их сплавов обеспечивает максимальную эффективность ТАП контейнерного типа.

Использование ТАП для обеспечения тепловых режимов радиоэлектронных приборов позволяет существенно снизить материалоемкость радиаторов и повысить живучесть радиоэлектронной аппаратуры.

Список литературы

1. *Алексеев В.А.* Охлаждение радиоэлектронной аппаратуры с использованием плавящихся веществ. – М.: Энергия, 1975. – 88 с.
2. *Lane G.A.* Low Temperature Heat Storage with Phase Change Materials // *Int. J. Ambient Energy.* –1980. –№3. –Р. 155-168.
3. *Свириденко И.П., Лазаренко Г.Э.* Использование тепловых аккумуляторов плавления для термостатирования энергонапряженных объектов // Сборник научных докладов II Международного совещания по использованию энергоаккумулирующих веществ в экологии, машиностроении, энергетике, транспорте и в космосе. – М.: ИМАШ РАН. – 2001. – С. 35-40.
4. *Лазаренко Г.Э.* Применимость тепловых аккумуляторов плавления для обеспечения теплового режима установок // Сборник научных докладов III Международного совещания по использованию энергоаккумулирующих веществ в экологии, машиностроении, энергетике, транспорте и в космосе. – М.: ИМАШ РАН. – 2002. – С. 404-411.

05.11.00

Ж.Г. Могилюк, М.С. Хлыстунов

Московский государственный строительный университет,
Центр фундаментальных и прикладных исследований надежности строительных объектов,
кафедра прикладной механики и математики,
Москва, mcxmgusu@mail.ru

ВЕРОЯТНОСТНАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ДОСТОВЕРНОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ ТЕХНОСФЕРЫ

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-1-86-89

В работе представлены материалы анализа достоверности результатов исследований причинно-следственных связей снижения надежности и безопасности строительных конструкций объектов техносферы. Рассмотрены алгоритмы оценки рисков получения недостоверных данных о параметрах процессов физического износа конструкций и технического состояния объектов.

Ключевые слова: *строительные конструкции, надежность, исследование технического состояния, достоверность результатов исследований.*

1. Введение

Цели и задачи детальных натурных исследований надежности и безопасности объектов техносферы существенно отличаются от формального порядка проведения обследований их технического состояния в соответствии с требованиями нормативно-технической (НТД) и проектной (ПД) документации.

При обследованиях по необоснованному умолчанию принимается, что при точном исполнении требований НТД и ПД гарантирована требуемая достоверности результатов обследований.

В известных авторам материалах нескольких тысяч обследований надежности и безопасности объектов техносферы отсутствует принципиально важный раздел, а, именно, раздел подтверждающий, что использованный обследователями инструментарий (методы, методики, оборудование и аппаратура) обеспечивает риски получения недостоверных результатов обследований, не превышающие допустимые нормативными документами риски аварий обследуемых объектов. Например, для строительных объектов повышенной ответственности риски аварий в течение гарантийного срока их эксплуатации не должны превышать значений порядка 10^{-6} .

В связи с этим первейшей задачей исследователей является разработка такого инструментария исследования, который гарантирует получение результатов с недостоверностью не более, чем допустимые нормативные значения рисков аварий на исследуемых объектах.

2. Риски снижения достоверности результатов

Для оценки вероятности получения неприемлемой недостоверности и неопределенности в результатах исследования и последующего виртуального моделирования необходимо учитывать следующие риски.

1. Снижение метрологической достоверности и математической достаточности применяемых методов и методик, схем, алгоритмов и аппаратуры исследований [1]. Риск - R_1 .

2. Недостаточность для последующего расчетного моделирования и интерпретации перечня выявленных при обследовании источников, причинно-следственных связей и механизмов износа [2]. Риск – R_2 .

3. Недостаточность данных, полученных при исследовании, по интенсивности, скорости и

вектору эволюции параметров безопасности [3], в течение жизненного цикла объекта. Риск – R_3 .

4. Недостаточность выявленного и верифицированного перечня нагрузок и воздействий, являющихся, в том числе, причиной реализации плавных отказов строительной конструкции и систем типа «объект-основание» [2]. Риск – R_4 .

5. Локальные нарушения сходимости результатов исследования и расчетного моделирования [4]. Риск – R_5 .

6. Наличие сингулярностей в алгоритмах расчетного моделирования [5]. Риск – R_6 .

7. Общие и локальные нарушения математической и метрологической корректности выбора численного метода моделирования [5]. Риск – R_7 .

8. Недостаточность перечня и параметров требований в нормативно-технической документации [6]. Риск – R_8 .

9. Риск некорректной интерпретации промежуточных и конечных результатов исследования [7]. Риск – R_9 .

10. Несоответствие аттестованного уровня профессиональной компетентности ведущих специалистов-исполнителей реальным условиям, целям и задачам натуральных и модельных исследований. Риск – R_{10} .

11. Отсутствие необходимой и достаточной детализации заданий и задач администрирования исследований по обеспечению и контролю необходимого качества натуральных исследований и виртуального моделирования. Риск – R_{11} .

3. Оценка рисков получения недостоверных результатов.

Для оценки суммарного риска получения недостоверных результатов исследований, например, по развитию предаварийных процессов, а также недостоверных данных о параметрах эволюции надежности и безопасности объекта используем вероятности реализации следующих типов постулируемых исходных событий, снижающих достоверность результатов исследований.

1. Несовместные события, которые не могут произойти в ходе исследования одновременно, а риск их реализации R_{0nc} , в целом по объекту, будет равна сумме вероятностей реализаций P_I каждого из них

$$R_{0nc} = \sum_{I=1}^N P_I, \quad (1)$$

где I – индекс риска (события) согласно вышеприведенному перечню, число которых равно $N=11$. Для попарных реализаций этих рисков может также использоваться индекс J .

2. Независимые события, вероятность реализации любого из них P_I или P_J остается неизменной не зависимо от того, произошло или нет другое событие. Риск их реализации R_{0nz} , в целом по объекту, будет, например, в случае несовместных парных реализаций, равен

$$R_{0nz} = \sum_{I=1}^N \sum_{J=1}^N P_I \cdot P_J, \text{ где } I \neq J. \quad (2)$$

3. Зависимые события, вероятность реализации любого из них зависит от реализации другого события. Риск их реализации R_{0zc} , в целом по исследованию, в случае несовместных парных реализаций, будет равен

$$R_{0zc} = \sum_{I=1}^N \sum_{J=1}^N P_I \cdot P_{J|I}, \quad (3)$$

где $I \neq J$, а $P_{J|I}$ – вероятность события P_J при условии, что событие P_I уже произошло.

6. Совместные события, реализации которых происходит совместно, например, попарно.

Риск их реализации R_{0zc} , в целом по исследованию, например, в случае несовместных парных реализаций, будет равен

$$R_{0cc} = \sum_{I=1}^N \sum_{J=1}^N P_I + P_J - P_I \cdot P_J. \quad (4)$$

Если возможны совместные и/или зависимые реализации целой цепочки (больше двух событий) различных типов рисков, то тогда формулы (3) и (4) будут несколько сложнее, сохраняя, при этом, заложенные в них принципы и алгоритмы расчетов.

В наиболее простом случае, когда риски событий (1-4) можно считать несовместными, общая вероятность риска получения недостоверных результатов исследований технического состояния объекта будет равна

$$R_0 = R_{0nc} + R_{0nz} + R_{0zc} + R_{0cc}. \quad (5)$$

Если типовые события независимы, то тогда общая вероятность риска получения недостоверных результатов исследований технического состояния объекта будет равна произведению

$$R_0 = R_{0nc} \cdot R_{0nz} \cdot R_{0zc} \cdot R_{0cc}. \quad (6)$$

В реальных ситуациях натуральных и виртуальных исследований и на конкретных объектах техносферы одновременно могут присутствовать совместные и несовместные, зависимые и независимые события.

В этом случае общая вероятность риска получения недостоверных результатов исследований технического состояния объекта будет существенно отличаться от формулы (6) и может быть определена, в простейшем случае (не более 2 зависимых событий), по формуле:

$$R_0 = \left[\sum_{I=1}^S \sum_{J=1}^S P_I + P_J - P_I \cdot P_J \right] + \left[\sum_{I=1}^{Ns} P_I \right] + \left[\sum_{I=1}^Z \sum_{J=1}^Z P_I \cdot P_{J/I} \right] + \left[\sum_{I=1}^{Nz} \sum_{J=1}^{Nz} P_I \cdot P_J \right],$$

где S , Ns , Z , Nz – соответственно, число совместных и несовместных, зависимых и независимых событий нарушения достоверности результатов натуральных и виртуальных исследований или обследований технического состояния объекта.

Согласно объективной оценке [1] риска получения недостоверных результатов исследований (обследований) и мониторинга технического состояния объектов R_0 только по одному элементу конструкции (балка) и по одному типу независимых и несовместных событий R_I величина этого риска, в лучшем случае, была не менее 34%, то есть неприемлемо высокой.

Она существенно превышала нормативно допустимый риск прогрессирующего обрушения или катастрофической аварии R_a на объекте: $0,34 \gg R_a = 10^{-4} \div 10^{-6}$.

При этом методика обследований и расчеты рисков в работе [1] строго соответствовали требованиям и рекомендациям действующей нормативно-технической документации.

4. Заключение.

Учитывая вышеизложенное, можно прийти к выводу, что существенное повышение достоверности в результатах исследований позволит не только установить (открыть) малоизученные и неизвестные ранее закономерности и причинно-следственные связи физического износа конструкций, но также повысить безопасность эксплуатации объектов техносферы.

Представленный подход к оценке рисков показывает существенное отличие классических методов постановки научных исследований от типовых инженерных инструментальных обследований, когда по умолчанию в нормативных требованиях и в образовательных программах подразумевается, что не учитываемые риски пренебрежимо малы и, как следствие, не подлежат обязательной верификации.

Следует также учитывать, что действующие нормативные документы являются рамочными рекомендациями, в которые не могут быть помещены все необходимые знания, навыки, умения и компетенции профильных специалистов согласно программам профессионального образования. По этой причине в НТД не даются гарантии, что при их формальном исполнении риск недостоверности результатов исследования будет ниже допустимого риска аварий на обследуемых объектах.

В связи с этим в образовательные программы по направлениям: «Техносферная безопасность», «Промышленная безопасность», «Безопасность жизнедеятельности», «Экологическая безопасность» и «Строительство», а также в соответствующую нормативно-техническую документацию целесообразно включить обязательные требования по оценке рисков внесения неопределенности или получения низкой достоверности, как при обследовании, так и при проектировании зданий и сооружений, которые являются важными направлениями инженерной деятельности.

Список литературы

1. *Khlystunov M.S., Poduval'tzev V.V., Mogiljuk Zh.G.* Spectral Problems in the Monitoring of Distributed Safety Parameters of Objects in the Technosphere // *Measurement Techniques*, Vol. 59, No. 5, August, 2016, pp.505-511.
2. *Могилюк Ж.Г., Хлыстунов М.С.* Микровибродинамические процессы формирования сверхпроектных нагрузок на строительные конструкции. Научная монография -М.: Изд. МИСИ-МГСУ, 2013, 218 с.
3. *Хлыстунов М.С.* Метрологические проблемы реализации нормативных требований к динамическим обследованиям зданий и сооружений // *Промышленное и гражданское строительство*. 2013. № 9. с. 52-55.
4. *Подувальцев В.В., Хлыстунов М.С., Могилюк Ж.Г.* Исследование адекватности цифровых технологий мониторинга безопасности объектов техносферы // *Безопасность в техносфере*. т. 3, № 2, 2014, с. 14-17.
5. *Hlystunov M.S., Prokop`ev V.I., Mogiljuk Zh.G.* The computer modeling problems of the impact stability and security in structural mechanics // *Procedia Engineering*, 2015, №111 (2015) pp.672 – 678
6. *Подувальцев В.В., Хлыстунов М.С., Могилюк Ж.Г.* Проблемы безопасности и нормативное обеспечение контроля векторных динамических параметров объектов техносферы // *Безопасность в техносфере*. 2013. Т. 2. № 6 (45). С. 33-37.
7. *Prokop`ev V.I., Hlystunov M.S., Mogiljuk Zh.G.* The numerical models spectral phantoms in solid mechanics // *Procedia Engineering*, 2015, №111 (2015) pp.297 – 301

05.11.06

П.В. Писарев, Д.А. Ермаков, Ю.С. Кирова, О.А. Кашин

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
аэрокосмический факультет,
кафедра механики композиционных материалов и конструкций,
Пермь, Россия, pisarev85@live.ru

ЧИСЛЕННЫЙ РАСЧЕТ ВИБРАЦИЙ ЛОПАТОК ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА НАГРУЖЕННЫХ ПОТОКОМ ЖИДКОСТИ

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-1-90-93

При разработке центробежных насосов одной из основных является задача по расчету вибраций лопаток рабочих колес. Известно, что вибрации могут приводить к снижению рабочих характеристик и, в некоторых случаях, к разрушению элементов конструкции, вследствие высокого уровня динамических напряжений, вызванных неравномерностью потока жидкости. В связи с этим, разработка методики расчета вибраций лопаток является актуальной задачей. Для решения поставленной задачи был проведен ряд вычислительных экспериментов по расчету гидродинамических и прочностных характеристик модельного центробежного насоса в связанной постановке Fluid-Structure Interaction.

Ключевые слова: *центробежные насосы ТНА, гидроупругость, численное моделирование, FSI, НДС лопаток, вибрации, ANSYS.*

В настоящее время центробежные насосы высокого давления являются наиболее распространенным типом насосного оборудования и используются во многих отраслях промышленности [1]. Например, для транспортировки воды, перекачки вязких жидкостей в магистральных трубопроводах, агрессивных жидкостей в авиационной и космической технике, а также для перекачивания жидкостей различной плотности в технологических и производственных процессах (рисунок 1).



Рис. 1 – Центробежные насосы: а – центробежный насос в составе ТНА РД-120, б – нефтяной центробежный насос

Несмотря на широкую распространенность и высокую степень изучения процессов, протекающих в центробежных насосах, конструкторы и инженеры достаточно часто сталкиваются с проблемами возникающими в ходе их эксплуатации. Наиболее распространенные – это повышенный шум, вибрации лопаток рабочих колес и корпуса центробежного насоса, срыв напора. Все это может быть вызвано множеством факторов: отклонениями в размерах машины при ее изготовлении; увеличение потерь в лабиринтных уплотнениях, возникающих из-за увеличения зазоров в уплотнительных кольцах сверх нормативных; увеличение уровня вибрации насоса в результате некачественной сборки,

монтажа, возникающих дефектов или кавитации в насосе; изменение диаметра рабочего колеса, погрешности при проведении балансировочных работ; смещение выходных кромок половинок рабочих колес относительно друг друга, неравенство щелевых зазоров уплотнения колеса; влияние вязкости рабочей жидкости; содержание газа в рабочей жидкости; изменение давления на входе и другие [2].

В связи с выше сказанным, разработка методики расчёта вибрации лопаток, нагруженных динамическим потоком жидкости, с использованием современных пакетов прикладных инженерных программ, является актуальной задачей.

Проточный тракт исследуемого центробежного насоса ступени имеет один вход и один выход. На боковой поверхности рисунок 2 а модели расположен кольцевой осевой вход. Рабочее колесо, представляет из себя твердое тело. Геометрическая модель построена с учетом тангенциального расположения выхода. Учитывалось геометрическое расширение отвода. Твёрдотельная модель для данной задачи была построена в инженерном пакете *Solid Works*. Для проведения вычислительного эксперимента в связанной постановке, было необходимо построить геометрическую модель, состоящую из двух регионов [3]:

1) жидкостной регион рисунок 2 а, представляет собой проточный тракт центробежного насоса;

2) твердотельный регион, представляет собой рабочее колесо, которое помещено в проточный тракт насоса соосно.



Рис. 2 – Граничные условия: а – жидкостной регион: 1 – свободный вход-выход давление на входе 3 атм., 2 – выход, 3 – скорость вращения рабочих колес 4500 об/мин., б – передаваемая нагрузка на лопатку: А – консольное закрепление по нижней кромке, В – передаваемая через *FSI* интерфейс нагрузка из гидродинамического расчета.

Для улучшения сходимости расчета и снижения погрешностей получаемых результатов создавалась расчетная сетка, элементы которой имеют равномерную призматическую форму [4,5]. Учитывалось, что численный эксперимент считается сошедшимся, в том случае, когда результат численного моделирования не изменяется при дальнейшем измельчении конечно элементной сетки. При построении расчетной сетки адаптации проводились в областях высоких градиентов переменных. Количество элементов расчетной сетки составило 35 млн.

При описании граничных условий учитывалось, что рабочее колесо - 3 (рисунок 2 а) насоса жестко закреплено на валу, их его вращение происходит с заданной частотой:

$$\omega = 2\pi z f_r, \quad (1)$$

где z – количество лопаток крыльчатки; $f_r = 75$ Гц – частота вращения ротора.

В качестве нагрузок для конструкционного анализа использовались нагрузки из гидродинамического расчета, импортированные через интерфейс взаимодействия двух сред [6]. По результатам вычислительных экспериментов получены поля распределения давления и скоростей (рисунок 3). Определены нагрузки для конструкционного анализа. Проведен линейный статический анализ в связанной постановке. Определены напряжения и перемещения лопатки рабочего колеса центробежного насоса.

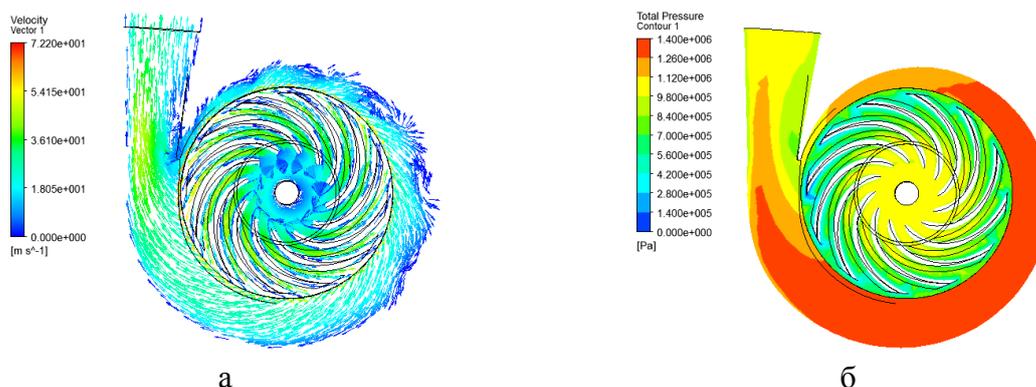


Рис. 3 – Результаты гидродинамического расчета: а – вектора скоростей; б – распределение полного давления

В рамках вычислительных экспериментов был проведен модальный анализ, в ходе которого определены формы и частоты собственных колебаний при частоте вращения ротора $n=0$ и $n=4500$ об/мин., нагруженного потоком жидкости. Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты модального анализа

№ частоты	Частота колебаний при $n=0$ об/мин, Гц	Частота колебаний при $n=450$ об/мин, Гц
1	557,67	583
2	1844,5	1860
3	5226,6	5347,3
4	6871,4	6871,1
5	8849,9	8892,7
6	8961,7	8975

Форма собственных колебаний лопаток – изгибно-крутильная, лопатки совершают колебательные движения по периодическому закону. Максимальная амплитуда колебаний наблюдается при частоте вращения ротора $n=4500$ об/мин. и составляет 1.7 мм. Определены напряжения и перемещения лопаток рабочего колеса центробежного насоса. Максимальные значения эквивалентных напряжений выявлены по первой изгибной форме и составляют приблизительно 50 МПа и по первой крутильной форме приблизительно 19 МПа.

Полученные результаты по перемещениям и напряжениям, возникающим в лопатках рабочего колеса центробежного насоса, не превышают допустимых значений для данного класса изделий. При повышении частоты вращения ротора наблюдается увеличение амплитуды колебаний давления в проточном тракте и на лопатках рабочего колеса центробежного насоса, что, в свою очередь, приводит к увеличению максимальных напряжений и перемещений возникающих в лопатках. Резонансных эффектов в исследуемом диапазоне частот выявлено не было.

По результатам исследований разработана методика расчета вибраций лопаток рабочего колеса центробежного насоса нагруженного динамическим потоком жидкости в связанной постановке.

Работа выполнена при финансовой поддержке государственного задания № 9.7955.2017/9.10.

Список литературы

1. Писарев П.В., Модорский В.Я., Щенятский Д.В., Арбузов И.А., Бульбович Р.В., Кириевский Б.Е., Ташкинов А.А. Численное моделирование колебательных процессов в центробежном насосе // Научно-технический вестник Поволжья. – 2012. – № 3. – С. 44-49.
2. Писарев П.В., Модорский В.Я., Зимин Д.В. Особенности разработки параллельных приложений по расчету газодинамических характеристик энергетических установок на ВВК ПГТУ // XII Всероссийская научно техническая конференция «Аэрокосмическая техника, высокие технологии и инновации-2009» – 2009. – С.226-228.
3. Писарев П.В., Модорский В.Я. Численный анализ динамического напряженно-деформированного состояния конечномерного цилиндра, нагруженного гидродинамическим потоком жидкости // Механика микронеоднородных материалов и разрушение: тезисы докладов VI Всероссийской конф. Екатеринбург, 24 – 28 мая 2010. – ИМАШ УрО РАН, 2010. – С. 41-41.
4. Туснин А.В., Шаламов С.А., Августиневич В.Г. Методика построения конечно-элементной сеточной модели на примере камеры сгорания газотурбинного двигателя // Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника. – 2013. – №35. – С.31-48.
5. Писарев П.В., Модорский В.Я., Соколкин Ю.В. Решение междисциплинарных задач на примере взаимодействия струи горячего газа с металлической преградой // Механика и процессы управления, Том 1., – Материалы XXXXI Всероссийского симпозиума. – М.: РАН, 2011. – С. 123-126.
6. Писарев П.В., Зимин Д.В., Модорский В.Я., Соколкин Ю.В. Численное моделирование взаимодействия в динамической системе «газ-конструкция» // Механика и процессы управления, Том 1., – Материалы XXXXI Всероссийского симпозиума. – М.: РАН, 2011. – С. 127-130.

05.11.06

П.В. Писарев, Е.Н. Шустова, А.Н. Аношкин, К.А. Максимова

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
аэрокосмический факультет,
кафедра механики композиционных материалов и конструкций,
Пермь, Россия, pisarev85@live.ru

ЧИСЛЕННЫЙ РАСЧЕТ АКУСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИЗМАТИЧЕСКИХ РЕЗОНАТОРОВ ГЕЛЬМГОЛЬЦА

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-1-94-97

В рамках данной работы проводится исследование влияния диаметра горловины призматического резонатора Гельмгольца на величину собственной частоты резонатора и значения коэффициента потери акустического давления в модельном канале. Проведен анализ распределения акустического давления по продольному сечению модельного канала.

Ключевые слова: звукопоглощающие конструкции, резонатор Гельмгольца, коэффициент потери акустического давления, диаметр перфорации, дефекты.

В настоящее время экология авиационного транспорта стала второй по актуальности проблемой, выделяемой Международной организацией гражданской авиации (ИКАО), уступая первое место только безопасности полетов. Одной из доминирующих составляющих вредного воздействия авиации на окружающую среду является шум на местности, создаваемый воздушными судами. Одним из наиболее эффективных способов снижения шума авиационных двигательных установок является включение в её состав звукопоглощающих конструкций (ЗПК) [1]. ЗПК представляют собой совокупность резонаторов Гельмгольца, выполненных в виде сотовой конструкции из полимерных композиционных материалов. Такие ЗПК традиционно устанавливаются на внутренней поверхности воздухозаборника авиационного двигателя для снижения шума, распространяющегося в переднюю полусферу, и на стенках канала наружного контура двигателя для снижения шума, распространяющегося в заднюю полусферу.

В процессе изготовления ЗПК возможно образования различных технологических неоднородностей или дефектов. Образование неоднородностей приводит к увеличению разброса акустических параметров при проведении испытаний. Это приводит к усложнению процесса обработки полученных данных испытаний, а также к недостоверности получаемых результатов. В связи с этим возникает необходимость проведения исследования влияния технологических дефектов на характеристики ЗПК, и разработка мер по снижению дефектов: использование современных материалов и комплектующих, внедрение современных автоматизированных методов производства ЗПК, обеспечение контроля качества с применением методов неразрушающего контроля.

В рамках данной работы проводилось исследование влияния дефектов, возникающие на этапе перфорации обшивок ЗПК. Наиболее распространенные дефекты – уменьшения или увеличение диаметра отверстий перфорации. Для исследования влияния данных дефектов на акустическую эффективность ЗПК были изготовлены методом 3D печати модельные образцы с разными диаметрами отверстий. В качестве базового принимался диаметр 2,4 мм. А также были разработаны численные модели резонаторов с различными диаметрами перфорации. В качестве отклонений для численного исследования задавались следующие значения диаметров перфораций: уменьшение 0,8 мм с шагом 0,2 мм, что обусловлено допускаемыми значениями износа сверла и деформацией («усадкой») отверстий; увеличение 0,6 мм выбрано по результатам технологических экспериментов для ручного сверления. В рамках вычислительных экспериментов осуществляется расчет величины демпфирующего

эффекта, производимого призматическими ячейками, которые представляют собой резонатор Гельмгольца с различным диаметром горловины, в диапазоне рабочих частот 2000-4000 Гц.

Для проведения вычислительных экспериментов были построены геометрические модели, базовая модель представляет собой канал конечной длины – 1 (рисунок 1), квадратного сечения по центру на одной из продольных граней расположена ячейка – 2 призматической формы, соединенная с каналом "узким" горлом – 3 цилиндрической формы. Остальные модели отличаются от базовой диаметром горла – 3 [2]. При проведении численных экспериментов диаметр горловины варьировался в интервале $1,6 \div 3$ мм. с шагом 0,4 мм.

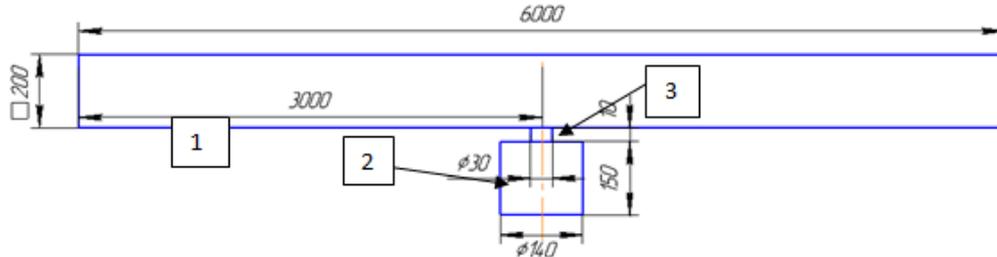


Рис. 1 – Геометрические характеристики базовой модели

Сеточная модель: структура расчетной сетки принималась следующая. Для лучшей сходимости решения и снижения погрешностей получаемых результатов применялась расчетная сетка, ячейки которой имеют форму, близкую к форме равностороннего тетраэдра [2]. Максимальный размер элемента определялся как $N_{max} = 343[m/s]/6[kHz]/10 = 0,0057$ м., минимальный размер элемента принимался $N_{min} = 0,001$ м, общее количество элементов составило 17 млн. элементов. Помимо прочего при измельчении сетки избегались резкие отличия геометрических размеров соседних ячеек – линейные размеры соседних ячеек не отличаются более, чем в 2 раза.

Проведения численных экспериментов по определению акустических характеристик резонатора осуществляется посредством решения уравнения Гельмгольца [3]:

$$-\nabla \cdot \left(\frac{\nabla P}{\rho_0} \right) - \frac{\omega^2}{\rho_0 c^2} P = 0, \text{ где } \omega = 2\pi f \tag{1}$$

Волна на входе в модельный канал: задавалась в виде гармонической волны давления с амплитудой $p_0 = 10000$ Па.

$$n \cdot \left(\frac{\nabla P}{\rho_0} \right) = \frac{i\omega}{\rho_0 c} P - \frac{2i\omega}{\rho_0 c} P_0 \tag{2}$$

Волна на выходе описывалась как:

$$n \cdot \left(\frac{\nabla P}{\rho_0} \right) = \frac{i\omega}{\rho_0 c} P_0 \tag{3}$$

Жесткая стенка модельного канала описывалась как:

$$n \cdot \left(\frac{\nabla P_0}{\rho_0} \right) = 0 \tag{4}$$

Коэффициента потери акустического давления на выходе из модельного канала определялся как:

$$TL = 10 \log \left(\frac{P_{in}}{P_{out}} \right); \tag{5}$$

$$P_{in} = \int_{\partial\Omega} \frac{p_0^2}{2\rho c_s} dA; \tag{6}$$

$$P_{out} = \int_{\partial\Omega} \frac{|p_c|^2}{2\rho c_s} dA \tag{7}$$

По результатам вычислительных экспериментов были получены зависимости коэффициента потери акустического давления (TL) от частоты. На рисунке 2 представлена зависимость для базовой модели ($d = 2,4$ мм). Анализ зависимости показал, что резонансной частотой для данного резонатора является частота $\nu = 3014$ Гц, значение коэффициента потери акустического давления (TL) составило 73 децибела.

По результатам вычислительных экспериментов были построены зависимости собственной частоты резонатора и коэффициента потери акустического давления от диаметра горловины (рисунок 3а, б).

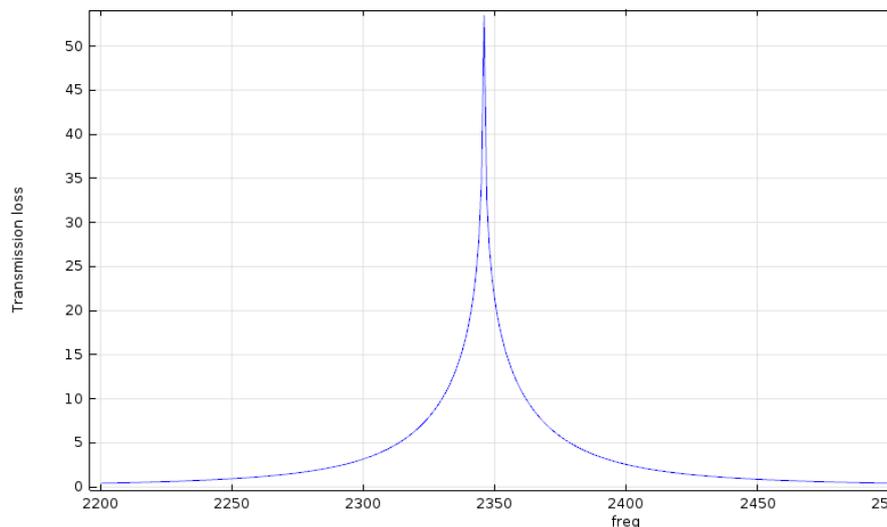


Рис. 2 – Зависимости коэффициента потери акустического давления (TL) от частоты ν для базовой модели.

Анализ зависимостей выявил, что при увеличении диаметра горловины резонатора происходит линейное увеличение собственной частоты резонатора, максимальное значение коэффициента потери акустического давления наблюдается при увеличении диаметра до 2,4 мм, при этом значении наблюдается пик, далее наблюдается снижение. Кроме того, анализ полученных результатов показал, что изменение диаметра горловины влияет на его широкополосность.

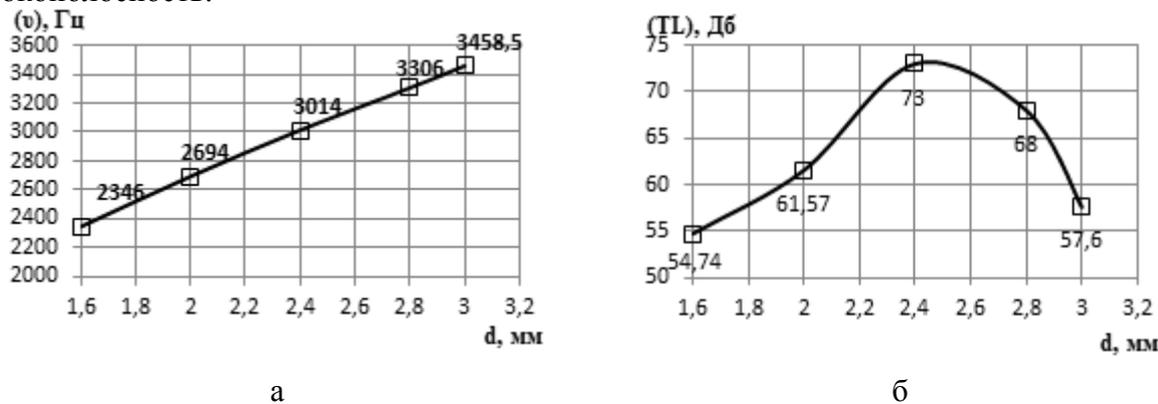


Рис. 3 – График зависимости диаметра горловины призматического резонатора от: а – собственной частоты; б – коэффициента потери акустического давления

Таким образом, базовое значение диаметра горловины 2,4 мм, для призматического резонатора заданной конфигурации является наиболее эффективным, с точки зрения снижения акустического давления в модельном канале. Вместе с тем стоит отметить, что для резонаторов с отличной от базовой формой, или объемом эффективный диаметр горла измениться, как и резонансные частоты.

По результатам исследования влияния дефектов перфорации оболочек ЗПК на акустические характеристики можно сделать следующие выводы:

1) уменьшение диаметра перфорации приводит к значительному снижению акустической эффективности ЗПК: максимальное снижение α с учетом износа сверла и усадки отверстий, достигает 34%. Кроме того, происходит понижение рабочей частоты на 400 Гц (приблизительно 30% от заданной), которое сопровождается снижением широкополосности ЗПК.

2) при увеличении диаметра перфорации так же наблюдается снижение акустической эффективности ЗПК, максимальное снижение α при «разбитии» отверстий достигает 22 %. Кроме того, происходит повышение рабочей частоты на 400 Гц, но при этом наблюдается повышение широкополосности ЗПК.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Правительства РФ по постановлению № 220, договор № 14.Z50.31.0032.

Список литературы

1. А.Г. Захаров, А.Н. Аношкин, А.А. Паньков, П.В. Писарев Акустические резонансные характеристики двух- и трехслойных сотовых звукопоглощающих панелей // Пермь, Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника. – 2016. – № 46. – С. 144-159.
2. P.V. Pisarev, A. N. Anoshkin and A. A. Pan'kov Effect of neck geometry of resonance cells on noise reduction efficiency in soundabsorbing structures//AIP Conference Proceedings, vol.1770, 030119 (2016); DOI: 10.1063/1.4964061.
3. П.В.Писарев, А.А.Паньков, А.Н. Аношкин Численный расчет коэффициента потери акустического давления в модельном канале с резонатором Гельмгольца цилиндрической формы// Казань, Научно-технический вестник Поволжья. – 2015. – №5. – С. 260-262.

05.11.00

М.С. Хлыстунов, Ж.Г. Могилюк

Московский государственный строительный университет,
Центр фундаментальных и прикладных исследований надежности строительных объектов,
кафедра прикладной механики и математики,
Москва, mcxmgusu@mail.ru

ВИБРОАКУСТИЧЕСКИЕ АНАЛОГИИ ДЛЯ РАСЧЕТА КОНСТРУКЦИЙ НА ДИНАМИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-1-98-101

В статье рассматривается центральная проблема расчетного динамического моделирования и обследования конструкций объектов техносферы. Показано, что каждый элемент конструкции представляет собой сложную виброакустическую колебательную систему с распределенными массой и жесткостью. Динамическая модель конструкции исследуется как связанная система виброакустических импедансов конструктивных элементов.

Ключевые слова: *конструкции, динамический расчет, метод аналогий.*

1. Введение

Динамический расчет строительных конструкций объектов техносферы, включая объекты промышленного и гражданского строительства, является важнейшей задачей их проектирования и динамического обследования в целях обеспечения надежности и безопасности эксплуатации. В настоящее время многие программные комплексы расчетного моделирования строительных конструкций предусматривают возможность расчета их динамических характеристик.

Однако алгоритмы динамического моделирования разработчиками таких комплексов не раскрываются и представляют собой «черный ящик» для пользователя, что не позволяет детально исследовать (оптимизировать) распределение динамических нагрузок в пространстве строительной конструкции [1].

В связи с этим результаты натурных динамических исследований показывают, что расхождение значений экспериментально верифицированных и расчетных динамических характеристик зданий и сооружений, полученных с применением программных комплексов, как правило, существенно превышает 10% и, как правило, выходят за пределы расчетного запаса их динамической устойчивости [2].

2. Проблемы интерпретации данных динамического обследования.

Рассмотрим проблему достоверности интерпретации результатов динамического обследования на примере простейшей рамной конструкции (рис.1), жестко установленной на двух, изолированных друг от друга фундаментах.

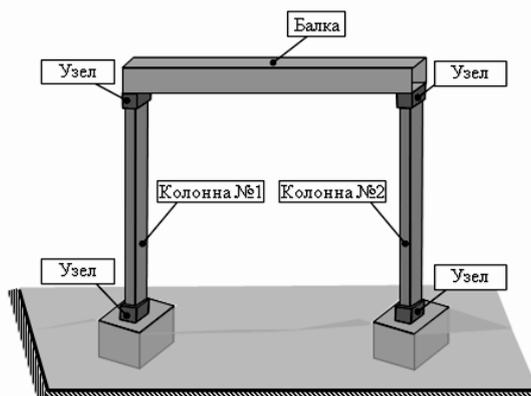


Рис.1. Конструктивная схема рамы

Данный пример взят в качестве обобщающей схемы секции каркаса строительных конструкций, которые удалось найти авторам статьи в целом ряде доступных технических отчетов по результатам натурного исследования их динамических характеристик.

Одной из распространенных ошибок интерпретации в таких отчетах являются выводы о том, что максимумы интенсивности динамической реакции (амплитуды колебаний) конструкции находятся в местах нарушения симметричности распределения массы вдоль главной оси элементов конструкции.

Для варианта конструкции на рис.1 авторами таких отчетов нарушение симметричности распределения вертикальных колебаний балки по ее длине, как правило, интерпретируются несимметричностью распределения массы балки, например, за счет увеличения толщины стенок и смещения центра масс балки в сторону колонны №1.

Однако анализ детальной виброакустической модели динамического нагружения конструкции рамы (рис.2) показал неочевидность данной интерпретации результатов натурных динамических исследований подобного типа конструкций.

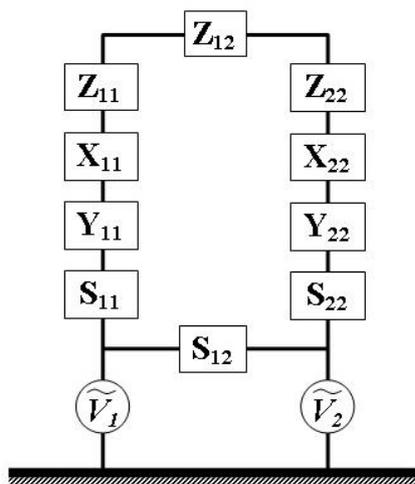


Рис.2. Виброакустическая модель динамического нагружения рамы вертикальными колебаниями основания (скорости перемещений V_1 и V_2), лежащими в ее главной плоскости:

Z_{11} и Z_{22} - виброакустические импедансы крепления балки к **1** и **2** колонне;

Z_{12} - прямой и обратный импедансы виброакустической связи по балке на изгибной моде ее колебаний между креплениями **1** и **2** колонн;

X_{11} и X_{22} - виброакустические импедансы **1** и **2** колонн;

Y_{11} и Y_{22} - виброакустические импедансы крепления **1** и **2** колонн к фундаментам;

S_{11} и S_{22} - импедансы виброакустической связи между фундаментами **1** и **2** колонн и основанием;

S_{12} - импеданс виброакустической связи по грунту основания между фундаментами **1** и **2** колонн;

V_1 и V_2 - микросейсмические или иные динамические нагрузки в виде скоростей вертикальных смещений основания, поступающие на **1** и **2** колонны.

Согласно схеме на рис.2 виброакустическая модель конструкции простейшей рамы оказывается достаточно сложной для того, чтобы сделать однозначный вывод о том, что только отклонение центра масс балки влево от геометрического центра может быть единственной причиной большей интенсивности колебаний на ее левом конце, над колонной №1.

3. Расчетное моделирование динамических нагрузок методом виброакустических импедансов

Рассматриваемая рамная конструкция представляет собой статически неопределимую механическую систему [3] и эта система также остается неопределимой для динамических нагрузок.

Поэтому ее решение может быть реализовано путем составления и решения системы уравнений. Эквивалентная электрическая модель такой системы на базе

электромеханических аналогий позволяет применять в расчетах законы Кирхгофа и Ома, а также методы операционного исчисления на базе комплексных функций усилий, скоростей перемещений и виброакустических импедансов элементов конструкции [4].

Для исключения объемных и тривиальных математических операций, упростим виброакустическую модель строительной конструкции следующим образом

1. Представим общий виброакустический импеданс колонны P_{ii} и импедансы ее узлов сопряжения с балкой Z_{ii} и фундаментом Y_{ii} , а также ее фундамента с грунтом основания V_{ii} суммой:

$$P_{ii} = Z_{ii} + X_{ii} + Y_{ii} + S_{ii} = R_{ii} + jQ_{ii} \quad (1)$$

где R_{ii} и jQ_{ii} - соответственно вещественная и реактивная составляющие общего виброакустического импеданса колонны и узлов ее связи с балкой и основанием.

2. Примем вариант наличия идеальной виброакустической изоляции фундаментов колонн между собой, когда $S_{ij} = \infty$.

3. Рассмотрим отдельно два варианта вертикального динамического нагружения рамы (индекс варианта $n=1,2$). В первом примем $V_1 \neq 0$, а $V_2 = 0$. Во втором - $V_1 = 0$, а $V_2 \neq 0$.

Тогда полную схему на рис.2 можно упростить до вида, представленного на рис.3.

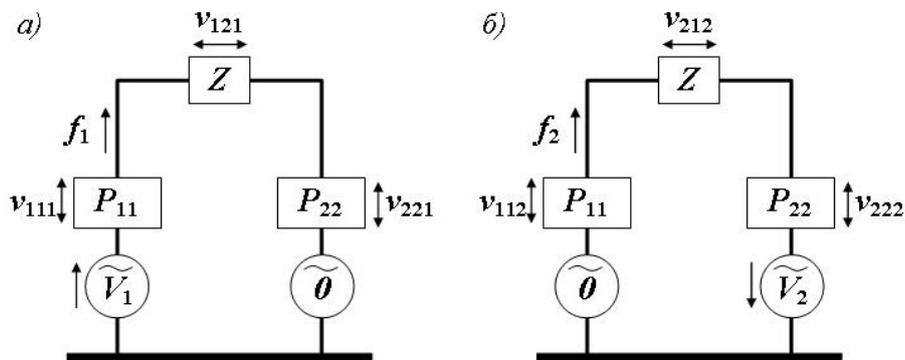


Рис.3. Упрощенная виброакустическая модель рамы:

а) - для виброакустической нагрузки $V_1 \neq 0$, а $V_2 = 0$;

б) - для виброакустической нагрузки $V_1 = 0$, а $V_2 \neq 0$;

$v_{iin} = x_{iin} + jy_{iin}$ - абсолютные вертикальные скорости смещения i -той колонны в виде комплексной переменной (индекс $n=1, 2$ - номера вариантов динамического нагружения рамы на рис.3а и рис.3б);

$v_{ijn} = v_{xijn} + jv_{yijn}$ - абсолютные вертикальные скорости изгибного смещения балки в виде комплексной переменной;

$f_n = f_{xn} + jf_{yn}$ - вертикальные силовые нагрузки в виде комплексной переменной.

Согласно закону Ома скорость перемещения элементов конструкции на рис.3 может быть выражена в виде произведения комплексных переменных

$$v_{ijn} = f_n (R_{ij} + jQ_{ij}), \quad (2)$$

где v_{ijn} и f_n - неизвестные, а R_{ij} и Q_{ij} - определяются экспериментально, j - мнимая единица.

Для каждого варианта динамического нагружения на рис.3а и рис.3б должны выполняться условия динамического равновесия:

$$V_n = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 v_{ijn} . \quad (3)$$

Используя выражения (2), (3) и схему на рис.3, получим для каждого варианта нагружения следующие системы уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} v_{111} = f_1 \cdot P_{11} \\ v_{221} = f_1 \cdot P_{22} \\ v_{121} = f_1 \cdot Z \\ V_1 = v_{111} + v_{121} + v_{221} \\ f_1 = \frac{V_1}{P_{11} + Z + P_{22}} \end{array} \right. \quad \text{и} \quad \left\{ \begin{array}{l} v_{112} = f_2 \cdot P_{11} \\ v_{222} = f_2 \cdot P_{22} \\ v_{212} = f_2 \cdot Z \\ V_2 = v_{112} + v_{212} + v_{222} \\ f_2 = \frac{V_2}{P_{11} + Z + P_{22}} \end{array} \right. \quad (4)$$

Системы уравнений (4) имеют решения, так как число уравнений превышает число неизвестных.

Так как в рассматриваемом случае динамические нагрузки элементов рамы находятся в линейной области деформаций, то тогда при одновременном действии нагрузок на оба фундамента колонн может быть применен принцип суперпозиции скоростей смещений:

$$V_{ij} = v_{ij1} + v_{ij2} . \quad (5)$$

При этом надо иметь в виду, что все использованные в формулах (1-4) переменные являются комплексными функциями.

4. Заключение

Применение метода электромеханических аналогий для динамического расчета многоэлементных строительных конструкций является одним из перспективных направлений расчетного моделирования динамической надежности зданий и сооружений.

Этот метод, как показано в статье, сохраняет свою универсальность при расчетном моделировании динамически неопределимых механических конструкций при правильном выборе системы из двух дуальных аналогий.

В статье показано, что первым шагом для корректного расчетного моделирования является модальный анализ возможных форм колебаний строительных конструкций с последующим построением модальных схем нагружения.

При таком подходе формируется методически обоснованная база и исходные параметры для экспериментальной сертификации модальных динамических характеристик элементов строительных конструкций и здания в целом [5].

Как показано в статье корректное построение расчетных динамических (виброакустических) моделей строительных конструкций с использованием электромеханических аналогий, является одним из эффективных методов, как расчета динамического напряженно-деформированного состояния конструкций, так и интерпретации данных натурного динамического мониторинга технического состояния и оценки реальной динамической устойчивости зданий и сооружений.

Список литературы

1. Иванов И.П., Чеповский А.М. Программные средства обработки результатов расчетов в инженерных пакетах Ansys CFX и Abaqus для высокопроизводительных вычислительных установок // Изд. ЛитРес, 2016, 193 стр.
2. Prokopiev V.I., Hlystunov M.S., Mogilyuk Z.G. Dynamic error of the FEM and the point sources method // Procedia Engineering. Volume 111, 2015, Pages 666-671
3. Заславский Б. В. Краткий курс сопротивления материалов. Учебник для авиационных специальностей вузов. М.: Машиностроение, 1986. 328 с.
4. Хлыстунов М.С., Могилюк Ж.Г. Исследование годографа АФЧХ консольного стержня при линейных динамических нагрузках // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2013. Т. 9. № 1. С. 98-102.
5. Хлыстунов М.С., Завалишин С.И., Могилюк Ж.Г. Состояние программно-методического обеспечения динамических обследований зданий и сооружений // Научное обозрение. 2014. № 7. С. 241.

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

05.13.18

Э.Э. Александров, А.И. Егунова, М.А. Воропаева

Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва,
институт электроники и светотехники,
кафедра автоматизированных систем обработки информации и управления,
Саранск, vallis_nimbium@mail.ru

МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ ТЕКСТОВЫХ ДОКУМЕНТОВ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ ИНФОРМАЦИОННОГО ПОИСКА С ПОМОЩЬЮ ЗАПРОСОВ НА ЕСТЕСТВЕННОМ ЯЗЫКЕ**DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-1-102-106**

В статье рассматриваются результаты исследования по разработке методики для обработки текстовых документов хранилища электронных образовательных ресурсов, основанной на модели векторного пространства и латентного семантического анализа. Данная методика позволяет представлять текстовые документы в удобном формате для организации эффективного информационного поиска с помощью запросов на естественном языке.

Ключевые слова: индексация документов, информационный поиск, латентный семантический анализ, модель векторного пространства.

Введение

Развитие современных информационных технологий обуславливает стремительный рост потоков данных, затрагивающий не только сферу бизнеса и научных исследований, но и повседневную жизнь человека. Такая тенденция прогресса приводит к накоплению знаний в различных предметных областях, затрудняя задачу анализа и извлечения потенциально значимой информации. Эволюция программных средств направляет вектор развития в сторону информационно-поисковых систем, решающих поставленную задачу и основанных на исследованиях психологических аспектов личности, методов компьютерной лингвистики, статистических моделях и алгоритмах искусственного интеллекта.

Одним из подходов, представляющим наибольший интерес как для коммерческой деятельности так и для государственных предприятий, является онтологический инжиниринг, применяемый в целях систематизации информации внутри организаций и формирования семантической системы поиска, однако существует ряд характерных проблем для данного подхода. Процесс создания онтологий определяется трудоемкостью процедур формализации и автоматизации этапов разработки, предъявляет высокие требования к инженерам по знаниям, в отсутствие которых существует вероятность субъективного отображения понятий предметной области. [1]

Существующие проблемы обуславливают развитие гибридных подходов, включающих элементы онтологического инжиниринга: комбинация методов поисковых систем и использование виртуального каталога с набором рубрик в виде иерархии онтологий предметных областей [2], а также применение семантических сетей паттернов проектирования в поиске релевантных документов, где в качестве значений слотов паттернов (атрибутов) представлены концепты онтологии [3].

Для организации эффективной информационно-поисковой системы для хранилища образовательных ресурсов предлагается использовать комбинированный подход обработки текстовых документов, основанный на модели векторного пространства в сочетании с алгоритмом латентного семантического анализа.

Индексирование документов

Начальный этап подготовки документа для лингвистической обработки заключается в процессе декодирования входной информации в линейную последовательность символов, где в качестве структурной единицы выступает весь текст ресурса, представленный в форматах doc, docx и pdf. Извлеченный поток символов подвергается процессу токенизации (выделения лексем), с организацией процедуры удаления знаков препинания и исключением стоп-слов во встроенном словаре служебных частей речи.

Процесс токенизации приводит к образованию множества однокоренных лексем, воспринимающихся системой как различные термины индексирования. Для приведения слов к общей основной форме используется алгоритм Портера, который последовательно применяет ряд правил отсечения окончаний и суффиксов, формируя первичный словарь ключевых терминов поисковой системы.

Следующим шагом определяется модель представления элементов коллекции, в качестве которой обычно выступает модель векторного пространства, позволяющая решать многие задачи информационного поиска, включая задачи классификации, кластеризации и ранжирования ресурсов по запросу. В соответствии с выбранной моделью документ представляется в виде вектора весов его терминов [4]:

$$\vec{d}_j = \langle \omega_{1,j}, \dots, \omega_{|T|,j} \rangle, \quad (1)$$

где T – множество всех терминов, $\omega_{i,j}$ – вес каждого термина $t_i \in T$ по отношению к документу $d_j \in D$ (D – множество документов коллекции).

Для расчета весовых коэффициентов применяется схема взвешивания терминов tf-idf. Данный подход определяет важность каждого термина, исходя не только из его частоты встречаемости внутри заданного документа, но и учитывает влияние его распределения по всем элементам коллекции. Таким образом, максимальное значение веса достигается при условии появления термина в небольшом количестве документов, а минимальное – при его появлении практически во всем хранилище ресурсов, позволяя выделить действительно важные термины и уменьшить влияние шумовых слов в рамках документов заданной предметной области.

Весовые коэффициенты рассчитываются следующим образом:

$$\omega_{i,j} = TF_{i,j} * IDF_{i,j}, \quad (2)$$

где $TF_{i,j}$ – частота термина, $IDF_{i,j}$ – обратная документная частота.

Первоначально оценивается значимость термина в пределах конкретного документа посредством вычисления $TF_{i,j}$:

$$tf_{i,j} = \frac{n_{i,j}}{\sum_{k=1}^D n_{k,j}}, \quad (3)$$

где $n_{i,j}$ – количество вхождений термина t_i в документ d_j , $\sum_{k=1}^D n_{k,j}$ – общее количество терминов документа.

Второй сомножитель $IDF_{i,j}$ является механизмом ослабления влияния "шумовых" терминов в рамках всей коллекции:

$$idf_i = \log \frac{N}{df_i}, \quad (4)$$

где N – общее количество документов в коллекции, df_i – документная частота (количество документов d_j с термином t_i).

Базовая организация ранее спроектированной информационно-поисковой подсистемы по обработке запросов на естественном языке [5] обладала недостаточностью функциональностью и требовала коррекции процесса генерации базы данных ключевых слов. Описанный процесс индексирования позволяет решить данную проблему посредством введения схемы взвешивания терминов по методологии tf-idf. Преобразованный алгоритм автоматизации извлечения ключевых слов из электронных документов представлен далее:

I этап. Предобработка документа

- декодирование последовательности символов с учетом формата документа;
- токенизация;
- перевод букв в нижний регистр;
- очистка текста от стоп-слов посредством встроенного словаря;
- стемминг лексем по алгоритму Портера для русского языка;

II этап. Извлечение ключевых слов из обработанного документа

- подсчет количества вхождений термина в документ $n_{i,j}$;
- исключение гапаксов (терминов, встречающихся в коллекции один раз);
- подсчет частоты терминов $tf_{i,j}$;
- подсчет обратной документной частоты idf_i ;
- обновление словаря ключевых терминов в хранилище документов;
- подсчет весов терминов $\omega_{i,j}$;

III этап. Обновление базы ключевых слов системы

- сортировка терминов по весам в порядке убывания;
- обновление статистической таблицы ключевых терминов в хранилище документов.

Представленный алгоритм реализуется сервисом статистики и осуществляет периодическое обновление базы ключевых слов, поддерживая ее в актуальном состоянии. Статистическая таблица содержит данные не по всем терминам, представленным в словаре, так как на этапе определения idf_i формируется список "шумовых" слов для заданного корпуса текстов, который не включается в результирующую таблицу и позволяет оптимизировать список ключевых терминов.

При добавлении новых ресурсов в хранилище обеспечивается полный цикл пересчета обратной документной частоты и весовых коэффициентов. Данный процесс выполняется параллельно процессу поиска пользователем в системе и не оказывает влияния на релевантность выдаваемых результатов из-за работы сервиса доступа к базе данных, который отвечает за выгрузку сведений по хранимым ресурсам из хранилища до его последнего обновления. При завершении работы сервиса статистики сервис доступа к базе данных актуализирует информацию по документам.

Таким образом, комбинация модели векторного пространства и статистической меры tf-idf является эффективным решением проблемы незначимых терминов, распространенных в рамках корпуса заданной предметной области, однако применение такого подхода без дополнительных средств обработки запроса может значительно сократить количество найденных релевантных документов. Необходимо дополнить данную методику другими подходами, применяемыми в задачах информационно-поисковых систем для расширения области поиска по схожим терминам, то есть для решения проблемы синонимии.

Автоматическая генерация тезауруса семантически близких терминов

Существует ряд методов, позволяющих решить проблему синонимии, влияющую на полноту поиска в разрабатываемых системах такого класса. Локальные методы направлены на модификацию и уточнение запроса с учетом найденных документов с участием пользователя (обратная связь по релевантности) или в автоматическом режиме (слепая обратная связь по релевантности). Основу группы глобальных методов составляет использование специальных тезаурусов либо их автоматическая генерация. [6] Использование встроенных тезаурусов не всегда соответствует поставленной задаче информационно-поисковой системы из-за наличия специфики, определяемой предметной

областью хранимых ресурсов. Встроенные словари могут принадлежать предметной области коллекции документов, но языковые особенности также накладывают ряд ограничений, из-за которых применение данных словарей становится нецелесообразным без перевода в язык, на котором составляются свободные текстовые запросы.

Для расширения ключевых слов поискового запроса близкими по смыслу терминами применяется метод латентно-семантического анализа (LSA). Основная идея латентно-семантического анализа состоит в следующем: если в исходном вероятностном пространстве, состоящим из векторов слов, между двумя любыми словами из двух разных векторов может не наблюдаться никакой зависимости, то после некоторого алгебраического преобразования векторного пространства такая зависимость может проявиться, причем величина этой зависимости будет определять силу ассоциативно-семантической связи между указанными двумя словами. [7] В рамках разрабатываемой системы принцип действия данного алгоритма рассматривается в аспекте генерации смысловых корреляций именно терминов, хотя LSA позволяет выявлять неявные ассоциативно-семантической связи и между отношениями вида «документ-документ» и «терм-документ», где в качестве понятия «терм» могут выступать слова или словосочетания. Стоит отметить, что понятие «терм» в проектируемой информационно-поисковой системе соответствует понятию «термин», то есть ключевой компонент, формируемый после первого этапа алгоритма автоматизации извлечения ключевых слов из электронных документов.

Для реализации алгоритма LSA подготавливается терм-документная матрица, строки которой соответствуют документам коллекции, а столбцы – терминам. В ячейках матрицы на пересечении строк и столбцов располагаются весовые коэффициенты, отражающие значимость конкретного термина в документе, оцениваемую по статистической мере *tf-idf*. Основу для построения терм-документной матрицы составляют сведения из статистической таблицы ключевых слов документного хранилища.

В качестве матричного разложения применяется сингулярное разложение (SVD-разложение) для объединения терминов и документов в пространстве кластеров, которые могут соответствовать тематике ресурсов. При ранге исходной матрицы $r = \min(m, n)$ существует так называемое экономное представление сингулярного разложения матрицы [8]:

$$A_{(m \times n)} = U_{(m \times r)} A_{(r \times r)} V_{(r \times n)}^T, \quad (5)$$

где матрицы U и V – ортогональные, а A – диагональная матрица, значения на диагонали которой называются сингулярными значениями матрицы A .

Для указания количества кластеров необходимо в матрице A оставить только K наибольших сингулярных значений, выбрав соответствующие данным значениям столбцы в ортогональных матрицах U и V . Следует отметить, что значение K определяется количеством дисциплин документов в коллекции. Произведение модифицированных матриц образует новую терм-документную матрицу A' ранга K , отражающая структуру неявных ассоциативно-семантических связей между терминами и документами.

Формирование тезауруса основывается на весовых коэффициентах матрицы A' с подсчетом сходства терминов по косинусной мере:

$$\text{similarity} = \cos(\theta) = \frac{\vec{t}_1 \cdot \vec{t}_2}{\|\vec{t}_1\| \|\vec{t}_2\|} = \frac{\sum_{i=1}^n \omega_{1i} \times \omega_{2i}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (\omega_{1i})^2} \times \sqrt{\sum_{i=0}^n (\omega_{2i})^2}}, \quad (6)$$

где $\vec{t}_1 = \langle \omega_{1,j}, \dots, \omega_{1,|D|} \rangle$ и $\vec{t}_2 = \langle \omega_{2,j}, \dots, \omega_{2,|D|} \rangle$ – векторные представления сравниваемых терминов, $\omega_{i,j}$ – вес термина $t_i \in T$ по отношению к каждому документу $d_j \in D$ из множества документов коллекции. Вычисленная таким образом косинусная мера является критерием отбора терминов в автоматический тезаурус, где содержится кластер ключевых понятий. Обновление словаря осуществляется сервисом, отвечающим за реализацию методики LSA при поступлении новых документов в хранилище.

Заключение

Разработка методики обработки текстовых документов является актуальной задачей для организации процедуры информационного поиска с целью получения результатов с достаточной релевантностью. Гибридный подход, основанный на модели векторного пространства, статистической меры tf-idf и латентно-семантическом анализе, применяемой к индексации коллекции образовательных ресурсов позволяет эффективно решить проблемы по очистке и преобразованию текста к удобной форме с формированием автоматического тезауруса для расширения области поиска по ассоциативно-семантическим связям между ключевыми словами поиска и терминами заданной предметной области.

Список литературы

1. Слободюк А.А., Маторин С.И., Четвериков С.Н. О подходе к созданию онтологий на основе системно-объектных моделей предметной области // Научные ведомости БелГУ. Серия: Экономика. Информатика. №22 (165) 2013, выпуск 28/1. С. 186-194.
2. Пальчунов Д.Е. Решение задачи поиска информации на основе онтологий // БИЗНЕС-ИНФОРМАТИКА, №1, 2008. С. 3-13.
3. Карпенко А. П., Трудоношин В. А. Оценка релевантности документов корпоративной онтологической базы знаний на основе их иерархической ролевой кластеризации // Наука и Образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2014. № 11. С. 571–584.
4. Лифшиц Ю. Классификация текстов [Электронный ресурс] // yury.name – URL: <http://yury.name/modern/06modernnote.pdf>
5. Егунова А.И., Аббакумов А.А., Воронаева М.А. Информационно-поисковая подсистема хранилища электронных образовательных ресурсов // Научно-технический вестник Поволжья. №3 2017 г. – Казань: Научно-технический вестник Поволжья, 2017. С. 100-103
6. Christopher D. Manning, Prabhakar Raghavan, Hinrich Schütze. An Introduction to Information Retrieval – Cambridge, England: Cambridge University Press. – 2009. – 544 p.
7. Соловьев А.Н. Использование латентно-семантического анализа в исследованиях и моделировании когнитивного развития детей [Электронный ресурс] // www.dialog-21.ru – URL: <http://www.dialog-21.ru/digests/dialog2014/materials/pdf/SolovyevAN.pdf>
8. Стрижов В. В. Информационное моделирование. Конспект лекций [Электронный ресурс] // strijov.com – URL: http://strijov.com/files/eksamen/1_svd.pdf

05.13.18

М.А. Аль-Аскари, С.А. Федосин к.т.н., В.В. Афонин к.т.н.

Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва,
институт электроники и светотехники,
кафедра автоматизированных систем обработки информации и управления,
Саранск, fedosinsa@mrsu.ru

АНАЛИЗ КАЧЕСТВА РАСТРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ**DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-1-107-109**

В статье рассматриваются вопросы сравнительного анализа качества растровых изображений, в соответствии с рекомендациями, приведенными в [3]. Сравнительная оценка качества изображений проводится в системе MATLAB на основе численного дифференцирования массивов, соответствующих кодовым страницам цветовой модели RGB. Показаны особенности оценки изображений на ряде примеров.

Ключевые слова: растровые изображения, оценка качества изображения, артефакты, численное дифференцирование массивов, цветовая модель RGB.

Проблема оценки качества растровых изображений является актуальной, в связи экспоненциальным ростом количества изображений компьютерного формата, в первую очередь – растровых, хранимых как на отдельных компьютерах, так и в специализированных системах хранения данных. При этом, следует отметить, что она является начальным этапом в задаче оценки качества видеоизображений, например, в IP-телевидении, т.к. кадр видеопотока есть ничто иное, как растровое изображение. Оценка качества изображения и видео – это оценка количества и величины артефактов – объектов, искажающих восприятие. Для видео основными артефактами являются [1]:

1. артефакты блокинга (blocking artifacts);
2. артефакты сжатия (compression artifact) (не определяются тестом на артефакты);
3. артефакт размытости (blur);
4. артефакты поврежденной/загрязненной магнитной головки \ unclean tapehead problem;
5. строб-эффект;
6. артефакт рассыпания изображения.

Первые три артефакта наиболее распространены и присущи как цифровому видео, так и цифровым растровым изображениям. И именно их количественная оценка влияния на восприятие является наиболее затруднительной.

Различают субъективные и объективные методы оценки качества растровых изображений [2], или референсные и нереференсные. Субъективная оценка качества восприятия осуществляется группой подготовленных экспертов на основе рейтингового шкалирования изображений. Объективная – количественная оценка, получаемая на основе объективных статистических данных изображения должна наилучшим образом соответствовать субъективной оценке. Для этого подготавливается специальный тестовый набор – база данных изображений одного формата и разрешения, с артефактами и без [4].

Известны различные методы реализации оценки качества в данном направлении [3–9].

Заслуживает внимания работа [3], в которой рассматривается оценка качества растровых изображений на основе оценки человеческого восприятия. Создана база тестовых изображений. В частности доступны 90 изображений, на основе которых произведено обучение регрессионной многовариантной модели Гаусса по методу главных компонент. Эти изображения являются фотоснимками натуральных сцен. В работе [4] Ruderman показал, что

локальная нормализованная яркость натуральных сцен отвечает закону распределения Гаусса. В работе [3] приводятся алгоритмы, которые учитывают этот факт и которые были положены в оценку качества растровых изображений, а также, собственно, сравнительные оценки субъективного (с участием человека) и нереперенсного (без участия человека) методов.

Отобранные изображения анализировались в соответствии с цветовой моделью RGB и выбирались те, которые удовлетворяли по ряду признаков нормальному закону распределения пикселей изображения. Особенностью предложенных алгоритмов является сочетание высокой точности определения метрик качества и высокой вычислительной сложности. Такие алгоритмы, например, очень затруднительно применять для анализа качества видеофайлов.

В данной работе проанализированы ряд изображений на предмет их качества в соответствии с предложенными в [3] алгоритмами. Качество изображений может трактоваться по-разному. Сравним, например, четыре изображения, два из которых входит в базу, созданную экспертами, одно хорошо известное – Lena и изображение типа шахматной доски. Выбранные изображения показаны на рис. 1–4.



Рис. 1 – Изображение 20.jpg



Рис. 2 – Изображение 81.bmp

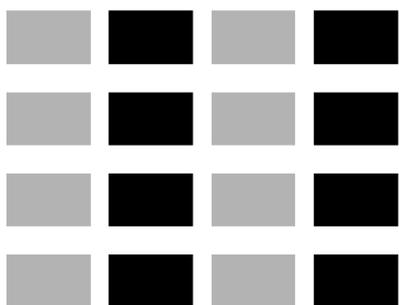


Рис. 3 – Изображение BlackGray.bmp



Рис. 4 – Изображение lena.jpg

Приведенные на рис. 1–4 изображения исследовались в системе MATLAB по тестовому алгоритму из [3]. В соответствии с средней интегральной величиной метрической оценки (metricValue) получены их следующие значения.

Для изображения 20.jpg – metricValue: 10.9826.

Для изображения 81.bmp – metricValue: 19.5877.

Для изображения BlackGray.bmp – metricValue: 139.4930.

Для изображения lena.jpg – metricValue: 22.2758.

В плане визуального восприятия все приведенные изображения достаточно четкие без каких-либо артефактов. Однако изображения, взятые из базы экспертов, являются лучшими по своим значениям metricValue, а изображения с артефактами будут иметь более высокие значения metricValue. В первую очередь следует иметь в виду артефакты блокинга с областями резкого перехода в другой цвет. Значительно более низкую вычислительную сложность имеют алгоритмы идентификации артефактов на базе градиентных статистических методов [5]. Их недостатком пока является недостаточно высокая точность.

Нами были выполнены расчеты перепадов яркости для тестовых изображений на основе численного дифференцирования массивов, полученных при чтении файлов 90 базовых изображений (с помощью функции `imread` системы MATLAB). Выделялись области положительных и отрицательных производных кодовых страниц красного, зеленого, синего. Получены следующие значения.

Для положительных значений производных яркости цветовой модели RGB:

$pR_{mean} = 16.3293$;

$pG_{mean} = 18.4521$;

$pV_{mean} = 18.3853$.

Для отрицательных значений производных яркости цветовой модели RGB:

$nR_{mean} = -20.6525$;

$nG_{mean} = -20.9529$;

$nV_{mean} = -21.1443$.

Как видно из полученных результатов, имеются небольшая абсолютная разница между собой положительных и отрицательных средних значений кодов красного, зеленого, синего цветов. Для примера приведем результаты средних значений от производных положительных и отрицательных областей для изображения, показанного на рис. 3:

$pR_{mean} = 1.0752$; $nR_{mean} = -165.736$

$pG_{mean} = 1.0752$; $nG_{mean} = -165.736$

$pV_{mean} = 1.0752$; $nV_{mean} = -165.736$

Полученные заметные разбросы в средних значениях перепадов яркости можно объяснить из предположения, что изображение `BlackGray.bmp` содержит артефакты, хотя визуально оно похоже на часть шахматной доски. Выход за границы расчетных значений производных яркости предполагает определять частность (вероятность) появления такого события. Все это заставляет продолжать поиски средств и методов для нереперенной идентификации артефактов различного характера, и прежде всего, артефактов блокинга на основе улучшенных градиентных статистических методов [9].

Список литературы

1. *H.R. Sheikh and A.C. Bovik*, "Image information and visual quality," IEEE Transactions on Image Processing, vol. 15, no. 2, pp. 430-444, February 2006.
2. *K. Seshadrinathan, R. Soundararajan, A.C. Bovik and L.K. Cormack*, "Study of subjective and objective quality assessment of video," IEEE Transactions on Image Processing, vol. 19, no. 6, pp. 1427-1441, June 2010.
3. *L. Zhang, L. Zhang and A.C. Bovik*, "A feature-enriched completely blind local image quality analyzer," IEEE Transactions on Image Processing, vol. 24, no. 8, pp. 2579-2591, August 2015
4. *D. L. Ruderman*, "The statistics of natural images," Netw., Comput. Neural Syst., vol. 5, no. 4, pp. 517-548, Apr. 1994.
5. *W. Xue, L. Zhang, X. Mou and A.C. Bovik*, «Gradient magnitude similarity deviation: A highly efficient perceptual image quality index», IEEE Transactions on Image Processing, vol. 23, no. 2, pp. 684-695, February 2014.
6. *K. Egiazarian, J. Astola, N. Ponomarenko, V. Lukin, F. Battisti, and M. Carli*. «New full-reference quality metrics based on HVS», Proc. of the Second International Workshop on Video Processing and Quality Metrics, Scottsdale, 4 p, 2006.
7. *N. Ponomarenko, F. Silvestri, K. Egiazarian, Carli M., Astola J., Lukin V.* «On between-coefficient contrast masking of DCT basis functions», Proc. of the Third International Workshop on Video Processing and Quality Metrics, USA, 2007, 4 p.
8. *K. Gu, J. Zhou, G. Zhai, W. Lin and A.C. Bovik*. «No-reference quality assessment of screen content pictures», IEEE Transactions on Image Processing, vol. 26, no. 8, pp. 4005-4017, August, 2017.
9. *W. Xue, X. Mou, L. Zhang, A. C. Bovik, X. Feng* «Blind Image Quality Assessment Using Joint Statistics of Gradient Magnitude and Laplacian Features», IEEE Transactions on Image Processing, vol. 23, no. 11, november 2014

05.13.01

¹Л.А. Бакуркина, ¹К.В. Рочев, ²А.И. Селезнёв¹Ухтинский государственный технический университет,
²ООО «СеверСтройСвязьРесурс»**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА УЧЕТА ДЕЯТЕЛЬНОСТИ МАЛОГО БИЗНЕСА
НА ПРИМЕРЕ ООО «СЕВЕРСТРОЙСВЯЗЬРЕСУРС»****DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-1-110-114**

В статье анализируется процесс моделирования учета деятельности малого бизнеса. Проведен анализ работы предприятия с целью построения модели процесса учета деятельности малого бизнеса. При анализе использовались диаграммы потоков данных, контекстная диаграмма и прецедентов, с помощью которых показана работа фирмы в целом с точки зрения директора для обеспечения возможности последующей ее автоматизации.

Ключевые слова: *моделирование, информационная система, учёт деятельности.*

Использование экономических информационных систем в настоящее время является неотъемлемой частью функционирования большинства предприятий. Проблема нехватки времени носит в современном обществе массовый характер. Каждый заинтересован в эффективном распределении своего времени и минимальной его трате на учет деятельности своего бизнеса [1, 2].

Цель данной статьи – построение модели процесса учета деятельности малого бизнеса для дальнейшей автоматизации этого процесса. Для достижения поставленной цели необходимо будет решить следующие поставленные задачи:

1. Изучение предметной области – процесса учёта деятельности ООО «СеверСтройСвязьРесурс»;
2. Построение структурной модели системы – построение диаграммы потоков данных (DFD);
3. Выявление функциональных требований к системе;
4. Описание спецификации человеко-машинного взаимодействия и пользовательского интерфейса автоматизированной системы.

Описание процесса функционирования малого бизнеса

При любой разработке модели первым шагом является детальное изучение предметной области [3]. Объектом моделирования служит фирма «СеверСтройСвязьРесурс», занимающаяся следующими видами деятельности: проектирование и монтаж СКС, электромонтаж офисов, квартир, IT-аутсорсинг, системы видеонаблюдения, ВОЛС, МиниАТС, промалып, системы WiMAX, системы «Умный дом». В целом фирма занимается проектированием, реализацией и обслуживанием структурированных кабельных систем (СКС) по стандартам РФ.

Сотрудники предприятия – директор, бухгалтер, главный инженер, специалист по охране труда, бригадир и специалисты (рабочие программисты).

Основные аспекты деятельности директора:

1. Работа с клиентом:
 - Встречи с заказчиками;
 - Предоставление своевременной информации о проведении работ (в отчетной форме)
2. Составление документации предоставления услуг (формирование отчетов, контроль соответствия документации ГОСТам РФ);
3. Решение вопросов финансово-экономической части предприятия (формирование

финансовых планов, распределение ресурсов);

4. Решение вопросов производственно-хозяйственной части (контроль использования оборудования, его состояния, распределение технических ресурсов);

5. Решение вопросов поставок/закупок;

6. Составление отчета работ сотрудников в процессе выполнения работы (по требованию заказчика);

7. Управление жизненным циклом проекта/заявки:

– Выезд на место проведение работ;

– Контроль выполнения в целом;

– Разработка проекта;

8. Управление данными о сотрудниках:

– Присутствие сотрудников на данный момент времени (фиксирование отгулов/больничных/отпусков);

– Участие в формировании рабочих табелей;

Обязанности главного инженера:

1. Организация бухгалтерского учета финансово-экономической деятельности (учет использования финансов в процессе работы над проектом);

2. Организация хозяйственной деятельности (контроль выдачи рабочих устройств);

3. Взаимодействие с сотрудниками (составление/просмотр рабочих табелей, работа с кадрами и тому подобные вещи);

4. Формирование общего табеля по управлению человеческими ресурсами;

5. Управление и разработка процесса выполнения проекта (разбитие на подзадачи, контроль выполнения).

Главный бухгалтер производит:

1. Бухгалтерский учет финансово-экономической и хозяйственной деятельности (отчеты, составление планов расходов/доходов);

2. Формирование отчета по проекту/заявке.

Специалист по охране труда помимо своих трудовых обязанностей также выполняет некоторые функции заместителя директора. Ее основные аспекты деятельности:

1. Организацией охраны труда на производстве;

2. Информированием и осуществлением контроля за охраной труда;

3. Проведение инструктажей;

4. Общение с клиентами по некоторым аспектам производимых работ (в случае необходимости);

5. Организация работ совместно с директором;

6. Бригадир занимается следующими задачами:

7. Организация и контроль работ на отдельно взятом объекте;

8. Формирование пообъектовых табелей;

9. Управление и разработка процесса выполнения заявки;

10. Организация хозяйственной деятельности (контроль выдачи рабочих устройств);

Специалисты (рабочие программисты) проводят определенные виды работ на отдельно взятом объекте.

Определение границ системы

Следующим шагом при построении модели протекающих процессов по учету деятельности фирмы стало создание контекстной диаграммы деятельности фирмы в целом, представляющей собой самое общее описание системы и ее взаимодействие с внешней средой. Данная система будет рассматриваться с точки зрения директора при возможности прямой работы с системой всех сотрудников предприятия (см. Рис. 1).

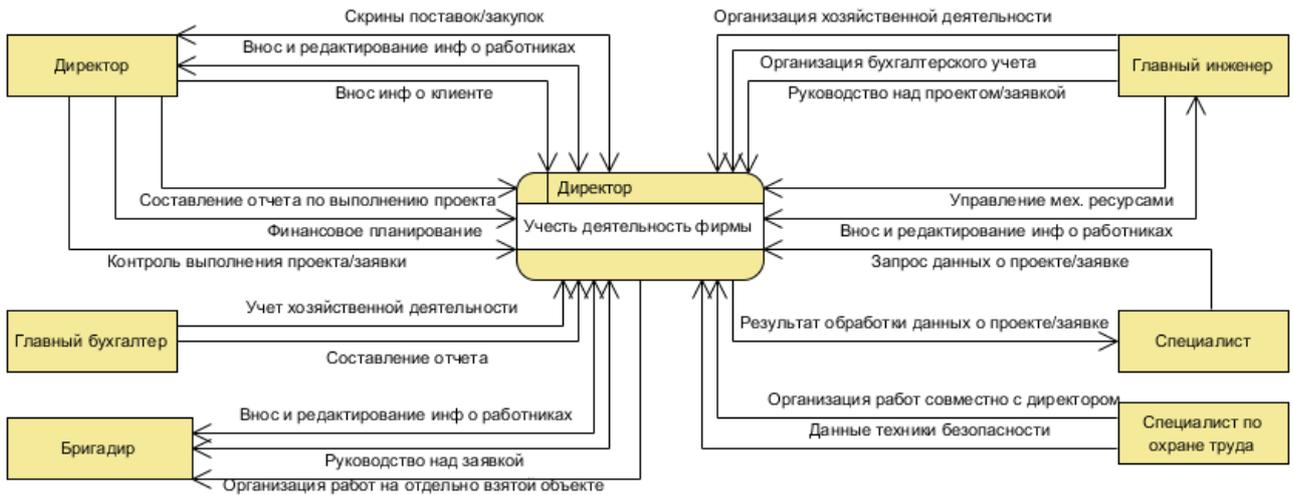


Рис. 1 - Контекстная диаграмма

На диаграмме кроме основного процесса и точки зрения указываются внешние сущности и потоки данных, направленных от процесса к внешним сущностям или наоборот. Внешними сущностями системы являются:

1. Директор. Заносит данные по поставкам/закупкам. Производит внос и корректировку данных о работниках, клиентах. Составляет отчеты по выполнению проекта/заявки, финансовые планы. Производит контроль выполнения проекта/заявки.
2. Главный бухгалтер. Заносит данные учета хозяйственной деятельности и финансовую отчетность за период/по проекту.
3. Главный инженер. Заносит данные о работниках, данные по проекту/заявке. Также заносит данные о проведении работ на отдельно взятом объекте.
4. Бригадир. Заносит данные о заявке, работниках (кому в каком количестве был выдан инвентарь, присутствующие на работе). Заносит данные касающиеся заявки (если он ею руководит). Имеет доступ к информации о проектах, которые им реализуются на практике.
5. Специалист по охране труда. Заносит данные техники безопасности.
6. Специалисты. Запрашивают данные касательно проекта/заявки.

Определение функций системы

Далее произведём декомпозицию основного процесса – «Учет деятельности фирмы» и построим диаграмму потоков данных для демонстрации как каждый процесс преобразует свои входные данные в выходные, выявляя отношений между этими процессами и основных функций системы.

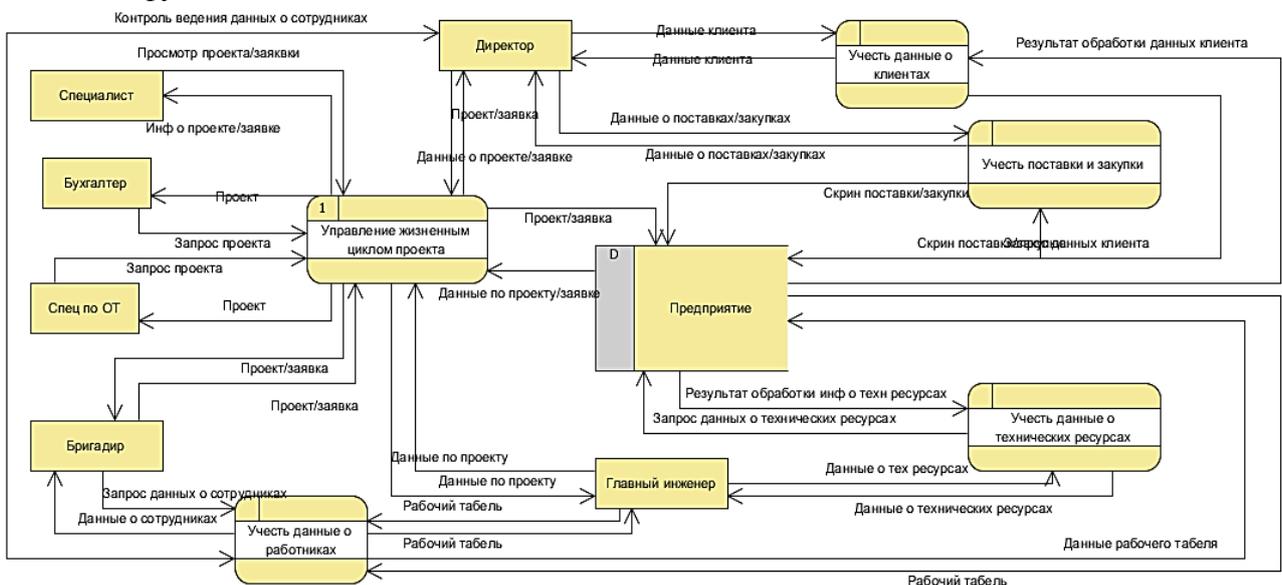


Рис. 2 – DFD

Предлагаются следующие подсистемы:

1) Подсистема «Жизненный цикл проекта» предназначена для учета, редактирования, хранения данных проекта, разделения проекта на задачи, распределения их между сотрудниками, осуществления редактирования и поиска данных по проектам и задачам.

2) Подсистема «База знаний – Wiki» предназначена для накопления данных о способах выполнения должностных задач.

3) Подсистема CRM

4) Подсистема финансового планирования

5) Подсистема рейтингования сотрудников по работоспособности и результатам выполненных работ;

6) Подсистема интеграции с системой 1С (либо возможна реализация всей системы на базе платформы 1С).

В более наглядной форме поведение системы представляют варианты использования (прецеденты), на которых в дальнейшем строится проектирование интерфейса системы [4] (см. рис. 3).

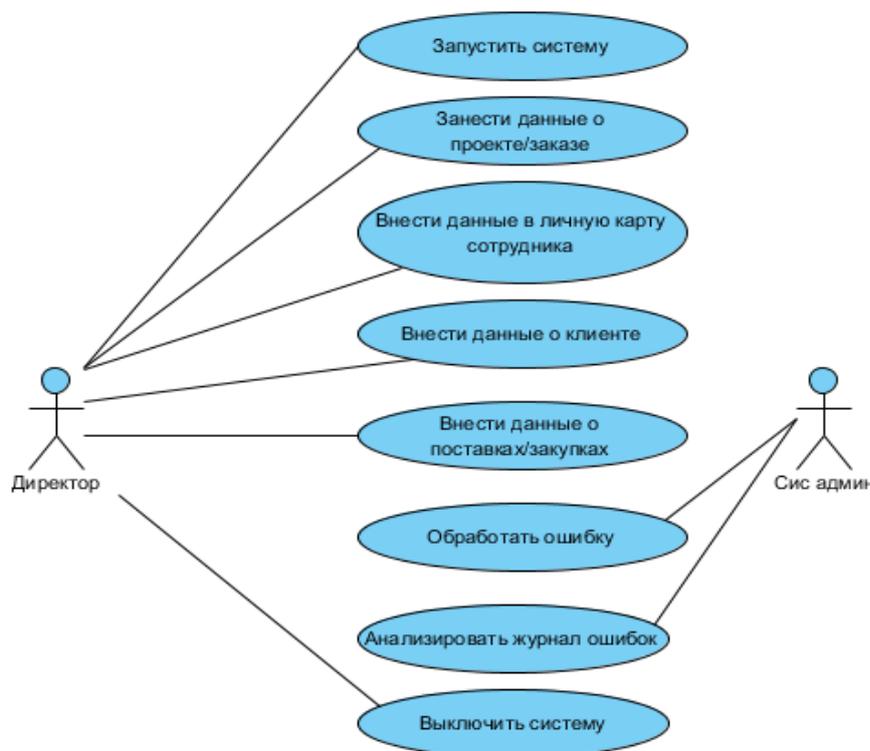


Рис. 3 - Диаграмма прецедентов

Заключение

Внедрение любой ИС представляет собой инвестиционный проект: вложенные средства с течением времени принесут реальные экономические плоды [5, 6]. Система призвана позволить значительно сократить время на ведение учета деятельности фирмы и ее работоспособности в целом, сократить время передачи информации между сотрудниками, что в конечном итоге приводит к росту прибыли на предприятии.

В рамках данной статьи показан процесс учёта деятельности малого бизнеса на примере фирмы ООО «СеверСтройСвязьРесурс». На основе данных, полученных в ходе исследования предметной области предложены границы учетной системы с точки зрения директора, была построена функциональная модель процесса учёта деятельности фирмы, декомпозирующая основной процесс до пяти подпроцессов: «Управление жизненным циклом», «Учет данных о работниках», «Учет данных о клиентах», «Учет данных о поставках/закупках», «Учет данных о технических ресурсах» и определены функции, которые должна выполнять система.

Список литературы

1. *Бердина М.Ю. и др.* Проблемы развития экономики и общества (монография). Saint-Louis, MO : Publishing House «Science & Innovation Center», 2013.
2. *Рочев К.В., Кожевникова П. В.* Мотивация. Хронометраж. Эффективность работы (монография). Saarbrücken, LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2014.
3. *Балдин К.В., Уткин В.Б.* (2012). «Информационные системы в экономике».
4. Интерфейс: новые направления в проектировании компьютерных систем, [Электронный ресурс] / Джеф Раскин – Электрон. текстовые дан. // Символ-Плюс. – 2005. – Режим доступа: <http://lib.rus.ec/b/129607/download>.
5. *Гатин Г.Н.* К вопросу об определении “информационной системы” // Информационные технологии в управлении и экономике. № 03. 2017. Режим доступа: <http://itue.ru/?p=1284>.
6. *Семериков А.В.* Имитационная процессная модель функционирования предприятия по оказанию услуг // Информационные технологии в управлении и экономике. № 1. 2017. Режим доступа: <http://itue.ru/?p=1284>.

05.13.00

Е.В. Бессонова

Нижегородский государственный технический университет имени Р.Е. Алексева,
институт радиоэлектроники и информационных технологий,
кафедра «Электроника и сети ЭВМ»

АЛГОРИТМ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ КООРДИНАТ НАЗЕМНЫХ И НИЗКОЛЕТЯЩИХ ЦЕЛЕЙ

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-1-115-117

В работе проводится анализ систем радиолокационного обнаружения и определения координат малоразмерных объектов. Приведен универсальный алгоритм обработки сигналов, используемый для увеличения точности измерения азимутальной координаты целей.

Ключевые слова: *разрешающая способность, измерение координат, радиолокационные станции ближнего действия.*

Особенности разрабатываемой радиолокационной системы определяются в первую очередь свойствами совокупности объектов, для обнаружения которых система предназначена. В данной работе рассматриваются алгоритмы обнаружения малоразмерных целей радиолокационными системами (РЛС) ближнего действия, способными выявлять цели, скрытыми растительностью, либо слоем грунта, с помощью методов системного анализа. Системный анализ позволяет всесторонне изучить методы и алгоритмы повышения точности измерения координат радиолокаторов. Данный подход способен систематизировать представления о современных, а также хорошо изученных методах увеличения разрешающей способности и получения точных координат объектов зондирования, тем самым получая обобщенное представление о данных методах и возможность их применения в перекрестных областях радиолокации.

Для более четкой классификации объекты поиска можно разбить на следующие группы: объекты, содержащие или не содержащие в своем составе радиоэлектронные компоненты [1, 2]; объекты, движущиеся или неподвижные, которые могут быть замаскированы слоем грунта или растительностью [3]. Радиолокационной системы обнаружения подобных объектов можно разделить по принципу действия на две подгруппы:

- традиционные, работающие на первой гармонике зондирующего сигнала;
- использующие принцип нелинейной локации для обнаружения целей [4, 5].

Каждая из вышеприведенных типов радиолокационных систем могут быть стационарными, либо устанавливаться на подвижных носителях.

При обнаружении целей стационарными РЛС под малыми углами места большую роль в обработке принятого эхо-сигнала и формировании радиолокационного изображения играют отражения от подстилающей поверхности.

Часто используемая в литературе модель абсолютно гладкой поверхности не даёт полного представления о структуре сигнала, принимаемого в радиолокационных системах, в особенности при наблюдении наземных и низколетящих целей. Поэтому за основную модель возьмем факетную модель, которая более точно описывает статистические свойства подстилающей поверхности. При сканировании по азимуту в радиолокаторе формируется азимутальная пачка, образованная суперпозицией двух сигналов. Причем сигналу реальной апертуры соответствует длинная азимутальная пачка, а независимо от него сигналу фоновой апертуры – короткая азимутальная пачка. Поскольку фаза сигнала, отраженного от земли, противоположна фазе прямого сигнала, произойдет их вычитание. На рис. 1 показаны азимутальные диаграммы направленности (ДН) данных сигналов с гауссовой огибающей.

Пунктиром изображена ДН, принятая в результате. При накоплении данной азимутальной пачки типовым азимутальным накопителем, согласованным с ДН антенной, системы возникает неоднозначность определения азимута цели.

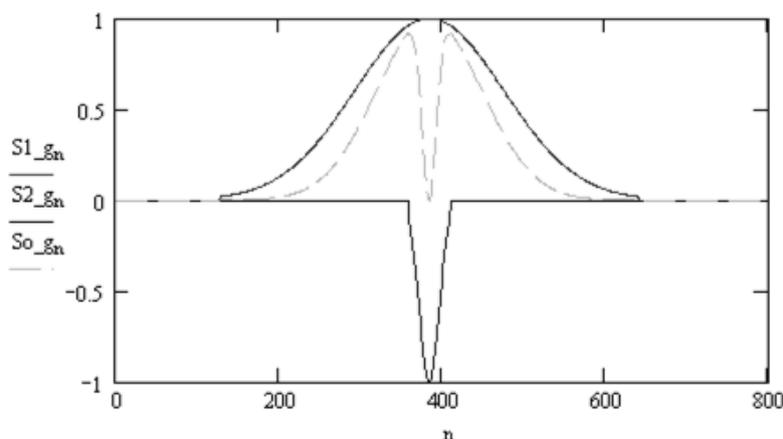


Рис. 1 - Принятая азимутальная пачка (пунктиром) как результат суперпозиции сигналов реальной и фоновой апертур (сплошная) – зависимость нормированной амплитуды сигнала от временных отсчетов

Рассмотрим спектральную характеристику принятой пачки, разложив её по пространственным частотам на рис. 2.

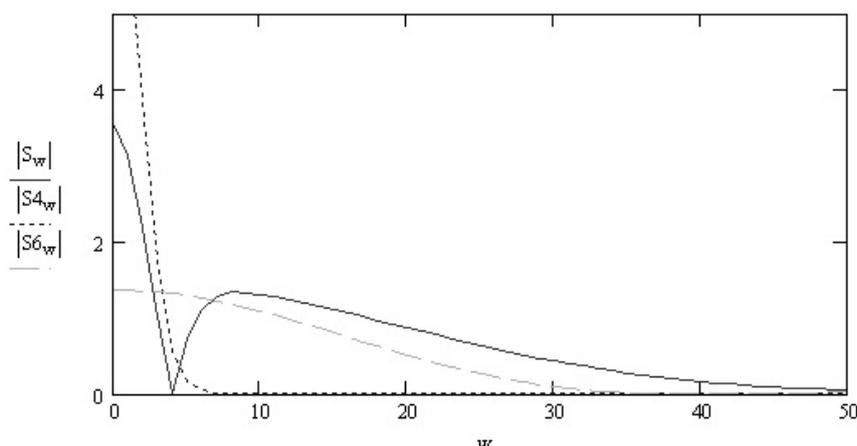


Рис. 2 - Результат преобразования Фурье (пространственный спектр) сигналов: частым пунктиром – реальной апертуры, редким пунктиром – фоновой, сплошной – суммарного – зависимость нормированной амплитуды сигнала от частотных отсчетов

Спектр суммарного сигнала показывает, что большая часть информации содержится в высокочастотной части спектра и за счет большей полосы может дать обужение азимутальной пачки. В то время как прямой сигнал большой длительности (по аналогии с временными частотами) имеет узкий спектр, соответственно, более низкий элемент разрешения по азимуту, а в сумме два сигнала дают неоднозначность определения азимута. В качестве решения проблемы неоднозначности определения азимута возможно использование пространственного фильтра верхних частот, вырезающего часть спектра, которая соответствует длинной азимутальной пачке, что в результате позволит убрать неоднозначность измерения азимута [6].

Комбинированный алгоритм устранения неоднозначности измерения азимута наземных и низколетящих целей можно представить следующей блок-схемой (рис. 3).

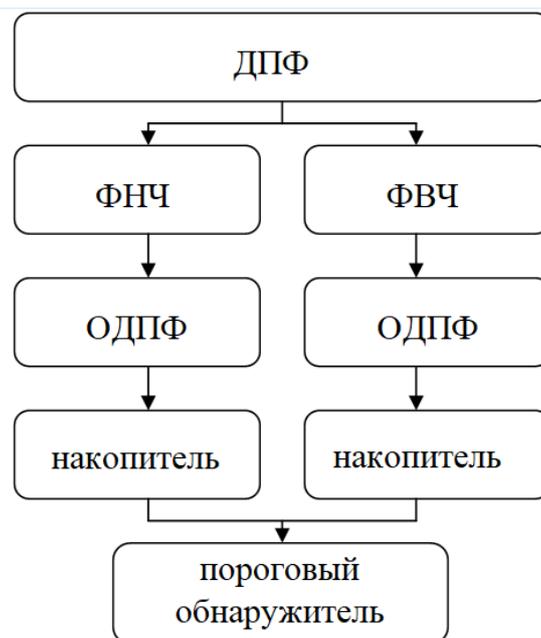


Рис. 3 - Блок-схема алгоритма устранения неоднозначности измерения азимута наземных и низколетящих целей

На первом шаге вычисляется пространственное дискретное преобразование Фурье принятого в РЛС сигнала длительностью соответствующей, длительности азимутальной пачки. На втором шаге схема делится на две ветви, в одной из которых сигнал обрабатывается фильтр нижних частот (ФНЧ), в другой – фильтр верхних частот (ФВЧ). Следующие два шага в каждой ветви схожи и включают обратное преобразование Фурье и накопление азимутального сигнала. В результате энергия сигнала не теряется и после порогового обнаружения вычисляется азимутальная координата цели.

Таким образом, предложен алгоритм, позволяющий достичь более высокого разрешения по азимуту в стационарном радиолокаторе и получить однозначность измерения азимутальной координаты. Данный алгоритм может быть применен для получения более точной азимутальной координаты как в традиционных РЛС, так и в РЛС работающих по принципу нелинейной радиолокации.

Список литературы

1. Горбачев А.А., Чигин Е.П. Взаимодействие электромагнитных волн с «нелинейными» объектами // *Нелинейный мир*, Т.1, № 1-2, 2003. – 29-35 сс.
2. Кузнецов А.С., Кутин Г.И. Методы исследования эффекта нелинейного рассеяния электромагнитных волн // *Зарубежная Радиоэлектроника*, №4, 1985. 41-43 сс.
3. Гринев А.Ю., Темченко В.С., Багно Д.В., Зайкин А.Е., Ильин Е.В. Реконструкция параметров сред и объектов подповерхностного зондирования (методы и алгоритмы). // *Радиотехника*, №8, 2013. – 18-29 сс.
4. Горбачев А.А., Колданов А.П. Методы зондирования электромагнитными волнами сред с нелинейными включениями в задачах поиска терпящих бедствие людей // *Радиоэлектроника*. Том 1, № 1-2, 2009. – 95-63 сс.
5. Ирхин В.И., Барановский Д.Л., Бессонова Е.В. Обнаружение мин с помощью нелинейной радиолокации. // *Радиотехнологии противодействия террористическим угрозам*. Кол. монография / Под ред. В.И.Есипенко. - М.: Радиотехника, 2017. – 6-15 сс.
6. Есипенко В.И., Бессонова Е.В., Ирхин В.И. Исследование характеристик азимутального разрешения целей под малыми углами места. // *Проектирование и технологии радиоэлектронных средств* № 4, 2014. – 2-7 сс.

05.13.12

Г.А. Гареева к.п.н., Д.Р. Григорьева к.п.н., И.И. Ямалетдинова, И.Ф. Фатихов

Казанский (Приволжский) федеральный университет,
Набережночелнинский институт, экономическое отделение,
кафедра бизнес-информатики и математических методов в экономике,
Yamaletdinova17@yandex.ru

**ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ ИНФОРМАЦИОННОГО РЕСУРСА 1С:
ИТС И 1С: БИТРИКС УПРАВЛЕНИЕ САЙТОМ****DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-1-118-121**

В работе представлено обработчик, находящийся в CMS 1С:Битрикс Управление сайтом. Представленный обработчик выполняет работу системного администратора информационного ресурса. Данная разработка помогает проверить пользователей на наличие подписки в 1С:ИТС. Обработчик проходится по всем пользователям, получает из поля серийный номер и отправляет данную информацию на 1С:ИТС, в ответ он получает результат. Если срок подписки не вышел, пользователь остается активным, в противном случае, обработчик проводит деактивацию пользователя.

Ключевые слова: *агент, 1С:Битрикс, деактивация, обработчик, сайт.*

Агенты – это функционал 1С-Битрикс, который позволяет автоматизировать регулярно выполняемые процессы. Агент представляет собой запись в базе данных сайта, содержащую информацию о запуске в определенный момент времени [1].

Эта запись содержит:

- Какой код или функцию нужно запустить.
- Дату и время его запуска.
- Промежуток между запусками, если это периодическая задача.

Чтобы посмотреть список агентов, нужно зайти в Панель Администрирования/ Настройки / Настройки продукта / Агенты [2].

Обслуживание сайта висит на этих самых агентах, в том числе:

- Удаление старых кэш файлов.
- Поисковая индексация сайтов.
- Проверка обновления.
- Отправка почты.

Кроме системных агентов разработчики могут добавить свои функции, и поручить их запуск агентам. Например:

- Для вывода на главную страницу случайной фотографии из коллекции медиатеки.

- E-mail-рассылку новостей.
- Автоматическое обновление страниц по заданным параметрам.

Существует два метода запуска агентов:

1. По умолчанию в настройках 1С-Битрикс это запуск агентов на "Событиях", при каждом открытии страницы пользователем CMS Bitrix проверяет список агентов и запускает те из них, у которых уже наступило время выполнения.

2. Запускать выполнение агентов по расписанию cron.

У этих методов есть свои плюсы и минусы. У первого метода есть главное преимущество — это отсутствие необходимости в настройках, т.е. после установки Bitrix на любой хостинг агенты будут работать. И его минус — это возникающая нагрузка на сервер при открытии страницы пользователем [3].

У второго метода есть очевидное преимущество в том, что cron запускает агенты в заданном интервале, например, раз в три минуты, вне зависимости от того, есть на сайте посетители или их нет. Таким образом, когда пользователь приходит на сайт, сервер сразу генерирует ему страницу, и не занимается запуском сервисных скриптов. Недостаток этого метода состоит в том, что для его настройки необходима квалификация программиста - системного администратора [4].

Если в результатах тестирования системы выполнение агентов назначено на "События", для ускорения работы сайта из запуска агентов необходимо перевести на cron [5].

Предложенный нами обработчик позволяет производить проверку на сайте 1С:ИТС в заданный промежуток времени, то есть система запрограммирована таким образом, чтобы в указанное время производилась проверка на наличие подписки у зарегистрированного пользователя в системе.

Агент отправляет запрос на сайт ИТС в определенное время, в случае необходимости исключает пользователя из системы, производит деактивацию пользователя, то есть не дает возможности вводить в систему, если у него закончилась подписка на 1С:ИТС.

В данном случае обработчик проходит по всем ранее зарегистрированным пользователям, которые принадлежат к группе Регионального законодательства. Из базы данных он получает поля ID – имя, фамилия, отчество, персональный телефон, e-mail и дополнительные сведения, в которых хранится индивидуальный код по 1С:ИТС (рис. 1).

В результате обработчик проходит по всем этим пользователям и каждого пользователя проверяет на наличие подписки, то есть каждого пользователя отправляет на сервер 1С:ИТС, на котором совершается проверка на наличие подписки, а уже сервер 1С:ИТС отправляет результат, где по необходимости производится деактивация пользователя, либо оставляет его активным, то есть дается возможность клиентам пользоваться информационным ресурсом по региональному законодательству.

```
class ITS {  
    function ITSAgent() {  
        $filter = Array (  
            '!ID' => 1,  
            "GROUPS_ID" => Array(13),  
        );  
        $rsUsers = CUser::GetList(  
            ($by="id"),  
            ($order="desc"),  
            $filter,  
            array(  
                'FIELDS' => array(  
                    'ID',  
                    'LOGIN',  
                    'NAME',  
                    'LAST_NAME',  
                    'SECOND_NAME',  
                    'EMAIL',  
                    'PERSONAL_PHONE'  
                ),  
                'SELECT' => array(  
                    'UF_INN',  
                    'UF_ITS'  
                )  
            )  
        );  
    }  
};
```

Рис. 1 – Получение поля ID

Если подписка заканчивается, то производится деактивация, то есть не дается право проходить авторизацию. Таким образом, происходит ограничение пользователя к информации (рис. 2).

```
while ($arUsers = $rsUsers->Fetch())
{

    $number = $arUsers['UF_ITS'];

    $URL = "https://1c.ru/rus/support/its/js-check-subscribe.jsp?rn={$number}";

    $file = trim(file_get_contents($URL));

    $answer = substr($file, 38, -6);
    $answer = str_replace('"', '', $answer);
    $arAnswer = explode(' ', $answer);

    $user = new CUser;
```

Рис. 2 – Проверка подписки на 1С: ИТС

Если ответ приходит положительный, то пользователь остается активным. Если ответ приходит отрицательным, то деактивируется пользователь (рис. 3).

```
$user = new CUser;

if ($arAnswer[2] == "NEED"){
    if ($arAnswer[1] == "OK") {
        $fields = Array(
            "ACTIVE" => "Y",
        );
    } else {

        $fields = Array(
            "ACTIVE" => "N",
        );
    }
}
```

Рис. 3 – Получение ответа сервера 1С: ИТС

В результате данные, которые он получает в ответ с сервера 1С:ИТС, обновляются у пользователя (рис. 4).

```
        } else {  
  
            $fields = Array(  
                "ACTIVE" => "N",  
            );  
  
        }  
  
        $user->Update($arUsers['ID'], $fields);  
    }  
  
    return "ITS::ITSAgent()";  
} }  
}
```

Рис.4–Изменение параметра пользователя

В ходе работы был разработан обработчик, находящийся в CMS 1С: Битрикс Управление сайтом, который автоматизирует процесс работы сайта с уже имеющейся информацией. Он выполняет работу системного администратора информационного ресурса. Благодаря данному обработчику экономится время и не нужно привлекать специалистов в данной области.

Список литературы

1. 1С-Битрикс. Управление сайтом: Быстрый старт разработчика. М.: 1С-Битрикс, 2013. - 109 с.
2. Горнаков С. Г. Осваиваем популярные системы управления сайтом; ДМК Пресс - М., 2013. - 336 с.
3. Басыров Р. 1С-Битрикс: Управление сайтом. Питер, 2013. – 302 с.
4. <https://its.1c.ru/>
5. https://dev.1c-bitrix.ru/api_help/

05.13.01

¹Е.Г. Кабулова, ²Д.В. Грачиков¹Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) НИТУ «МИСиС»,
Старый Оскол, evgenia791@mail.ru,²Freshcells systems engineering GmbH,
Дюссельдорф, Германия, grachikov@gmail.com**ОБРАБОТКА НИЗКО-КОНТРАСТНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ
НА ОСНОВЕ БИОЛОГИЧЕСКОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ С ГИСТЕРЕЗИСНЫМИ
СВОЙСТВАМИ****DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-1-122-124**

Для обработки низко-контрастных изображений металлов и сплавов предложена модель нейронной, построенной на основе модифицированной математической модели С.А. Кащенко – В.В. Майорова и А.Н. Радченко. Выполнено исследование запуска эндогенных процессов, образования спайка в синапсе нейрона, а также синхронизации нейронных ансамблей под воздействием метаболического рецептивного кластера с учетом гистерезисных связей и типа воздействия.

Ключевые слова: *сегментация изображений, биологическая нейронная сеть, гистерезис.*

На сегодняшний день металлургические предприятия всю металлопродукцию подвергают экспертизе на предмет наличия дефектов. Одним из эффективных способов обнаружения таких дефектов является инфракрасная дефектоскопия с применением тепловизоров, в которых воспроизводится разность температур в виде цифрового низко-контрастного изображения.

Интерпретация содержимого на изображении является основной целью компьютерного зрения, которое построено на особенностях работы головного мозга. В области изучения аспектов функционирования головного мозга активно развиваются различные направления теории нейронных сетей. Существует ряд математических моделей [1-3], позволяющих описать взаимодействие нейронов в коре головного мозга, но сложность использования для постановки численных экспериментов не позволяет применять их для моделирования нейронных сетей.

В настоящей работе предложена модель нейронной сети, построенной на основе модифицированной математической модели С.А. Кащенко – В.В. Майорова [1] и А.Н. Радченко [3], учитывающей гистерезисные связи между нейронами. Данная модель применяется для сегментации низко-контрастных изображений металлов и сплавов при обнаружении дефектов.

Для описания модели рассмотрим искусственную нейронную сеть, элементы которой описываются дифференциальным уравнением:

$$\dot{u}_i = \lambda(-1 + fK(u_i(t-1)) - fNa(u_i) + Y_i) + I_i, \quad (1)$$

где: Y_i – воздействие со стороны нейронной сети, оказываемое на i нейрон, I_i – внешнее воздействие на i нейрон. Величина Y_i задает химическую связь между элементами нейронной сети, которая описывается с помощью модели А.Н. Радченко, а I_i определяет внешнее воздействие электрической природы.

$$\text{Пусть } Y_i = \begin{cases} u_i, & \text{если } \dot{u}_i > \gamma \\ 0, & \text{в остальных случаях} \end{cases}, \quad (2)$$

где: γ – пороговая скорость роста u_i . Связь между нейронами сети количественно можно оценить с помощью следующего равенства:

$$x_i(t) = \sum_{j=1}^N D_{ij} \frac{\int_{t-T}^t |u_i - u_j| ds}{\int_{t-T}^t u_j ds}, \tag{3}$$

где: D_{ij} – коэффициент силы связи между i и j нейронами, $N+1$ – общее количество нейронов. Параметр T необходимо подбирается таким образом, чтобы на соответствующем промежутке укладывался ровно один спайк. По определению, значение величины $x_i(t)$ должно возрасть вместе с интегральной мерой рассинхронизации нейронов.

Отметим, что связь между величинами y_i и x_i носит гистерезисный характер. В качестве математической модели, описывающей данную гистерезисную зависимость, используем феноменологическую модель Боука-Вена [4, 5], согласно которой зависимость величин y_i и x_i будет определяться следующим дифференциальным уравнением:

$$\dot{y}_i = B\dot{x}_i - \beta|\dot{x}_i||\dot{y}_i|^{n-1}y_i - \alpha\dot{x}_i|y_i|^n, \tag{4}$$

где: коэффициенты B, n, β и α определяют форму гистерезисной зависимости.

Внешнее электрическое воздействие запишем как:

$$I_i = \begin{cases} y_i, & \text{если } \dot{y}_i > \gamma \\ 0, & \text{в остальных случаях} \end{cases}, \tag{5}$$

$$x_i = Ae^{-\alpha t} \sin(t - g_i), \tag{6}$$

где: g_i – внешнее воздействие на i нейрон, A – положительная константа.

Как было показано в работе [3], метаботропный рецептивный кластер (МРК) способен вызвать спайк нейрона при постоянном или возрастающем воздействии на нейрон. При уменьшении воздействия спайк нейрона будет обусловлен МРК.

Для подтверждения эффективности работы нейронной сети биологической природы при распознавании изображений было проведено исследование сети со "слабой" и "сильной" гистерезисной связью. Доказано, что при исследовании динамики сети со слабой гистерезисной связью между нейронами на основе фазовых портретов системы (1), гистерезис вносит упорядочивающий эффект в нейронную сеть, что важно при решении задач сегментации, классификации и распознавании образов.

Результаты численного моделирования нейронной сети с сильной постоянной гистерезисной связью представлены на рис. 1

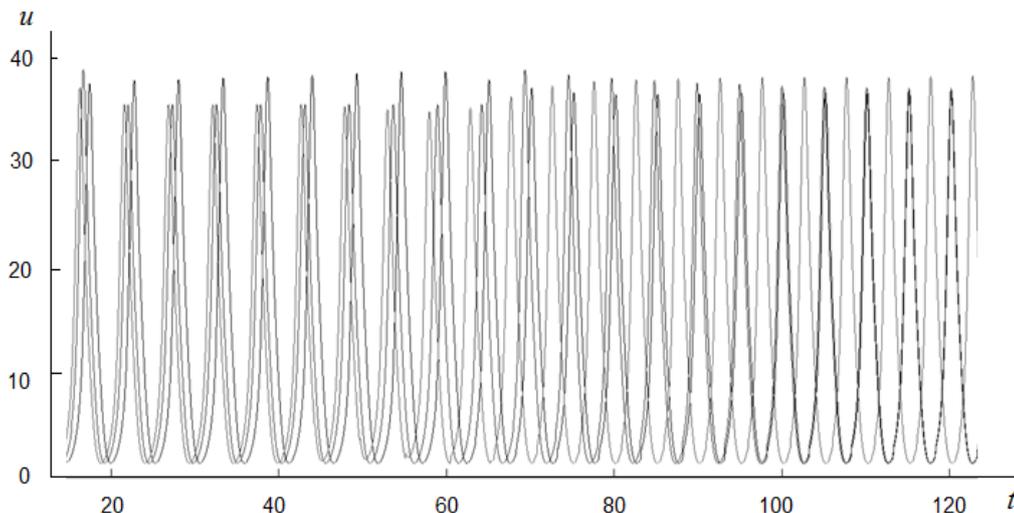


Рис. 1- Динамика нейронной сети с входными воздействиями 0, 0.5, 1

Как видно из рисунка 1, при стабильности гистерезисной связи, динамика одного из нейронов приводит к синхронизации остальных элементов сети, начиная с 100 секунды. Наличие синхронизации объясняется тем, что нейрон с наибольшим внешним воздействием становится центральным элементом в сети. В этом случае вся сеть настраивается на восприятие наиболее сильного внешнего воздействия, а остальные воздействия игнорируются.

Согласно работе [3] возврат гистерезисной природы МРК, а значит и способность запоминания информации, происходит во время сна. Таким образом, моделирование нейронной сети (1) может описывать работу мозга в состоянии сна.

Результаты применения предложенной модели биологической нейронной сети для сегментации низко-контрастных изображений, полученных при дефектоскопии металлов и сплавов, приведены на рисунке 2.

Рассмотренная в настоящей работе модель нейронной сети показывает, что даже при небольшом количестве нейронов ее динамика согласуется с биологическими данными [6].

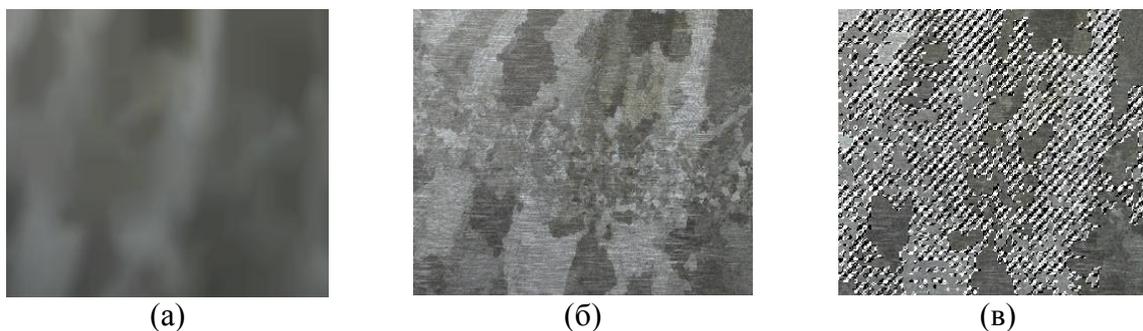


Рис. 2– Входное (а) и сегментированные изображения (б, в) структуры слитка сплава ЭИ-435

Преимуществом предложенной в работе модели является ее «упорядоченная» реакция на внешние воздействия. Данная особенность привносится за счет использования модели [3], что позволяет моделировать нейронную сеть с множеством элементов. При этом достигается синхронизация нейронов в ансамбли [7]. Отметим, что описанная в работе нейронная сеть эффективно использована для решения задач сегментации и классификации образов.

Список литературы

1. *Кащенко, С. А., Майоров В.В.* Модели волновой памяти. - М.: УРСС, 2009. - 288 с.
2. *Guoshen Yu and Jean-Jacques Slotine.* Visual Grouping by Neural Oscillator Networks // *Neural Networks, IEEE Transactions on.* 2009. № 20(12). P. 1871-1884.
3. *Радченко А. Н.* Ионотропные и метаботропные реакции нейрона как инструменты нейронной памяти // *Нейроинформатика.* - 2006. - Т.1, № 2. - С. 197- 227.
4. *Ikhouane, F., Manosa, V., Rodellar J.* Dynamic properties of the hysteretic Bouc-Wen model // *Systems & Control Letters.* 2007. Vol. 56. P. 197–205.
5. *Solovyov, A., Semenov, M., Meleshenko P.* Bouc-Wen model of hysteretic damping // *Procedia Engineering* 201. 2017. P. 549 - 555.
6. *Казанович, Я. Б., Борисюк Р. М.* Синхронизация в нейронной сети фазовых осцилляторов с центральным элементом // *Математическое моделирование.* 1994. № 6:8. С. 45–60.
7. *Sara J. Aton, Julie Seibt.* Neuron // Elsevier Inc. 2009. Vol. 61. P. 454–466.

05.13.18

О.А. Капустина, М.С. Карпюк

Оренбургский государственный аграрный университет,
Институт управления рисками и комплексной безопасности,
кафедра автоматизированных систем обработки информации и управления,
Оренбург, onical@yandex.ru

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОГЛАСОВАННОСТИ МНЕНИЙ ЭКСПЕРТОВ ПРИ РАСЧЕТЕ ИНТЕГРАЛЬНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ РЕГИОНА

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-1-125-128

В работе представлены результаты разработки модели, алгоритма и программной реализации определения согласованности мнений экспертов при расчете комплексного показателя безопасности региона.

Ключевые слова: *математическая модель, алгоритм, программный комплекс, показатель жизнедеятельности региона.*

Достоверная оценка состояния безопасности жизнедеятельности региона является одной из важных задач, решаемых в системе управления рисками чрезвычайных ситуаций. Решение этой задачи возможно при учете всех специфических особенностей экономической, политической, социальной, научно-технической и природно-техногенной сфер жизнедеятельности рассматриваемого региона. Выбор и построение системы показателей, которые характеризуют сложившиеся условия жизнедеятельности и угрозы безопасности в каждой из перечисленных сфер жизнедеятельности, осуществляется экспертами из соответствующих областей деятельности.

Полученные показатели являются входной информацией и подаются в подсистему ввода-вывода автоматизированной системы для расчета комплексного показателя безопасности жизнедеятельности региона, описанной в работе [1]. На этапе определения вклада каждого показателя в интегральный показатель жизнедеятельности региона в настоящее время в системе ведется учет только мнения того эксперта, который непосредственно взаимодействует с ней и проводит расчет. Для снижения субъективности оценок полученных одним экспертом и повышения достоверности общей оценки уровня безопасности жизнедеятельности региона необходимо расширить возможности автоматизированной системы путем учета мнений групп экспертов по каждому показателю, представленному в системе.

В связи с этим, нами предлагается следующий алгоритм работы подсистемы определения согласованности мнений экспертов.

После запуска предлагаемой подсистемы, необходимо ввести n - количество привлекаемых экспертов группы, принимающих участие в определении весовых коэффициентов в комплексный показатель безопасности.

Осуществляется ввод или считывание элементов матрицы сравнения, полученной по результатам работы базовой подсистемы для расчета комплексного показателя безопасности жизнедеятельности региона.

Для каждого эксперта выгружается опросник, по результатам которого на основе продукционной модели представления знаний, формируется матрица сравнения ω_{ij} . Здесь эксперт с помощью шкалы Т. Саати, представленной в таблице, выставляет оценки ω_{ij} , сравнивая предполагаемые им значимости пары показателей, согласно методике [2].

Проводится расчет согласованности мнений эксперта и в качестве относительных весов показателей (рисков по рассматриваемому признаку) принимается усредненные или вычисленные с учетом компетентности экспертов относительные веса показателей (рисков), полученных каждым из членов групп.

Таблица - Шкалы попарных сравнений Т. Саати

Значение ω_{ij}	Определение	Пояснение
1	Риски одинаково значимы	Риски относительно рассматриваемой цели (обобщенного показателя), для безопасности региона обладают примерно одинаковой значимостью
2	Промежуточное значение	
3	Слабое превосходство	Эксперт считает, что значимость первого из рисков пары несколько выше, чем второго
4		Промежуточное значение
5	Сильное превосходство	Эксперт считает, что значимость первого из рисков пары определено выше, чем второго
6		Промежуточное значение
7	Явное превосходство	Эксперт считает, что значимость первого из рисков пары явно выше, чем второго и количественные оценки это подтверждают
8		Промежуточное значение
9	Абсолютное превосходство	У эксперта нет никаких сомнений относительно того, что значимость первого из рисков пары значительно выше, чем второго

Оценка согласованности мнений экспертов с целью определения возможности использования полученных результатов производится следующим образом, вычисляется коэффициент вариации K_{ij}

$$K_{ij} = \frac{\sqrt{\frac{1}{Z-1} \sum_{l=1}^z (\omega_{ij}(l) - \overline{\omega_{ij}})^2}}{\overline{\omega_{ij}}},$$

где $\omega_{ij}(l)$ - элемент матрицы W , полученные от l -го из Z ;

$\overline{\omega_{ij}}$ - их усредненные оценки.

Согласованность считают удовлетворительной при $K_{ij} \leq 0,3$ и хорошей при $K_{ij} \leq 0,2$.

В случае неудовлетворительной согласованности экспертом предлагается критически оценить результаты сравнений рисков и при необходимости внести коррективы. После этого повторяется обработка вновь заполненных матриц попарных сравнений и оценивается согласованность мнений экспертов.

Разработанный алгоритм, схематично представленный на рисунке, и его программная реализация расширили функциональные возможности автоматизированной системы расчета комплексного показателя безопасности жизнедеятельности региона и позволили повысить достоверность общей оценки уровня безопасности жизнедеятельности региона.

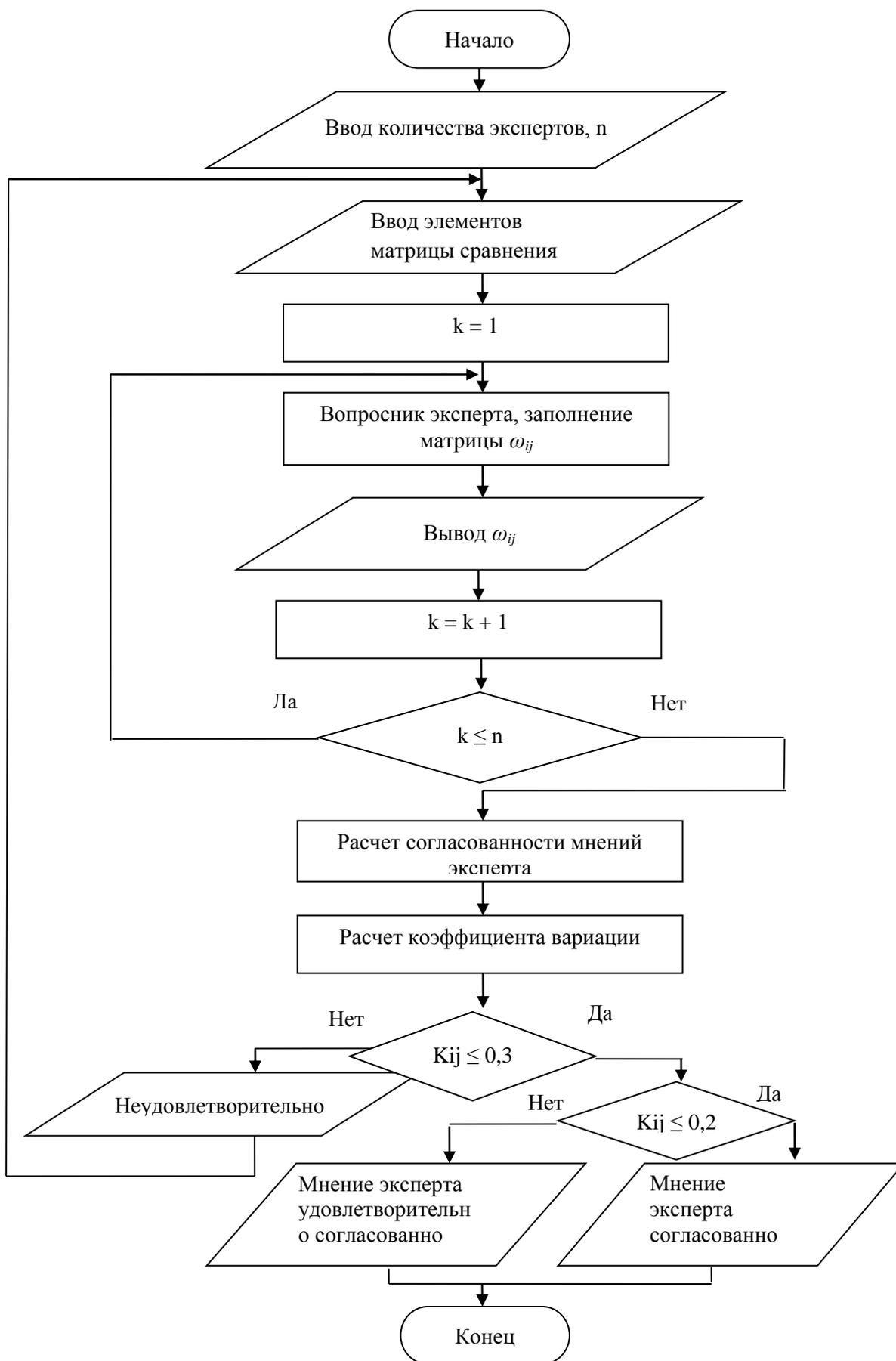


Рис. – Схема алгоритма определения согласованности мнений экспертов

Список литературы

1. *Капустина О.А., Карпюк М.С., Королев А.С., Лаврухин Н.А., Лаврухин А.Н., Степанов Д.О.* Подсистема для расчета комплексного показателя безопасности жизнедеятельности региона // Программы для ЭВМ базы данных топологии интегральных микросхем. – М.:ФИПС, Официальный бюллетень Федеральной службы по интеллектуальной собственности (Роспатент). - №2 (112). – 2016. - 20.01.2016.
2. *Лаврухин Н.А., Карпюк М.С., Королев А.С.* Мониторинг безопасности жизнедеятельности региона // Проблемы анализа риска, 2011. – Т.8. - №6. – С.56-61. – С.58

05.13.00

О.А. Капустина, В.Д. Павлидис

Оренбургский государственный аграрный университет,
Институт управления рисками и комплексной безопасности,
кафедра автоматизированных систем обработки информации и управления,
Оренбург, onica1@yandex.ru

ПРОДУКЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЗНАНИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ КАТЕГОРИИ СЛОЖНОСТИ ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЙ

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-1-129-131

В работе предлагаются результаты представления знаний о категориях сложности природных условий для проведения экспертной оценки природно-техногенных объектов. Разработана продукционная модель представления знаний. Предложены значения методов нечеткого логического И, ИЛИ, импликации, агрегирования и дефаззификации, а также тип функций принадлежности переменных для создания системы нечеткого вывода.

Ключевые слова: представление знаний, продукционная модель, программная система нечеткого вывода, опасные природные условия.

Экспертная оценка природно-техногенных объектов является составным компонентом системы геодинамического мониторинга [1]. Среди многочисленных факторов, оказывающих влияние на природно-техногенный объект, в первую очередь, необходимо выделить учет сложности природной и природнотехногенной обстановки территории которая описывается как количественными, так и качественными характеристиками. Поэтому целью настоящей работы является разработать модель базы знаний с учетом и количественных, и качественных характеристик.

В качестве основополагающего метода определения сложности природных условий выбраны основные положения, которые устанавливают строительные нормы и правила [2].

Пусть в качестве входных параметров будем рассматривать три нечетких лингвистических переменных:

- 1) Рельеф и геоморфологические характеристики – обозначим R;
- 2) Гидрогеологические характеристики в сфере взаимодействия зданий и сооружений с геологической средой – обозначим G;
- 3) ОПП (опасные природные процессы), сейсмичность с учетом сейсмического микрорайонирования – обозначим O.

Каждая из рассматриваемых входных переменных зависит от ряда параметров, а именно:

R зависит от вида района (обозначим RR) и генезиса геоморфологических элементов (RG);

G зависит от горизонта подземных вод (GG), химического состава подземных вод (GH) и напора (GN);

O зависит от площади распространения опасного природного процесса (OP) и сейсмической интенсивности (OS).

В качестве терм-множеств перечисленных лингвистических переменных будем использовать множества:

$R = \{\langle \text{простые природные условия} \rangle, \langle \text{природные условия средней сложности} \rangle, \langle \text{сложные природные условия} \rangle\};$

$G = \{\langle \text{простые природные условия} \rangle, \langle \text{природные условия средней сложности} \rangle, \langle \text{сложные природные условия} \rangle\};$

$O = \{\langle \text{простые природные условия} \rangle, \langle \text{природные условия средней сложности} \rangle, \langle \text{сложные природные условия} \rangle\};$

RR={равнина, предгорный, горный};

RG={элементы одного генезиса, элементы различного генезиса};

GG={отсутствует или один выдержанный по простиранию горизонт, два и более выдержанных горизонта; невыдержанные по простиранию горизонты};

GH={однородный состав, неоднородный состав};

GN={есть напор, нет напора};

OP={локальное распространение, распространение менее 50% площадей, распространение более 50% площадей};

OS={сейсмическая интенсивность менее 6 баллов, сейсмическая интенсивность от 6 до 7 баллов, сейсмическая интенсивность выше 7 баллов}.

В качестве выходной переменной будет К – категория сложности природных условий, К={простые природные условия, природные условия средней сложности, сложные природные условия}.

При этом каждый из термов входных переменных, содержащих три переменные будем оценивать по 9 бальной шкале, содержащих две переменные будем оценивать по 2 бальной шкале.

А терм выходных переменных также будем оценивать по 9 бальной шкале.

Тогда продукционную базу знаний можно представить в следующем виде:

Правило 1: Если «вид района равнина» и «геоморфологические элементы одного генезиса», то «рельеф и геоморфологические характеристики простые».

Правило 2: Если «вид района предгорный» и «геоморфологические элементы одного генезиса», то «рельеф и геоморфологические характеристики средней сложности».

Правило 3: Если «вид района горный» и «геоморфологические элементы различного генезиса», то «рельеф и геоморфологические характеристики сложные».

Правило 4: Если «горизонт подземных вод отсутствует или один выдержанный по простиранию горизонт» и «химический состав вод однородный», то «гидрогеологические характеристики простые».

Правило 5: Если «горизонт подземных вод два и более выдержанных» и («химический состав вод неоднородный» или «напор есть»), то «гидрогеологические характеристики средней сложности».

Правило 6: Если «горизонт подземных вод невыдержанные» и «химический состав вод неоднородный» и «напор есть», то «гидрогеологические характеристики сложные».

Правило 7: Если «площадь распространения опасного процесса носит локальный характер» и «сейсмическая интенсивность не более 6», то «опасные природные процессы простые».

Правило 8: Если «площадь распространения опасного процесса менее 50%» и «сейсмическая интенсивность больше 6 и меньше 7 баллов», то «опасные природные процессы средней сложности».

Правило 9: Если «площадь распространения опасного процесса более 50%» и «сейсмическая интенсивность больше 7 баллов», то «опасные природные процессы сложные».

Правило 10: Если «рельеф простой» и «гидрогеологические характеристики простые» и «опасные природные процессы простые», то «категория природных условий простая».

Правило 11: Если «рельеф средней сложности» и не «гидрогеологические характеристики сложные» и не «опасные природные процессы сложные», то «категория природных условий средней сложности».

Правило 12: Если не «рельеф сложный» и «гидрогеологические характеристики средней сложности» и не «опасные природные процессы сложные», то «категория природных условий средней сложности».

Правило 13: Если не «рельеф сложный» и не «гидрогеологические характеристики сложный» и «опасные природные процессы средней сложности», то «категория природных условий средней сложности».

Правило 14: Если «рельеф сложный» или «гидрогеологические характеристики сложные» или «опасные природные процессы сложные», то «категория природных условий сложная».

Тестирование предложенной продукционной базы знаний на данном этапе решения задачи проведено с помощью графических средств пакета Fuzzy Logic Toolbox в среде MatLab. Были определены термы и их функции принадлежности для входных и выходных переменных нашей системы нечеткого вывода. Метод нечеткого логического И - значение «min», метод нечеткого логического ИЛИ - значение «max», метод импликации – значение «min», метод агрегирования - значение «max» и метод дефаззификации – значение «centroid». Тип функций принадлежности переменных - функции типа Гаусса.

Результат нечеткого вывода, представленный на рисунке, для средних значений входных переменных соответствует категории, определяемой согласно нормам, взятым за основу.

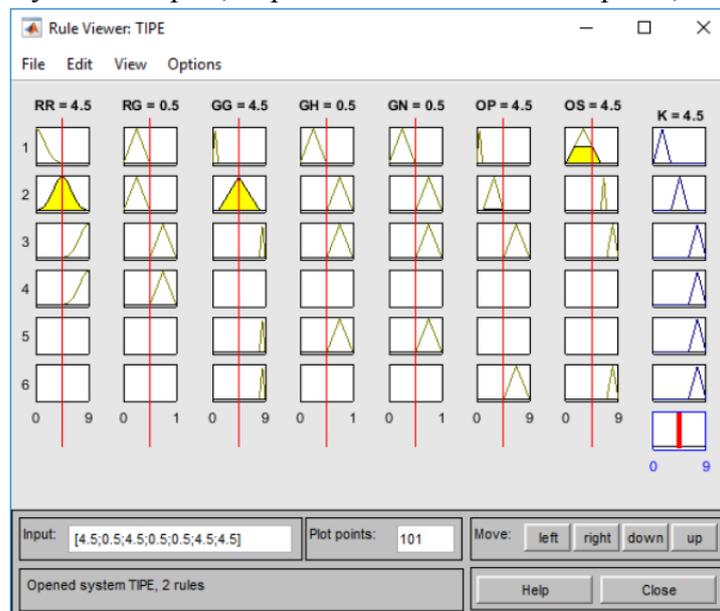


Рис. – Результат нечеткого вывода для конкретных значений входных переменных

Список литературы

1. *Нестеренко М.Ю.* Геоэкология недр нефтегазоносных районов Южного Предуралья монография / М. Ю. Нестеренко; Российская акад. наук, Уральское отделение, Оренбургский научный центр. Екатеринбург, 2012.
2. Строительные нормы и правила: СНиП 22-01-95. Геофизика опасных природных воздействий [Текст]: нормативно-технический материал. – Москва: [б.и.], 1996. – 8 с. – С.2.

05.13.18

М.Ф. Мицик, А.А. Мовчун

Институт сферы обслуживания и предпринимательства,
филиал Донского государственного технического университета,
г. Шахты, m_mits@mail.ru

ДВУМЕРНАЯ И ТРЕХМЕРНАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ИЗДЕЛИЙ В СРЕДЕ MAPLE**DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-1-132-135**

Предлагается способ проектирования технических изделий легкой промышленности, как развертывающихся поверхностей. Формообразование изделий происходит в поле сил тяжести и упругости ткани. Построение трехмерных объектов реализуется в среде Maple на основе команд пакета с библиотекой 4GL. Для построения 3d графических объектов использовалось программное обеспечение, позволяющее строить поверхности и пространственные кривые. В качестве разверток трехмерных поверхностей применялись спиральные развертки с учетом соединительных швов.

Ключевые слова: *двумерная и трехмерная визуализация, пакет Maple 2015, 3 d графические объекты, 2d развертки.*

Быстрое развитие компьютерных технологий в последние 10 – 15 лет приводит к интенсивному росту программного обеспечения. Программы создания компьютерной графики и, в частности, трехмерного моделирования получили массовое распространение в различных сферах: при создании компьютерных игр и фильмов, в архитектуре и строительстве, в медицине и физике, в конструировании и дизайне текстильных изделий, в рекламе и т.д.

Применение компьютерных технологий для проектирования и разработки дизайна изделий позволяет увидеть его прототип задолго до создания самого изделия, что позволяет заказчику существенно расширить возможности выбора. Трехмерная графика позволяет создавать прототипы различных технических изделий, описывая их геометрическую форму и имитируя свойства материалов, из которых они созданы. Средства графики предоставляют возможность проектировать демонстрационный вариант изделия и получить визуальное представление о нем, осмотреть его со всех сторон, с разных точек, при различном освещении, моделировать различные свойства материалов с визуализацией формообразования изделия.

Для создания демонстрационных вариантов могут использоваться различные пакеты программ визуализации, например: Maple, MathCad, Mathematica, MatLab, Embarcadero RAD Studio, 3ds Max и др. При этом среда 3ds Max 2016 предназначена преимущественно для 3d моделирования, а среда Embarcadero RAD Studio расширяет возможности программы Embarcadero C++ Builder XE5, позволяет разрабатывать исполняемые приложения и менять входные параметры макета изделия в реальном времени. При этом в средах 3ds Max 2016 и Embarcadero RAD Studio наблюдается некоторое рассогласование изображений кривых и поверхностей, что вносит неудобства при необходимости совмещения этих объектов визуализации.

Пакет Maple 2015 позволяет выполнять визуализацию изделий на основе символьной математики и является одним из лидеров среди универсальных систем символьных вычислений [1]. Удобство пакета Maple относительно традиционной среды программирования в том, что здесь не требуется жесткая формализация всех переменных и действий с ними. Здесь автоматически обеспечивается выбор подходящих типов переменных и проверяется корректность выполнения операций, не требуется описания переменных и строгой формализации записи. Рабочие окна системы Maple могут быть использованы либо

как интерактивные среды для решения задач, либо как система для подготовки технической документации. Исполнительные группы и электронные таблицы упрощают взаимодействие пользователя с движком Maple, выполняя роль тех первичных средств, при помощи которых в систему Maple передаются запросы на выполнение конкретных задач и вывод результатов.

Система Maple использует процедурный язык 4-го поколения (4GL). Язык 4GL, специально оптимизированный для разработки математических приложений, позволяет сократить процесс разработки, а настроить пользовательский интерфейс помогают элементы Maplelets или документы Maple со встроенными графическими компонентами. Можно также создавать интерактивные документы, публиковать их в Интернете и развертывать вычисления в сети, используя сервер MapleNet.

В среде пакета Maple был разработан программный продукт, предназначенный для демонстрации пространственной формы конических юбок. Коническая юбка является развертывающейся поверхностью, которая приобретает форму в поле сил тяжести и упругости ее материала, определяемую на основе принципа минимума потенциальной энергии [2]. Визуализация конической юбки показана на рисунке 1.

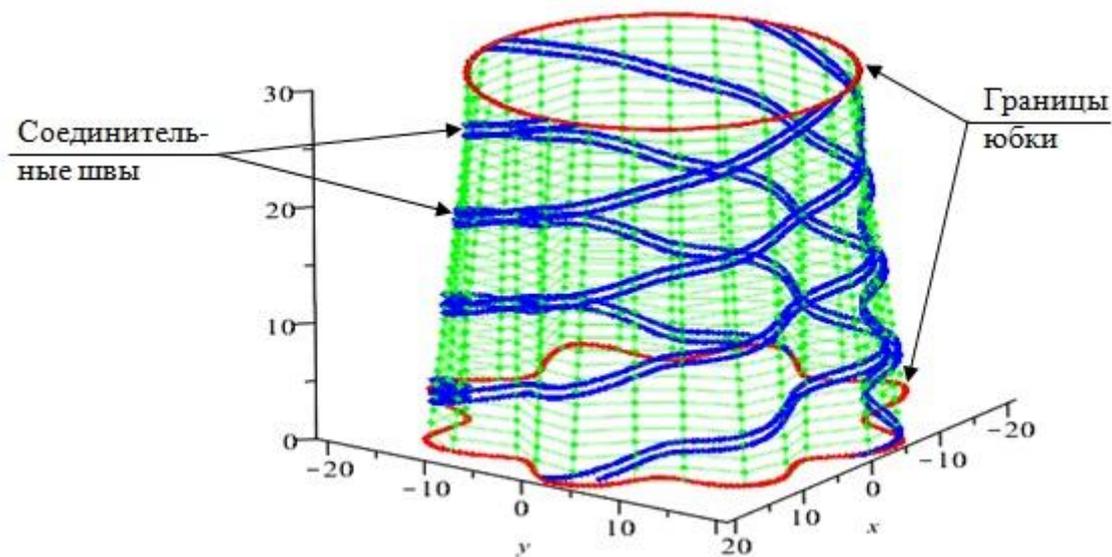


Рис. 1 – Трехмерная визуализация конической юбки

Построение модели пространственной формы однослойной конической юбки состоит из нескольких этапов – построения модели пространственной формы изделия, границ юбки и соединительных швов. Алгоритмы построения поверхности юбки и ее технологических элементов используются для 3d моделирования изделия по заданной двумерной развертке [3].

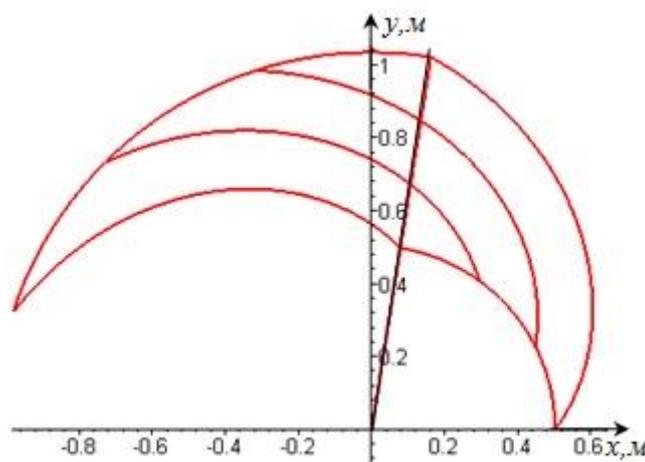


Рис. 2 – Спиральная развертка конической юбки

На рисунке 2 представлен модельный пример спиральной трехзаходной развертки конической юбки с количеством оборотов швов $p = 1$ на женскую фигуру типового телосложения 164-96-104 [4].

Вторым примером моделирования развортывающейся поверхности в среде Maple 9.5 является поверхность аэрофигуры (рисунок 3) – это изделие, которое приобретает форму за счет нагнетаемого воздуха в ее ноги, далее воздух движется внутри тела аэрофигуры, создавая внутри тела давление большее, чем атмосферное, что обеспечивает форму изделия [2]. На голове аэрофигуры имеется отверстие (выхлоп) несколько меньшего радиуса, чем радиус ноги, что позволяет ей, с одной стороны, «держать форму», а с другой стороны – совершать танцевальные движения. Воздух свободно истекает через отверстия в голове и в руках аэрофигуры. Поверхность аэрофигуры можно рассматривать, как первое приближение к поверхности тела человека. С другой стороны, этот объект имеет ценность, как конструкция, которая не подчиняется законам пневмостатики. Она является типичным автоколебательным контуром, который весьма чувствителен к массе оболочки, её моменту инерции, генератору воздушного потока. Все расчеты по данной конструкции проводятся по нелинейным зависимостям на основе уравнений движения воздушного потока внутри аэрофигуры.

Поверхность аэрофигуры можно рассматривать, как первое приближение к поверхности тела человека. С другой стороны, этот объект имеет ценность, как конструкция, которая не подчиняется законам пневмостатики. Она является типичным автоколебательным контуром, который весьма чувствителен к массе оболочки, её моменту инерции, генератору воздушного потока.

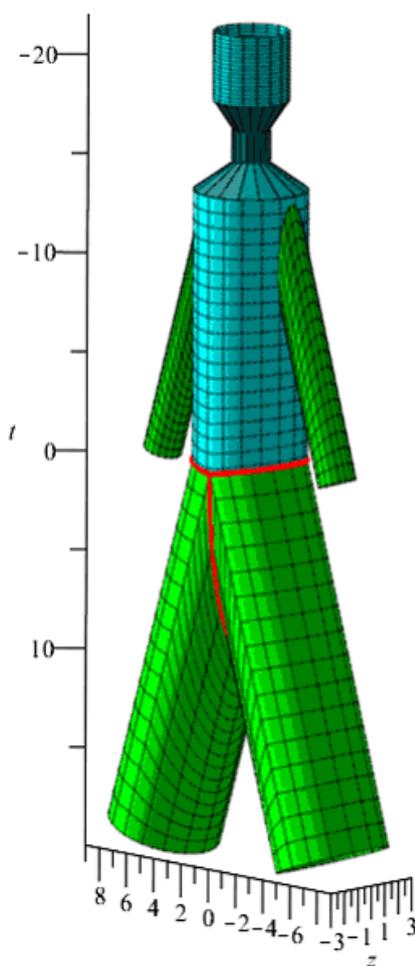


Рис. 3 – Построение поверхности аэрофигуры в среде Maple

Она является типичным автоколебательным контуром, который весьма чувствителен к массе оболочки, её моменту инерции, генератору воздушного потока. Все расчеты по данной конструкции проводятся по нелинейным зависимостям на основе уравнений движения воздушного потока внутри аэромена.

Преимущество поверхностей нулевой гауссовой кривизны заключается в возможности наложения этих поверхностей на плоскость при помощи изгибания, построения их двумерной развертки, что существенно экономит материалы и трудозатраты на их создание [5].

Разработанное программное обеспечение позволяет показать пространственную форму изделий и основывается на аналитическом описании модели. Программа позволяет по заданным размерным признакам и с учетом жесткости материала построить 3d изделие.

Применение программы при проектировании изделий позволяет минимизировать материальные и трудовые затраты на создание новых моделей одежды за счет создания виртуальных образцов 3d моделей изделий, возможности оперативных изменений в образцах моделей и передачи их по сети интернет. Программа может служить вспомогательным инструментом для проектировщиков изделий легкой промышленности.

Список литературы

1. Официальный сайт Maple [Электронный ресурс]. – 2017. Режим доступа: <https://www.maplesoft.com/products/maple/>
2. Трехмерная визуализация швейных изделий в среде EMBARCADERO RAD STUDIO. Бырдина М.В., Бекмурзаев Л.А., Мицик М.Ф. Фундаментальные исследования. 2017. № 8-1. С 27-31.
3. Sze K.Y., Liu X.H. A corporation grid-based model for fabric drapes // Int. J. Numer. Methods Eng., 57 – 2003. – P. 1503-1521.
4. Бекмурзаев, Л.А., Бырдина, М.В., Назаренко, Е.В. Исследование и моделирование формообразования тонкой оболочки // Научно-технический вестник Поволжья. – 2014. - № 4 – С. 58-64.
5. Бырдина, М.В. Проектирование эксклюзивных моделей одежды с использованием аналитического способа развертки // Швейная промышленность. – 2014. - № 3. – С. 40-41.

05.13.18

¹А.Д. Семенов, ²А.В. Волков

¹Пензенский государственный университет,
кафедра автоматики и телемеханики, Пенза, sad-50@mail.ru,
²Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва,
факультет электронной техники,
кафедра электроники и наноэлектроники,
Саранск, elsoldador@rambler.ru

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ АПРОБАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ НАТРИЕВЫХ ЛАМП ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-1-136-139

В статье рассматриваются математическая модель натриевой лампы и сопоставляются результаты моделирования с данными, полученными в ходе эксперимента. Подтверждена адекватность разработанной модели. Апробируемая модель позволяет проводить контроль качества натриевых ламп.

Ключевые слова: *натриевая лампа, математическая модель, экспериментальное исследование.*

Натриевые лампы высокого давления широко применяются для наружного и внутреннего освещения, в том числе для освещения растений в теплицах. После изготовления перед отгрузкой потребителю эти лампы должны пройти процесс стендовых испытаний и разбраковки. Оператор по результатам испытаний производит сортировку ламп.

До настоящего времени контроль напряжения на лампе осуществлялся оператором визуально, что приводило к появлению ошибок в работе и затрудняло анализ причин появления брака.

В связи с этим были поставлены задачи по автоматизации проведения испытаний ламп и оценки их годности. Автоматизированная система должна обеспечивать визуализацию хода испытаний, перестраиваться с одного типа испытуемых ламп на другие, вести архивы результатов испытаний, передавать данные на персональный компьютер мастера участка для вывода статистической информации в графическом виде. Кроме этого должна была предусматриваться возможность сравнения модели «идеальной» лампы с моделью, построенной на основе массива измерений.

В настоящее время математическое моделирование является основным средством исследования и проектирования электротехнического оборудования. Весьма актуальным представляется разработка наглядных и удобных в практическом использовании математических моделей ламп высокого давления. В ряде работ предложены дифференциальные уравнения [4, 5], а также реализация их в вычислительной среде MATLAB с использованием языка программирования и встроенных функций этой среды [6]. Однако для унификации и ускорения процесса разработки моделей и их отладки перспективным представляется использование сигнальных графов [7] и подсистемы Simulink [8].

В работе [5] сформулированы требования к уравнениям дифференциальной модели лампы. В частности, отмечается ограниченность моделей, основанных на алгебраической аппроксимации. Дифференциальные математические модели позволяют учесть начальные условия развития разряда, а также инерционность процесса развития этого разряда. Также должна быть возможность легкого измерения или точного расчета параметров, определяющих поведение модели. Предложенные для использования определяющие параметры [5] связаны с поведением частиц, способных запасать энергию в любом виде, соответствующем электрическим, магнитным и тепловым процессам, а также процессам ионизации атомов.

Для ламп высокого давления приемлемые результаты дает модель, отображаемая системой двух нелинейных дифференциальных уравнений первого порядка:

$$\begin{cases} \frac{dg_{л}}{dt} = A_{л}U_0^2 \frac{\left(\frac{i_{л}}{\beta U_0}\right)^2 - g_{л}^2}{1 + k_1 \left(\frac{|i_{л}|}{\beta g_{л} U_0} - 1\right)} \\ \frac{d\beta}{dt} = \left[k_2 + k_3 \left(\frac{|i_{л}|}{\beta g_{л} U_0}\right)^{k_4} \right] \cdot \left[1 + k_1 \left(\frac{|i_{л}|}{\beta g_{л} U_0} - 1\right) - \beta \right] \end{cases} \quad (1)$$

где $g_{л}$ - приведенная проводимость лампы, учитывающая среднее значение концентрации электронов;

β - безразмерный коэффициент, изменяющийся во времени и учитывающий подвижность электронов;

$i_{л}$ - ток, протекающий через лампу;

U_0 - номинальное напряжение на лампе;

$A_{л}$ - коэффициент, определяемый конструкцией лампы;

k_1 - k_4 - электрические коэффициенты, определяемые для конкретного типа лампы.

В качестве примера рассмотрим лампу ДНаз - 600, для которой.

$k = 0,6$; $k_2 = 1,5 \cdot 10^4$; $k_3 = 3 \cdot 10^4$; $k_4 = 1,5$; $U_0 = 135$; $A_{л} = 5,5$.

Именно эти процессы оказывают существенное влияние на основной (с точки зрения питающей сети) параметр лампы - ее эквивалентную электрическую проводимость.

Проводимость лампы $G_{л}$ может быть определена выражением

$$G_{л} = \beta g_{л} \quad (1)$$

$G_{л}$ изменяется во времени, поскольку β и $g_{л}$ являются в свою очередь переменными во времени.

Мгновенные значения тока и напряжения лампы можно связать по закону Ома, выразив напряжение на лампе через ток и ее проводимость:

$$U_{л} = \frac{i_{л}}{G_{л}} \quad (2)$$

При питании лампы через индуктивный ограничитель уравнения лампы (1) и (2) следует дополнить уравнением по закону Кирхгофа для напряжений с учетом того, что через все элементы, соединенные последовательно, протекает один и тот же ток:

$$e_c(t) = Ri_{л} + L \frac{di_{л}}{dt} + U_{л} \quad (3)$$

где $e_c(t) = E_m \sin(\omega t + \alpha)$ (4) напряжение питающей сети.

L , R - соответственно индуктивность и активное сопротивление ограничительного дросселя.

Для представления этого уравнения в форме задачи Коши выразим производную от тока лампы через переменные состояния и задающие величины источников [7]

$$\frac{di_{л}}{dt} = \frac{1}{L} [e_c(t) - Ri_{л} - U_{л}] \quad (5)$$

После проведенного сравнения модели, выполненной с помощью стандартного набора вычислительных блоков подсистемы Simulink [9], и аналитической модели лампы, выполненной в MATLAB, исполняемый m-файл представлен на рис. 1.

```

clear
global dan
R=1;L=.02;U0=131;A1=5.5;k1=.6;k2=1.5e4;k3=3e4;k4=1.5;
dan=[R L U0 A1 k1 k2 k3 k4];
[T,Y]=ode45(@lam,[0:.00001:1],[0 .001 .1]);
U1=Y(:,1)/(Y(:,2).*Y(:,3));
I1=Y(:,1);
U1=I1./(Y(:,2).*Y(:,3));]
Us=311*sin(100*pi*T);
t=T(10000:end);
us=Us(10000:end);% Напряжение питания
y=I1(10000:end);% Ток лампы
u=U1(10000:end);% Напряжение на лампе
figure(1) %Построение графиков
subplot(1,1,1)
plot(t,y,t,u),grid

```

Рис. 1. Исполняемый m-файл

Сравнение вышеуказанных моделей с полученными экспериментальными осциллограммами представлено на рис. 2.

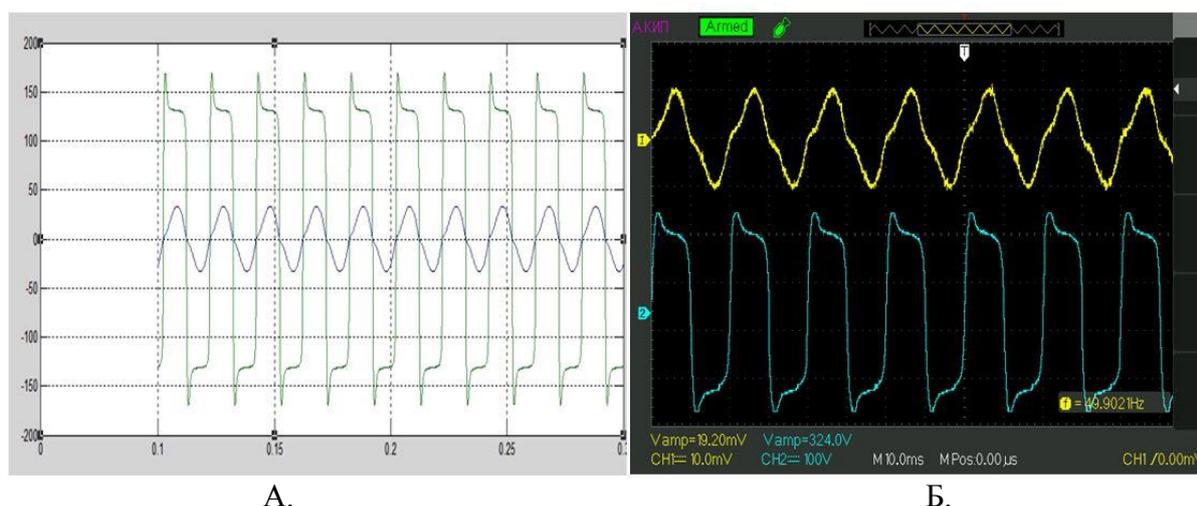


Рис. 2. А – осциллограмма, полученная в результате моделирования; Б – осциллограмма, полученная экспериментально

Для наблюдения за результатами работы модели использовался цифровой запоминающий осциллограф «АКИП-4115/1А», на который выводятся напряжение на лампе и форма тока.

Выводы. Разработанная математическая модель натриевой лампы высокого давления основана на относительно простых дифференциальных уравнениях, отражающих свойства лампы в процессе испытания. Параметры модели для конкретного типа ламп могут быть вычислены либо определены экспериментально. Полученная модель адекватна, что подтверждается полученными экспериментальными результатами. Модель может использоваться для контроля качества выпускаемых ламп.

Список литературы

1. Справочная книга по светотехнике / Под ред. Ю. Айзенберга. М.: Энергоатомиздат, 1983.- 648с.
2. Краснопольский А.Е. Пускорегулирующие аппараты для разрядных ламп. / Краснопольский А.Е., Соколов В.Б., Троицкий А.М. - М.: Энергоатомиздат, 1988. -207 с.
3. Афанасьева Е.И., Скобелев В.М. Источники света и пускорегулирующая аппаратура. - М.: Энергоатомиздат, 1986. - 272 с.
4. Vasumi K., Bo H. Method of calculating of high pressure discharge lamps circuits // J. Inst. Eng. Jap. 1975. - Vol. 59. №5.- P. 194-209.

5. Краснопольский А.Е. О дифференциальном уравнении газоразрядной лампы / Краснопольский А.Е. // Светотехника. – 1977. – № 12. – С. 13-15.
6. Харченко В.Ф. Модифицированная модель нестационарных режимов разрядной лампы высокого давления с индуктивным балластом / В.Ф. Харченко, А.А. Якунин // Світлотехніка та електроенергетика. – 2012. – № 2(30). – С. 4-12.
7. Ягуп В.Г. Автоматизированный расчет тиристорных схем. - Харьков, Вища школа, 1986. - 160 с.
8. Дьяконов В.П. MATLAB 6/6.1/6.5+SIMULINK 4/5. Основы применения. Полное руководство пользователя. - М.: СОЛОН-Пресс, 2002. - 785 с.
9. Харченко В. Ф. Разработка компьютерной модели для разрядной лампы высокого давления / В.Ф. Харченко, В.Г. Ягуп, А.А. Якунин, Е.В. Ягуп и др.// Світлотехніка та електроенергетика. – 2013. – № 2. – С. 52-57.

05.13.18

Г.М. Тутаев, М.А. Бобров

ФГБОУ ВО «МГУ им. Н.П. Огарёва»,
Институт электроники и светотехники, кафедра электроники и наноэлектроники,
Саранск, bobrovma92@mail.ru

АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ НАБЛЮДАТЕЛЯ МАГНИТНОГО ПОТОКА В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ НА БАЗЕ МАШИНЫ ДВОЙНОГО ПИТАНИЯ

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-1-140-143

В статье проведен анализ устойчивости модели наблюдателя магнитного потока для реализации бездатчиковых законов управления электроприводом на базе машины двойного питания. Определены передаточные функции и характеристические уравнения контуров управления и методом D-разбиения исследована устойчивость системы регулирования при изменениях влияющего параметра – сопротивления ротора двигателя.

Ключевые слова: устойчивость, наблюдатель магнитного потока, машина двойного питания, характеристическое уравнение.

В настоящее время наиболее важной проблемой при разработке систем бездатчикового векторного управления электроприводами переменного тока является обеспечение устойчивости наблюдателей координат при изменениях параметров схемы замещения машины в рабочих режимах [1-4].

Так изменение сопротивления цепи ротора R_r' может привести систему управления к неустойчивому состоянию. Для оценки робастности синтезированной модели наблюдателя магнитного потока необходимо определить условия устойчивости системы и ее границу по параметру R_r' [1]. В [5] показано, что характеристические уравнения многоконтурной системы с подчинённым регулированием в цепи статора машины двойного питания не содержат параметров R_r' и L_m' , поэтому допустимо рассматривать лишь контур управления магнитным состоянием машины.

Передаточная функция наблюдателя магнитного потока имеет вид [1]:

$$\frac{1}{p} - \left(\frac{R_r}{T_r p + 1} \frac{T_{lr} p + 1}{p} R_r' \right) = \frac{T_r p + 1 - R_r R_r' T_{lr} p - R_r R_r'}{p(T_r p + 1)}.$$

Разомкнутый контур управления потока без учёта обратной связи (ОС) можно описать как:

$$\begin{aligned} & \frac{k_{pn}(T_{pn}p + 1)}{T_{pn}p} \frac{1}{k_{ur}} \frac{k_n}{T_n p + 1} \left(\frac{(T_r p + 1) - R_r R_r' T_{lr} p - R_r R_r'}{p(T_r p + 1)} \right) = \\ & = \frac{k_n k_{pn}(T_{pn}p + 1)}{T_{pn}p(T_n p + 1)} \left(\frac{T_r p - R_r R_r' T_{lr} p - R_r R_r' + 1}{p(T_r p + 1)} \right). \end{aligned}$$

Тогда с учётом отрицательной ОС передаточная функция контура управления потоком примет вид:

$$W_\Sigma = \frac{W_{pn}}{1 + W_{pn} W_{oc}}.$$

Знаменатель передаточной функции контура управления потоком запишем как:

$$1 + k_{on} \frac{k_n k_{pn} (T_{pn} p + 1)}{T_{pn} p (T_n p + 1)} \left(\frac{T_r p - R_r R_r' T_{lr} p - R_r R_r' + 1}{p (T_r p + 1)} \right) =$$

$$= \frac{T_{pn} p^2 (T_n p + 1) (T_r p + 1) + k_{on} k_n k_{pn} (T_{pn} p + 1) ((T_r p + 1) R_r R_r' T_{lr} p - R_r R_r')}{T_{pn} p^2 (T_n p + 1) (T_r p + 1)}.$$

Тогда передаточная функция контура управления потоком примет вид:

$$W_{\Sigma} = \frac{k_n k_{pn} (T_{pn} p + 1) (T_r p + 1 - R_r R_r' T_{lr} p - R_r R_r')}{T_{pn} p^2 (T_n p + 1) (T_r p + 1)}.$$

$$\cdot \frac{T_{pn} p^2 (T_n p + 1) (T_r p + 1)}{T_{pn} p^2 (T_n p + 1) (T_r p + 1) + k_{on} k_n k_{pn} (T_{pn} p + 1) (T_r p + 1 - R_r R_r' T_{lr} p - R_r R_r')}.$$

Для нахождения области устойчивости рассмотрим характеристическое уравнение (знаменатель передаточной функции контура управления потоком) [6]:

$$H = T_{pn} p^2 (T_n p + 1) (T_r p + 1) + k_{on} k_n k_{pn} (T_{pn} p + 1) (T_r p - R_r R_r' T_{lr} p - R_r R_r' + 1).$$

После преобразований характеристическое уравнение примет вид:

$$H = T_{pn} p^2 (T_n T_r p^2 + T_n p + T_r p + 1) + k_{on} k_n k_{pn} (T_{pn} T_r p^2 + T_{pn} p - T_{pn} T_{lr} R_r R_r' p^2 - T_{pn} p R_r R_r' + T_r p + 1 - R_r R_r' T_{lr} p - R_r R_r').$$

Пусть $k_{on} k_n k_{pn} = a$, тогда характеристическое уравнение примет вид:

$$H = T_{pn} T_n T_r p^4 + T_{pn} T_n p^3 + T_r T_{pn} p^3 + T_{pn} p^2 + a (T_{pn} T_r p^2 - T_{pn} T_{lr} R_r R_r' p^2 + T_{pn} p + T_r p - T_{pn} p R_r R_r' - T_{lr} p R_r R_r' - R_r R_r' + 1).$$

Раскрываем скобки и получаем уравнение следующего вида:

$$H = T_{pn} T_n T_r p^4 + T_{pn} T_n p^3 + T_r T_{pn} p^3 + T_{pn} p^2 + a T_{pn} T_r p^2 - a T_{pn} T_{lr} R_r R_r' p^2 + a T_{pn} p + a T_r p - a T_{pn} p R_r R_r' - a T_{lr} p R_r R_r' - a R_r R_r' + a).$$

Для определения областей устойчивости согласно методу *D*-разбиения необходимо записать передаточную функцию и преобразовать её в вид:

$$W(p) = \frac{R(p)}{Q(p)}; Q(p) = N(p) + \nu S(p);$$

$$\nu = -\frac{N(p)}{S(p)}, \text{ где для нашего случая } \nu = R_r'.$$

Выразив сопротивление ротора из характеристического уравнения, получаем следующее соотношение:

$$R_r' = -\frac{T_{pn} T_n T_r p^4 + T_{pn} T_n p^3 + T_r T_{pn} p^3 + T_{pn} p^2 + a T_{pn} T_r p^2 + a T_{pn} p + a T_r p + a}{-a T_{pn} T_{lr} R_r p^2 - a T_{pn} R_r p - a T_{lr} R_r p - a R_r}.$$

Коэффициент *a* и другие постоянные времени контуров регулирования являются известными числовыми значениями, поэтому сгруппируем выражение и запишем его в следующем виде:

$$R_r' = \frac{T_{pn} T_n T_r p^4 + (T_{pn} T_n + T_r T_{pn}) p^3 + (T_{pn} + a T_{pn} T_r) p^2 + (a T_{pn} + a T_r) p + a}{a T_{pn} T_{lr} R_r p^2 + a T_{pn} R_r p + a T_{lr} R_r p + a R_r}.$$

После подстановки числовых значений, определенных постоянными времени контуров управления конкретным двигателем (4AK250SB4Y3 мощностью 55 кВт) получим:

$$R_r' = \frac{0.000787 p^4 + 0.2644 p^3 + 9.293 p^2 + 34.3 p + 33.14}{0.009437 p^2 + 1.03 p + 1.7199}.$$

Далее согласно методу D -разбиений найдем область устойчивости системы по параметру двигателя R_r' . Тогда характеристическое уравнение, после замены $p = j\omega$ примет вид:

$$D(j\omega) = X(\omega) + jY(\omega) = 0.$$

Данное уравнение разбивается на два:

$$\begin{cases} X(\omega, R_r') = 0; \\ Y(\omega, R_r') = 0. \end{cases}$$

Для построения годографа (АФЧХ) системы применяем программный пакет *LabVIEW*. В данном пакете реализуем программу, которая работает с двумя уравнениями из соотношения параметра R_r' . Данная программа представлена на рисунке 1.

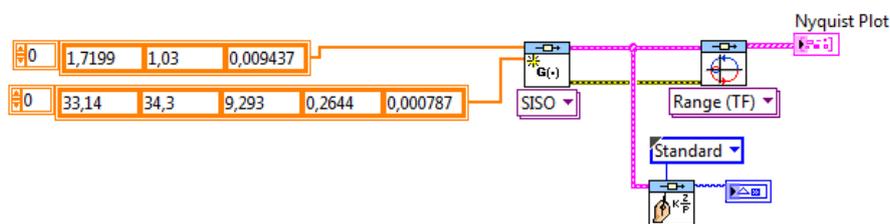


Рис. 1 – Программа для построения годографа (АФЧХ) контура управления потоком бездатчиковой СВУ ЭП на базе МДП в программном пакете *LabVIEW*

После ввода числовых значений через блок «SISO», применяем специальный блок для построения АФЧХ из библиотеки *LabVIEW*. Полученный результат выводим на экран с помощью блока «Nyquist Plot».

Результат построения годографа показан на рисунке 2.

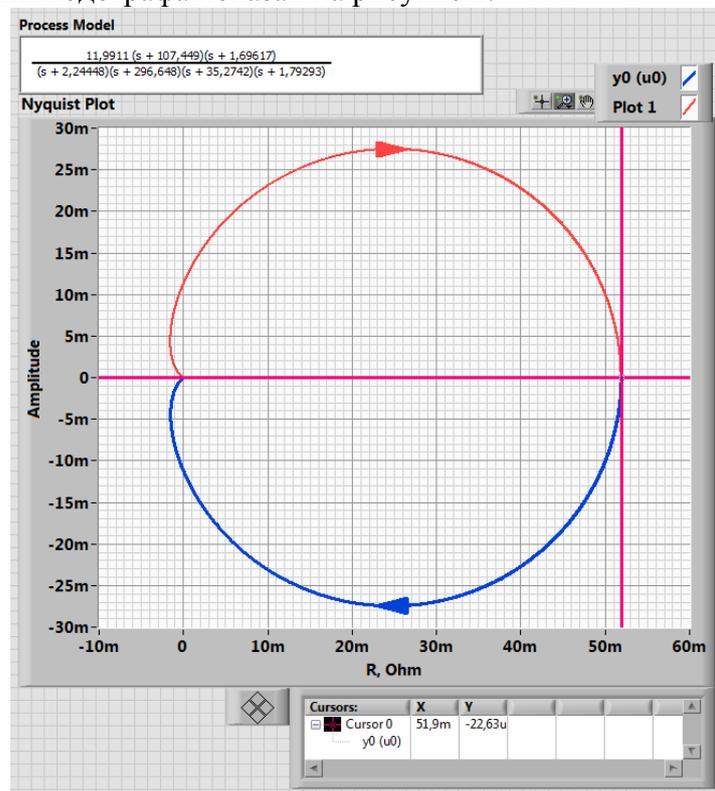


Рис. 2 – АФЧХ контура управления потоком бездатчиковой СВУ ЭП на базе МДП в программном пакете *LabVIEW*

Т.к. значения параметра R_r' являются действительными и всегда положительными, то наибольший интерес представляет положительная действительная полуось АФЧХ. Область внутри годографа претендует называться устойчивой, а точка пересечения оси X – границей устойчивости. Это является необходимым, но не достаточным условием нахождения области устойчивости системы. АФЧХ пересекает ось X в точке с координатами (0.00519, 0), а значит, $R_r' = 0.00519$ является критическим значением при нахождении границ устойчивости.

При решении характеристического уравнения с параметром $R_r' = 0.00519$ все корни являются «левыми», а значит, область внутри годографа действительно является областью устойчивости.

Список литературы

1. Бобров М.А. Разработка наблюдателя основного магнитного потока для реализации бездатчиковых принципов управления электроприводом на базе асинхронизированного вентильного двигателя/ М.А. Бобров, Г.М. Тутаев– В сборнике: Актуальные вопросы науки и техники. Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. 2017. – 45 с.
2. Виноградов А., Сибирцев А., Колодин И. Адаптивно-векторная система управления бездатчикового асинхронного электропривода серии ЭПВ /Силовая электроника. – 2006. №3. – С.46-51.
3. Шрейнер Р.Т. Система векторного управления асинхронным электроприводом/ Р.Т. Шрейнер, А.И. Калыгин, В.К. Кривовяз, С.И. Шилин – Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2010. № 3-1. С. 101-108.
4. Gennady Tutaev, Maxim Bobrov. Rotor speed estimation in control system of electric drive based on induction inverter-fed motor, IX International Conference on Power Drives Systems (ICPDS), 2016, p: 1-4.
5. Бобров М.А. Исследование влияние параметров базовой машины на многоконтурную систему управления электроприводом на базе асинхронизированного вентильного двигателя/ М.А. Бобров – В сборнике: Проблемы и достижения в науке и технике. Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. 2017. – 78 с.
6. Бесекерский В.А. Теория систем автоматического управления/ В.А. Бесекерский, Е.П. Попов. Учебник. — СПб.: Профессия, 2003. — 752 с.

**АННОТАЦИИ
ABSTRACTS**

В.С. Минкин, П.П. Суханов

**ЯМР - АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ СТРУКТУРИРОВАНИЯ
ОЛИГОЭФИРАКРИЛАТСУЛЬФИДНЫХ КОМПОЗИЦИЙ В
ПРИСУТСТВИИ АМИНОАЛКИЛСИЛАНА АГМ - 9.
СООБЩЕНИЕ 1. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ КОМПОНЕНТОВ
ОЛИГОЭФИРАКРИЛАТСУЛЬФИДНЫХ СМЕСЕЙ***Ключевые слова: олигоэфиракрилат, полисульфидный
олигомер, аминоалкилсилан, донорно-акцепторные
взаимодействия, ЯМР спектроскопия.*

В работе представлены результаты исследования методом ЯМР спектроскопии особенностей взаимодействия компонентов смесей промышленных олигомеров полисульфидной и эфиракрилатной природы при нормальных или близких к ним температурах. Показано, что в присутствии аминоалкилсилана АГМ-9 и в условиях значительной вязкости реакционной среды сохраняется высокая активность подвижных протонов и донорно-акцепторных взаимодействий между всеми функциональными группами композиции, что обеспечивает возможность последующего развития процессов структурирования по механизму ионной природы.

П.П. Суханов, В.С. Минкин, А.П. Суханов

**ЯМР - АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ СТРУКТУРИРОВАНИЯ
ОЛИГОЭФИРАКРИЛАТСУЛЬФИДНЫХ КОМПОЗИЦИЙ В
ПРИСУТСТВИИ АМИНОАЛКИЛСИЛАНА АГМ - 9.
СООБЩЕНИЕ 2. МЕХАНИЗМ СТРУКТУРИРОВАНИЯ
ОЛИГОЭФИРАКРИЛАТСУЛЬФИДНЫХ СМЕСЕЙ***Ключевые слова: олигоэфиракрилат, полисульфидный
олигомер, аминоалкилсилан, механизм структурирования,
ЯМР релаксометрия.*

В работе представлены результаты исследования методом ЯМР релаксометрии кинетики структурирования и физикомеханики отвержденных смесей промышленных олигомеров полисульфидной и эфиракрилатной природы при нормальных условиях в присутствии аминоалкилсилана АГМ-9. Эти и полученные ранее данные ЯМР спектроскопии позволяют предположить, что основу ионного маршрута в механизме структурирования изученных композиций составляют донорно-акцепторные комплексы, образуемые дисульфидными и концевыми группами олигомеров и АГМ-9.

Х.Ш. Джураев, З.Ш. Асомиддинов, М.М. Сафаров,
А.Н. Умаров**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ НЕКОТОРЫХ
ЖИДКИХ РАСТВОРОВ С ПОМОЩЬЮ
МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЯВЛЕНИЯ ПЕРЕНОСА
ТЕПЛА***Ключевые слова: тепло, коэффициент теплопроводности,
жидкий раствор, масло.*

В работе представлены результаты исследование математической модели явления переноса тепла для определения коэффициента теплопроводности. Проведён численный расчет зависимости от времени коэффициента теплопроводности жидких растворов на примере нерафинированного подсолнечного масла.

Н.М. Чиганова

**МЕТОД КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ ПО
КОЛИЧЕСТВЕННОМУ ПРИЗНАКУ***Ключевые слова: планы контроля, экстремумы функции,
контролируемый параметр.*

При решении задач контроля качества строительных изделий по количественному признаку возникает проблема нахождения экстремальных значений функций, представляющие собой оперативную характеристику контроля. В настоящей статье сделана попытка найти в явном виде экстремальные значения оперативной характеристики.

V.S. Minkin, P.P. Sukhanov

**NMR ANALYSIS OF THE STRUCTURING PROCESSES OF
OLYGOESTERACRYLATE` COMPOSITIONS IN THE
PRESENCE OF AMINOALKYLSILANE AGM – 9.
MESSAGE 1. INTERACTION OF COMPONENTS OF
OLYGOESTERACRYLATE` MIXTURES***Keywords: oligoesteracrylate, polysulfide oligomer,
aminoalkylsilane, donor-acceptor interaction, NMR
spectroscopy.*

The paper presents the results of the study by NMR spectroscopy the interactions of the components of mixtures of industrial oligomers of polysulfide and esteracrylate nature at normal or close to it temperatures. It is shown that in the presence of aminoalkylsilane AGM-9 in conditions of considerable viscosity of the reaction medium is maintained high activity of mobile protons and donor-acceptor interactions between all functional groups of the composition that provides the possibility of subsequent development of structuring processes by the mechanisms of the ionic nature.

P.P. Sukhanov, V.S. Minkin, A.P. Sukhanov

**NMR ANALYSIS OF THE STRUCTURING PROCESSES OF
OLYGOESTERACRYLATE` COMPOSITIONS IN THE
PRESENCE OF AMINOALKYLSILANE AGM – 9.
MESSAGE 2. THE MECHANISM OF STRUCTURING OF
OLYGOESTERACRYLATE` MIXTURES***Keywords: oligoesteracrylate, polysulfide oligomer,
aminoalkylsilane, structuring mechanism, NMR relaxometry.*

The paper presents the results of the study of kinetics of structuring by NMR relaxometry and physicomechanical properties of cured mixtures of industrial oligomers of polysulfide and esteracrylate nature under normal conditions in the presence of aminoalkylsilane AGM-9. These and previously obtained NMR spectroscopy data allow to suggest that the basis of the ion route in the mechanism of structuring of the studied compositions comprise donor-acceptor complexes formed by the disulfide bonds and end groups of the oligomers and AGM-9.

Kh.Sh. Dzhuraev, Z.Sh. Asomiddinov, M.M. Safarov,
A.N. Umarov**DEFINE THE HEAT CONDUCTIVITY OF SOME LIQUID
SOLUTIONS USING A MATHEMATICAL MODEL OF THE
PHENOMENON OF WARMTH***Keywords: heat, thermal coefficient, liquid solution, oil.*

It presents the results of a study of the mathematical model of the heat transfer phenomenon to determine the coefficient of thermal conductivity. A numerical calculation has been conducted on the time of the coefficient of heat conductivity for liquid solutions on the example of crude sunflower oil.

N.M. Chiganova

**THE PRODUCTS QUALITY CONTROL METHOD BY
QUANTITATIVE CRITERIA***Keywords: control plans, function extremes, controlled
parameter.*

When solving problems of quality control of construction products on a quantitative basis, the problem of finding the extreme values of functions occurs. These extreme values are an operating characteristics of quality control. In this article, an attempt is made to find the extreme values of the operating characteristic in an explicit form.

Л.С. Григорьева

ВОДНО-СОЛЕВЫЕ СИСТЕМЫ ЛАНТАНОИДОВ

Ключевые слова: редкоземельные элементы, водно-солевые системы, трихлорацетаты, свободная энергия.

В работе представлены результаты изучения тройных водно-солевых систем трихлорацетатов $Ln^1(CCl_3COO)_3 - Ln^2(CCl_3COO)_3 - H_2O$, где Ln – катион редкоземельного элемента, установлены закономерности в поведении ветвей растворимости и в характере взаимодействия компонентов.

В.А. Коршиков, К.А. Дычко, Г.Л. Рыжова
СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВОДНОЙ

ВИБРОМАГНИТНОЙ И ВОДНОЙ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ЭКСТРАКЦИИ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ САПРОПЕЛЯ

Ключевые слова: вибромагнитная экстракция, ультразвуковая экстракция, липиды, жирные кислоты, ГХ-МС.

В работе сравниваются эффективность водной вибромагнитной и водной ультразвуковой экстракции при извлечении липидных соединений из пресноводного сапропеля. Результаты исследования методами гравиметрии и ГХ-МС показывают, что использование вибромагнитной экстракции позволяет получить на 34% больше липидов и на 40% больше жирных кислот, чем ультразвуковая экстракция.

У.М. Малага, М.В. Тачаев, Н.Я. Есина, М.Н. Курасова
РАЗНОЛИГАНДНЫЕ КОМПЛЕКСНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ РОДИЯ (III) С ПИРИМИДИНОВЫМИ, ПУРИНОВЫМИ ОСНОВАНИЯМИ И АЛАНИНОМ

Ключевые слова: разнолигандные комплексы, родий (III), аденин, аланин, цитозин, урацил, гипоксантин.

Взаимодействием водных растворов синтезированы координационные соединения: $Rh(Cyt)(Ala^-)Cl_2 \cdot H_2O$, $Rh(Ura)(Ala^-)Cl_2 \cdot H_2O$, $Rh(Ade)(Ala^-)Cl_2 \cdot H_2O$, $Rh(Hyp)(Ala^-)Cl_2 \cdot H_2O$. Выделенные соединения охарактеризованы методами ИК и ЯМР спектроскопии. Установлен характер координации аминокислоты и пуриновых и пиримидиновых основание ионом родия (III).

А.С. Андреев, В.А. Гаджиян, Е.В. Щербаклова
О СТАБИЛИЗАЦИИ ПОЛОЖЕНИЯ ДВУЗВЕННОГО МАНИПУЛЯТОРА БЕЗ ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТЕЙ

Ключевые слова: управление, стабилизация, манипулятор, ПИ-регулятор.

Двухзвенный манипулятор является составной частью многих робототехнических систем. Поэтому задача об его управлении является классической и актуальной. В статье излагаются новые результаты решения задачи о стабилизации заданного положения двухзвенного манипулятора в нелинейной постановке с использованием нелинейного ПИ-регулятора.

Е.П. Барыльникова, О.А. Кулаков, И.П. Талипова
ВЛИЯНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ СИЛОВОГО АГРЕГАТА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ АВТОМОБИЛЯ

Ключевые слова: автомобиль, работоспособность, эффективность, производительность, изнашивание, сцепление, вибрации, мощность, крутящий момент, удельный расход топлива.

В работе рассматриваются проблемы эффективности грузовых автомобилей. Проведен анализ влияния изнашивания элементов силового агрегата на работоспособность подвижного состава. Представлены результаты исследования влияния работы неисправного сцепления на параметры двигателя и производительность подвижного состава.

А.П. Буйносов
МЕТОДИКА ОЦЕНКИ РЕСУРСА БАНДАЖЕЙ КОЛЕСНЫХ ПАР ЛОКОМОТИВОВ

Ключевые слова: локомотив, колесная пара, бандаж, ресурс, методика, оценка.

В статье приведена новая методика оценки ресурса колесных

L.S. Grigoryeva

SYSTEMS OF RARE EARTH ELEMENTS

Keywords: rare earth elements, water-salt systems, trichloroacetates, free energy.

This paper presents the results of the study of water-salt systems of trichloroacetates $Ln^1(CCl_3COO)_3 - Ln^2(CCl_3COO)_3 - H_2O$ at 298 K, where Ln is the cation of a rare-earth element and to establish regularities in the behavior of solubility branches and in the nature of component interaction.

V.A. Korshikov, K.A. Dychko, G.L. Ryzhova
COMPARISON OF THE EFFECTIVENESS OF AQUEOUS VIBROMAGNETIC AND AQUEOUS ULTRASONIC EXTRACTION OF ORGANIC SUBSTANCES OF SAPROPEL

Keywords: vibromagnetic extraction, ultrasonic extraction, lipids, fatty acids, GC-MS.

In this paper, the effectiveness of aqueous vibro-magnetic and aqueous ultrasonic extraction is compared with the extraction of lipid compounds from freshwater sapropel. The results of the study using gravimetry and GC-MS show that the use of vibromagnetic extraction allows to obtain 34% more lipids and 40% more fatty acids than ultrasonic extraction.

W.M. Malaga, M.V. Tachaev, N.Y. Esina, M.N. Kurasova
MIXED LIGAND COMPLEX COMPOUNDS OF RHODIUM (III) WITH PYRIMIDINE, PURINE BASES AND ALANINE

Keywords: mixed ligand complex, rhodium (III), adenine, alanine, cytosine, uracil, hypoxanthine.

Complexes of $Rh(Cyt)(Ala^-)Cl_2 \cdot H_2O$, $Rh(Ura)(Ala^-)Cl_2 \cdot H_2O$, $Rh(Ade)(Ala^-)Cl_2 \cdot H_2O$, $Rh(Hyp)(Ala^-)Cl_2 \cdot H_2O$ are synthesized by aqueous solutions interaction and characterized by means of IR- and NMR-spectroscopy. The way of coordination of alanine, purine and pyrimidine base by $Rh(III)$ ion was established.

A.S. Andreev, V.A. Gadzhian, E.V. Shcherbakova
ON POSITION STABILIZATION OF A TWO-LINK MANIPULATOR WITHOUT VELOCITY MEASUREMENT

Keywords: control, stabilization, manipulator, PI regulator.

In this paper, the problem on position feedback stabilization of a two-link manipulator is considered in a non-linear formulation using PI regulators.

E.P. Barylnikova, O.A. Kulakov, I.P. Talipova
INFLUENCE OF THE TECHNICAL CONDITION OF ELEMENTS OF POWER UNIT FOR EFFICIENCY OF THE VEHICLE

Keywords: car, efficiency, efficiency, performance, wear, grip, vibration, power, torque, specific fuel consumption.

The problems of the efficiency of trucks are discussed. The analysis of the effect of wear on the components of the power unit on the operability of the rolling stock is carried out. The results of the investigation of the effect of the work of the faulty coupling on the engine parameters and the performance of the rolling stock are presented.

A.P. Buinosov
METHODS OF EVALUATION RESOURCE OF BANDAGES OF WHEEL PAIRS OF LOCOMOTIVES

Keywords: locomotive, wheel pair, bandage, resources, methodology, assessment.

The article presents a new method of resource estimation of the

пар, которая в отличие от используемой в настоящее время позволяет более точно прогнозировать износ бандажей в эксплуатации и определять ресурс до обточки и смены бандажей локомотивов.

A.A. Вознесенская, Л.В. Беляев, Д.А. Кочуев, Д.М. Кононов,
И.В. Шинаков

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УГЛЕРОДНОЙ ДОБАВКИ НА ПОГЛОЩЕНИЕ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ СЕЛЕКТИВНОМ ЛАЗЕРНОМ ПЛАВЛЕНИИ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ АЛЮМИНИЯ

Ключевые слова: лазерное спекание, углерод, легирующая добавка, поглощение.

Проведена экспериментальная работа по лазерному плавлению порошка алюминия и композиции Al+Mg+nC. Изучено влияние длительности лазерного импульса на результат обработки порошковой композиции. Порошки Al+Mg+nC были получены путем механической активации в шаровой мельнице. Проведено исследование на наличие пор и трещин. Качественно показана возможность изменения поглощательной способности гранул порошковой композиции путем использования сильно поглощающих материалов.

S. B. Zhilina

КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ И РАСЧЕТНАЯ МОДЕЛИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КОМПЛЕКТУЮЩИМИ ИЗДЕЛИЯМИ МЕЛКОСЕРИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА ПРИБОРОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Ключевые слова: цифровое предприятие, особенности обеспечения мелкосерийного производства.

В статье представлены модели обеспечения комплектующими изделиями мелкосерийного производства приборостроительного предприятия при непрерывно поступающих изменениях в конструкторской и технологической документациях. Приведенные модели использованы при построении системы управления производством.

A.V. Ivashchenko, M.A. Tarasova, D.A. Kochuev, K.S. Khorkov,
D.M. Kononov, A.V. Zhdanov

ПОЛУЧЕНИЕ УГЛЕРОДНЫХ ПЕРИОДИЧЕСКИХ СТРУКТУР НА КОНТАКТИРУЮЩИХ ПОВЕРХНОСТЯХ ПРЕЦИЗИОННЫХ ДЕТАЛЕЙ

Ключевые слова: фемтосекундное лазерное излучение (ЛИ), стеклоглерод (СУ), спектроскопия комбинационного рассеяния (КР-спектр), поверхностно-периодические структуры (ППС).

В работе рассмотрены механизмы формирования углеродных нано- и микроструктур контактирующих поверхностях прецизионных деталей под действием фемтосекундного лазерного излучения, а также механизмы взаимодействия фемтосекундных импульсов с углеродом. Полученные нано- и микроструктуры исследованы с помощью спектроскопии комбинационного рассеяния и растровой электронной микроскопии. На основании полученных данных сделаны выводы о динамике структурно фазовых изменений.

**В.Ф. Пегашкин, И.И. Вендер, Л.В. Боршова
ОБРАБОТКА КРОМОК ЛОПАСТНЫХ ДЕТАЛЕЙ
КВАЗИЖИДКИМ ИНСТРУМЕНТОМ**

Ключевые слова: технология машиностроения, обработка кромок, абразивная среда.

Предложен метод удаления заусенцев и закругления кромок на выступах обточенных деталей вращением их в обрабатывающей среде – квазижидким инструментом, состоящим главным образом из фракций металлической дроби. Приведены зависимости для определения производительности процесса в зависимости от размеров заусенцев и скорости вращения обрабатываемой детали.

P.M. Salov, T.G. Vinogradova, V.V. Plotnikov, S.S. Saykin,
N.V. Mulyukhin, D.P. Salova, V.N. Cai, S.S. Sorokin
ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ПРАВКИ КРУГОВ НА

wheelset, which is in contrast to currently used allows you to more accurately predict the wear of tires in use and to define a resource before turning and changing bandages locomotives.

A.A. Voznesenskaya, L.V. Belyaev, D.A. Kochuev,
I.V. Shinakov

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF THE CARBON ADDITIVE ON ABSORPTION OF LASER RADIATION IN SELECTIVE LASER MELTING OF MATERIALS BASED ON ALUMINUM

Keywords: laser sintering, carbon, alloying additive, absorption. Experimental work on laser melting of aluminum powder and Al+Mg+nC composition was carried out. The effect of the duration of the laser pulse on the result of processing the powder composition is studied. Al+Mg+nC powders were obtained by mechanical activation in a ball mill. The research work consisted of the analysis of the initial material, the particle size distribution, and the morphology of the powder particles. A study was also conducted for the presence of pores and cracks. The possibility of changing the absorption capacity of the granules of a powder composition by using highly absorbent materials is qualitatively demonstrated.

S.B. Zhilina

CONCEPTUAL AND CALCULATIONAL MODELS TO PROVIDE THE SMALL BRANCH PRODUCTION AT THE INSTRUMENT MAKING PLANT FOR COMPONENT PARTS

Keywords: virtual digital plant, small branch production features. The article represents the models to provide the small branch production at the instrument making plant for component parts under permanently making changes in design and technology documentation. The models given are applied to arrange the management system of production.

A.V. Ivashchenko, M.A. Tarasova, D.A. Kochuev,
K.S. Khorkov, D.M. Kononov, A.V. Zhdanov

OBTAINING CARBON PERIODIC STRUCTURES ON CONTACT SURFACES OF PRECISION PARTS

Keywords: femtosecond laser radiation, glassy carbon, Raman spectroscopy, surface-periodic structures, scanning.

The mechanisms of formation of carbon nano- and microstructures of contacting surfaces of precision parts under the influence of femtosecond laser radiation, as well as mechanisms of interaction of femtosecond pulses with carbon are considered in the work. The obtained nano- and microstructures were studied by Raman spectroscopy and scanning electron microscopy. Based on the data obtained, conclusions are drawn about the dynamics of structural phase changes.

**V.F. Pegashkin, I.I. Vender, L.V. Borshova
PROCESSING OF EDGES OF BLADED DETAILS
QUASILIQUID TOOL**

Keywords: technology of mechanical engineering, processing of edges, abrasive environment.

The method of removal of agnails and curve of edges on ledges of the ground details by their rotation in the processing environment – the quasiliquid tool consisting mainly of fractions of metal fraction is offered. Dependences for determination of productivity of process depending on the sizes of agnails and speed of rotation of the processed detail are given.

P.M. Salov, T.G. Vinogradova, V.V. Plotnikov, S.S. Saykin,
N.V. Mulyukhin, D.P. Salova, V.N. Cai, S.S. Sorokin
INFLUENCE OF CONDITIONS OF EDITING OF CIRCLES

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ИСТОЧНИКОВ ТЕПЛА В ЗОНЕ ШЛИФОВАНИЯ

Ключевые слова: правка, качество, температура, поверхность, импульс, плотность.

В работе представлены условия правки кругов, при которых обеспечивается отсутствие локальных участков с уровнем температур, вызывающих дефекты. Температура шлифования складывается из отдельных импульсов, создаваемых абразивными зернами, наполнителем и связкой. Оптимальное расположение этих источников тепла на круге обеспечивает высокую производительность операции.

П.М. Салов, М.В. Купцов, Т.Г. Виноградова, Ю.И. Воронцов, С.С. Сайкин, Д.П. Салова, Н.В. Петрова, В.С. Григорьев
ФОРМА КРУГА ДЛЯ ЗАТОЧКИ ИНСТРУМЕНТА И ЕЕ СВЯЗЬ С ДЛИТЕЛЬНОСТЬЮ ПРИРАБОТКИ И КРИТИЧЕСКОЙ СКОРОСТЬЮ ВРЕЗАНИЯ В ЗАГОТОВКУ
 Ключевые слова: форма круга, внутреннее трение, вязкость, напряжения, среда Фойхта.

В работе обоснована целесообразность работы кругами оптимальной формы.

А.Р. Фардеев, А.А. Фардеев, А.М. Абдуллина
АНАЛИЗ РАБОТЫ ТРУБОПРОВОДА МАНИПУЛЯТОРА, ИСПОЛЬЗУЕМОГО В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ КОВКИ ИЛИ ГОРЯЧЕЙ ШТАМПОВКИ ЗАГОТОВОК
 Ключевые слова: динамика трубопровода, гидроприводы манипулятора, уравнение Бернулли, суммарные потери давления, относительные переменные.

В статье исследована динамика трубопровода гидроприводов манипулятора с тремя поступательными переносными степенями подвижности, используемого для переноса заготовок в технологическом процессековки или горячей штамповки. Преобразовано уравнение Бернулли при неустановившемся течении жидкости. Определена структура функции суммарных потерь давления в трубопроводе и произведена ее линеаризация, введены относительные переменные. Выведено уравнение, описывающее работу трубопровода. Полученное уравнение необходимо для исследования работы манипулятора в целом.

Н.Г. Фетисова, А.П. Буйносков
СОЗДАНИЕ БЕГУЩЕЙ ВОЛНЫ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ПРИ ПРОИЗВОЛЬНЫХ ПАРАМЕТРАХ ПУТИ И ДВИГАТЕЛЯ Поезда на магнитной левитации

Ключевые слова: поезд, магнитная левитация, двигатель, поле, волна, бегущая, параметры, произвольные, создание.

В статье выведены уравнения и приведены результаты создания бегущей волны магнитного поля при произвольных параметрах пути и линейного асинхронного двигателя поезда на магнитной левитации.

А.П. Иванова, Л.В. Межуева, Т.И. Пискарьова
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ ВИБРОСМЕСИТЕЛЯ

Ключевые слова: вибросмеситель, амплитуда и частота виброимпульса, удельная мощность вибрации.

В работе представлен вибросмеситель, с помощью которого измерены режимные параметры. Результаты измерений представлены с помощью графических зависимостей, анализ которых позволяет выделить оптимальный режим для приготовления смеси нужного качества и уменьшить энергозатраты.

Г.Э. Лазаренко, Д.Г. Лазаренко
ТЕРМОСТАТИРУЮЩИЕ БУФЕРЫ РЭА НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ АККУМУЛЯТОРОВ ПЛАВЛЕНИЯ

Ключевые слова: тепловой аккумулятор, плавящееся вещество, РЭА.

Представлены результаты работ по созданию технологии производства изделий – термических буферов, встраиваемых

ON DISTRIBUTION OF SOURCES OF HEAT IN THE GRINDING ZONE

Keywords: editing, quality, temperature, surface, impulse, density.

This paper presents conditions of editing of circles which provide the lack of local sites with the level of temperatures causing defects. Temperature of grinding consists of the separate impulses created by abrasive grains, filler and a sheaf. The optimum arrangement of these sources of heat on a circle provides high efficiency of operation.

P.M. Salov, M.V. Kuptsov, T.G. Vinogradova, Yu.I. Vorontsov, S.S. Saykin, D.P. Salova, N.V. Petrova, V.S. Grigoriev
CIRCLE FORM FOR SHARPENING OF THE TOOL AND HER COMMUNICATION WITH DURATION EXTRA EARNINGS AND CRITICAL SPEED OF INCISION INTO PREPARATION

Keywords: circles work, internal friction, viscosity, Foykhts environment.

This paper presents technical feasibility of optimum form circles work.

A.R. Fardeyev, A.A. Fardeyev, A.M. Abdullina
THE ANALYSIS OF THE PIPELINE OPERATION OF THE MANIPULATOR USED IN THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF FORGING OR HOT STAMPING OF BLANKS
 Keywords: pipeline dynamics, manipulator hydraulic drives, Bernoulli equation, total pressure losses, relative variables.

The article investigates the dynamics of the pipeline of manipulator hydraulic drives with three progressive portable degrees of mobility, used to transfer blanks in the forging or hot stamping process. The Bernoulli equation is transformed for an unsteady fluid flow. The structure of the function of total pressure losses in the pipeline is determined and its linearization is produced, relative variables are introduced. An equation describing the operation of the pipeline is derived. The resulting equation is necessary to study the work of a manipulator in general.

N.G. Fetisova, A.P. Buinosov
THE CREATION OF A TRAVELING WAVE MAGNETIC FIELD FOR AN ARBITRARY PATH PARAMETERS AND ENGINE TRAINS ON MAGNETIC LEVITATION

Keywords: train, magnetic levitation, engine, field, wave, runner, options, custom, creation.

In the article the equations and the results of creating a traveling wave magnetic field at an arbitrary path settings and linear induction motor train on magnetic levitation.

A.P. Ivanova, L.V. Mezhujeva, T.I. Piskaryova
IMPROVEMENT OF METHODS FOR MEASUREMENT OF MODE PARAMETERS OF VIBRATION MIXER

Keywords: vibrating mixer, amplitude and frequency of vibration pulse, specific power of vibration.

The vibration mixer with which parameters are measured is presented. The results of measurements with the help of graphical dependencies, the analysis of which allows us to identify the optimal regime for preparing the mixture of the required quality and reducing energy consumption.

G.E. Lazarenko, D.G. Lazarenko
THERMOSTATISING BUFFERS FOR RADIO ELECTRONIC DEVICES ON THE BASIS OF THE TECHNOLOGY OF MELTING ACCUMULATORS

Keywords: heat accumulator, melting substance, collector, emitter

The results of the creation of technology for the production of

между радиаторами и полупроводниковыми элементами радиоэлектронной аппаратуры (РЭА). Термические буферы предлагается создавать на основе тепловых аккумуляторов плавения с энергоемким веществом – металлическим сплавом с низкой температурой плавления. Практическим результатом является улучшение согласования тепловой мощности элемента РЭА и радиатора, что приводит к повышению надежности и продлению срока службы.

Ж.Г. Могилюк, М.С. Хлыстунов

ВЕРОЯТНОСТНАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ДОСТОВЕРНОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ ТЕХНОСФЕРЫ

Ключевые слова: строительные конструкции, надежность, исследование технического состояния, достоверность результатов исследований.

В работе представлены материалы анализа достоверности результатов исследований причинно-следственных связей снижения надежности и безопасности строительных конструкций объектов техносферы. Рассмотрены алгоритмы оценки рисков получения недостоверных данных о параметрах процессов физического износа конструкций и технического состояния объектов.

П.В. Писарев, Д.А. Ермаков, Ю.С. Кирова, О.А. Кашин

ЧИСЛЕННЫЙ РАСЧЕТ ВИБРАЦИЙ ЛОПАТОК ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА НАГРУЖЕННЫХ ПОТОКОМ ЖИДКОСТИ

Ключевые слова: центробежные насосы ТНА, гидроупругость, численное моделирование, FSI, НДС лопаток, вибрации, ANSYS.

При разработке центробежных насосов одной из основных является задача по расчету вибраций лопаток рабочих колес. Известно, что вибрации могут приводить к снижению рабочих характеристик и, в некоторых случаях, к разрушению элементов конструкции, вследствие высокого уровня динамических напряжений, вызванных неравномерностью потока жидкости. В связи с этим, разработка методики расчета вибраций лопаток является актуальной задачей. Для решения поставленной задачи был проведен ряд вычислительных экспериментов по расчету гидродинамических и прочностных характеристик модельного центробежного насоса в связанной постановке Fluid-Structure Interaction.

П.В. Писарев, Е.Н. Шустова, А.Н. Аношкин, К.А. Максимова

ЧИСЛЕННЫЙ РАСЧЕТ АКУСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИЗМАТИЧЕСКИХ РЕЗОНАТОРОВ ГЕЛЬМГОЛЬЦА

Ключевые слова: звукопоглощающие конструкции, резонатор Гельмгольца, коэффициент потери акустического давления, диаметр перфорации, дефекты.

В рамках данной работы проводится исследование влияния диаметра горловины призматического резонатора Гельмгольца на величину собственной частоты резонатора и значения коэффициента потери акустического давления в модельном канале. Проведен анализ распределения акустического давления по продольному сечению модельного канала.

М.С. Хлыстунов, Ж.Г. Могилюк

ВИБРОАКУСТИЧЕСКИЕ АНАЛОГИИ ДЛЯ РАСЧЕТА КОНСТРУКЦИЙ НА ДИНАМИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ

Ключевые слова: конструкции, динамический расчет, метод аналогий.

В статье рассматривается центральная проблема расчетного динамического моделирования и обследования конструкций объектов техносферы. Показано, что каждый элемент конструкции представляет собой сложную виброакустическую колебательную систему с распределенными массой и жесткостью. Динамическая

thermal buffers embedded between radiators and semiconductor elements of radio electronic equipment (REE) are presented. Thermal buffers are proposed to be created on the basis of the thermal melting accumulators with an energy-intensive substance - a metal alloy with a low melting point. The practical result is an improvement in the matching of the thermal power of the REE element and the radiator, which leads to an increase in reliability and prolongation of the service life.

Zh.G. Mogiluk, M.S. Khlystunov

PROBABILISTIC RELIABILITY ESTIMATION MODEL OF THE TECHNOSPHERIC OBJECTS RESEARCHES RESULTS

Keywords: building structures, reliability, technical condition research, results reliability.

The paper presents the reliability analysis of the causal relationships research results which affect on the safety and security of the technosphere objects building structures. The algorithms assess the risk of inaccurate data obtaining about the parameters of the constructions physical wear processes and the facilities technical state.

P.V. Pisarev, D.A. Ermakov, Yu.S. Kirova, O.A. Kashin
NUMERICAL CALCULATION OF VIBRATIONS OF BLADES CENTRIFUGAL PUMPS LADEN LIQUID STREAM

Keywords: centrifugal pumps TNA, hydroelasticity, numerical modeling, FSI, VAT blades, vibration, ANSYS.

In the framework of this work, a study is made of the influence of the diameter of the throat of the prismatic resonator of Helmholtz on the value of the natural frequency of the resonator and the value of the acoustic pressure loss coefficient in the model channel. The distribution of acoustic pressure along the longitudinal section of the model channel is analyzed.

When designing centrifugal pumps, one of the main tasks is to calculate the vibrations of the impeller blades. It is known that vibrations can lead to a decrease in performance and, in some cases, to the destruction of structural elements, due to the high level of dynamic stresses caused by uneven flow of liquid. In connection with this, the development of a technique for calculating blade vibrations is an urgent task. To solve the task, a number of computational experiments were carried out to calculate the hydrodynamic and strength characteristics of a model centrifugal pump in a related formulation of Fluid-Structure Interaction.

P.V. Pisarev, E.N. Shustova, A.N. Anoshkin, K.A. Maksimova

NUMERICAL CALCULATION OF ACOUSTIC CHARACTERISTICS OF PRISMATIC RESONATORS OF HELMHOLTZ

Key words: sound-absorbing structures, Helmholtz resonator, acoustic pressure loss coefficient, perforation diameter, defects.

In the framework of this work, a study is made of the influence of the diameter of the throat of the prismatic resonator of Helmholtz on the value of the natural frequency of the resonator and the value of the acoustic pressure loss coefficient in the model channel. The distribution of acoustic pressure along the longitudinal section of the model channel is analyzed.

M.S. Khlystunov, Zh.G. Mogiljuk

THE STRUCTURES DYNAMIC LOADS CALCULATION BY VIBRO-ACOUSTIC ANALOGY

Keywords: design, dynamic calculation, analogies method.

The article discusses the Central problem of the estimated dynamic modeling and survey of the technosphere objects construction. It is shown that each the design element is a complex vibro-acoustic oscillatory system with distributed mass and stiffness. Construction dynamic model is investigated as the bound system of structural elements vibro-acoustic impedances.

модель конструкции исследуется как связанная система виброакустических импедансов конструктивных элементов.

Э.Э. Александров, А.И. Егунова, М.А. Воропаева
**МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ ТЕКСТОВЫХ ДОКУМЕНТОВ
 ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ ИНФОРМАЦИОННОГО ПОИСКА С
 ПОМОЩЬЮ ЗАПРОСОВ НА ЕСТЕСТВЕННОМ ЯЗЫКЕ**
Ключевые слова: индексация документов, информационный поиск, латентный семантический анализ, модель векторного пространства.

В статье рассматриваются результаты исследования по разработке методики для обработки текстовых документов хранилища электронных образовательных ресурсов, основанной на модели векторного пространства и латентного семантического анализа. Данная методика позволяет представлять текстовые документы в удобном формате для организации эффективного информационного поиска с помощью запросов на естественном языке.

М.А. Аль-Аскари, С.А. Федосин, В.В. Афонин
АНАЛИЗ КАЧЕСТВА РАСТРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ
Ключевые слова: растровые изображения, оценка качества изображения, артефакты, численное дифференцирование массивов, цветовая модель RGB.

В статье рассматриваются вопросы сравнительного анализа качества растровых изображений, в соответствии с рекомендациями, приведенными в [3]. Сравнительная оценка качества изображений проводится в системе MATLAB на основе численного дифференцирования массивов, соответствующих кодовым страницам цветовой модели RGB. Показаны особенности оценки изображений на ряде примеров.

Л.А. Бакуркина, К.В. Рочев, А.И. Селезнёв
**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА УЧЕТА ДЕЯТЕЛЬНОСТИ
 МАЛОГО БИЗНЕСА НА ПРИМЕРЕ ООО
 «СЕВЕРСТРОЙСВЯЗЬРЕСУРС»**

Ключевые слова: моделирование, информационная система, учёт деятельности.

В статье анализируется процесс моделирования учета деятельности малого бизнеса. Проведен анализ работы предприятия с целью построения модели процесса учета деятельности малого бизнеса. При анализе использовались диаграммы потоков данных, контекстная диаграмма и прецедентов, с помощью которых показана работа фирмы в целом с точки зрения директора для обеспечения возможности последующей ее автоматизации.

Е.В. Бессонова
**АЛГОРИТМ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ
 КООРДИНАТ НАЗЕМНЫХ И НИЗКОЛЕТЯЩИХ ЦЕЛЕЙ**
Ключевые слова: разрешающая способность, измерение координат, радиолокационные станции ближнего действия.

В работе проводится анализ систем радиолокационного обнаружения и определения координат малоразмерных объектов. Приведен универсальный алгоритм обработки сигналов, используемый для увеличения точности измерения азимутальной координаты целей.

Г.А. Гареева, Д.Р. Григорьева, И.И. Ямалетдинова,
 И.Ф. Фатихов
**ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ
 ИНФОРМАЦИОННОГО РЕСУРСА 1С: ИТС И 1С: БИТРИКС
 УПРАВЛЕНИЕ САЙТОМ**

Ключевые слова: агент, 1С:Битрикс, деактивация, обработчик, сайт.

В работе представлен обработчик, находящийся в CMS1С:Битрикс Управление сайтом. Представленный обработчик выполняет работу системного администратора информационного ресурса. Данная разработка помогает проверить пользователей на наличие подписки в 1С:ИТС. Обработчик проходит по всем пользователям, получает из поля серийный номер и отправляет данную информацию на 1С:ИТС, в ответ он получает результат. Если срок подписки

A.A. Alexandrov, A.I. Egunova, M.A. Voropaeva
**INFORMATION AND SEARCHED SUBSYSTEM OF
 ELECTRONIC EDUCATIONAL RESOURCE STORAGE**
Keywords: indexing of documents, information retrieval, latent semantic analysis, vector space model.

This article presents the results of a research into the development of a methodology for processing text documents of the storage of electronic educational resources based on a vector space model and latent semantic analysis. This technique allows you to submit text documents in a convenient format for organizing an efficient information retrieval using natural language queries.

M.A. Al-Askari, S.A. Fedosin, V.V. Afonin
ANALYSIS OF THE QUALITY OF THE RASTER IMAGE
Keywords: raster image, evaluation image quality, artifacts, numerical differentiation arrays, the RGB color model.

In the article questions of the comparative analysis of quality of raster images are considered, in accordance with the recommendations given in [1]. Comparative assessment of the quality of the images is performed in MATLAB based on numerical differentiation of the arrays corresponding to the code pages the RGB color model. The features of image evaluation are shown on a number of examples.

L.A. Bakurkina, K.V. Rochev, A.I. Seleznyov
**MODELING THE PROCESS OF ACCOUNTING FOR SMALL
 BUSINESS ON THE EXAMPLE OF LLC
 «SEVERSTROYSVYAZRESURS»**

Keywords: modeling, information system, accounting activities.
 The article analyzes the process modeling of small businesses activities accounting. The analysis of work of the enterprise with the aim of constructing a model of the process of accounting activities of small businesses. In the analysis we used data flow diagrams, context diagram and precedents, which shows the operation of the company as a whole from the point of view of the director to enable it automation.

E.V. Bessonova
**THE ALGORITHM OF INCREASING COORDINATE
 DEFINITION PRECISION OF LAND AND LOW-FLYING
 TARGETS**

Keywords: resolution, coordinate definition, short-range radar.
 This paper describes analyze of radiolocation systems definition of small-sized targets. Universal signal processing algorithm for increasing azimuth coordinate definition precision of targets is shown.

G.A. Gareeva, D.R. Grigoreva, I.I. Yamaletdinova, I.F. Fatixov
**INTERACTION OF USER INFORMATION RESOURCES 1С:
 ITS AND 1С: BITRIX SITE MANAGEMENT**

Keywords: agent, 1С: Bitrix, deactivation, handler, site.
 In this paper, a handler is located in CMS 1С: Bitrix Site Manager. The presented handler performs the work of the system administrator of the information resource. This development helps to check users for a subscription in 1С: ITS. The handler is passed through to all users, receives a serial number from the field and sends this information to 1С: ITS, in response, it receives the result. If the subscription period does not expire, the user remains active, otherwise the handler deactivates the user.

не вышел, пользователь остается активным, в противном случае, обработчик проводит деактивацию пользователя.

Е.Г. Кабулова, Д.В. Грачиков

ОБРАБОТКА НИЗКО-КОНТРАСТНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ БИОЛОГИЧЕСКОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ С ГИСТЕРЕЗИСНЫМИ СВОЙСТВАМИ

Ключевые слова: сегментация изображений, биологическая нейронная сеть, гистерезис.

Для обработки низко-контрастных изображений металлов и сплавов предложена модель нейронной, построенной на основе модифицированной математической модели С.А. Кащенко – В.В. Майорова и А.Н. Радченко. Выполнено исследование запуска эндогенных процессов, образования спайка в синапсе нейрона, а также синхронизации нейронных ансамблей под воздействием метаболитного рецептивного кластера с учетом гистерезисных связей и типа воздействия.

О.А. Капустина, М.С. Карпук

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОГЛАСОВАННОСТИ МНЕНИЙ ЭКСПЕРТОВ ПРИ РАСЧЕТЕ ИНТЕГРАЛЬНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ РЕГИОНА

Ключевые слова: математическая модель, алгоритм, программный комплекс, показатель жизнедеятельности региона. В работе представлены результаты разработки модели, алгоритма и программной реализации определения согласованности мнений экспертов при расчете комплексного показателя безопасности региона.

О.А. Капустина, В.Д. Павлидис

ПРОДУКЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЗНАНИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ КАТЕГОРИИ СЛОЖНОСТИ ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЙ

Ключевые слова: представление знаний, продукционная модель, программная система нечеткого вывода, опасные природные условия.

В работе предлагаются результаты представления знаний о категориях сложности природных условий для проведения экспертной оценки природно-техногенных объектов. Разработана продукционная модель представления знаний. Предложены значения методов нечеткого логического И, ИЛИ, импликация, агрегирования и дефазификации, а также тип функций принадлежности переменных для создания системы нечеткого вывода.

М.Ф. Мищик, А.А. Мовчун

ДВУМЕРНАЯ И ТРЕХМЕРНАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ИЗДЕЛИЙ В СРЕДЕ MAPLE

Ключевые слова: двумерная и трехмерная визуализация, пакет Maple 2015, 3d графические объекты, 2d развертки.

Предлагается способ проектирования технических изделий легкой промышленности, как развертывающихся поверхностей. Формообразование изделий происходит в поле сил тяжести и упругости ткани. Построение трехмерных объектов реализуется в среде Maple на основе команд пакета с библиотекой 4GL. Для построения 3d графических объектов использовалось программное обеспечение, позволяющее строить поверхности и пространственные кривые. В качестве разверток трехмерных поверхностей применялись спиральные развертки с учетом соединительных швов.

А.Д. Семенов, А.В. Волков

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ АПРОБАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ НАТРИЕВЫХ ЛАМП ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

Ключевые слова: натриевая лампа, математическая модель, экспериментальное исследование.

В статье рассматриваются математическая модель натриевой лампы и сопоставляются результаты моделирования с данными, полученными в ходе эксперимента. Подтверждена адекватность разработанной модели. Апробируемая модель позволяет проводить контроль качества натриевых ламп.

E.G. Kabulova, D.V. Grachikov

PROCESSING LOW-CONTRAST IMAGES OF METALS AND ALLOYS ON THE BASIS OF BIOLOGICAL NEURAL NETWORK WITH HYSTERESIS PROPERTIES

Keywords: image segmentation, biological neural network, hysteresis.

For processing low-contrast images of metals and alloys proposed a neural model based on modified mathematical model S. A. Kashchenko, V. V. Maiorov and A. N. Radchenko. Performed study startup endogenous processes of formation of the spike at the synapse of a neuron and synchronization of neuronal ensembles under the influence of metabotropic receptive cluster taking into account the hysteresis of the relationships and the type of exposure.

O.A. Kapustina, M.S. Karpyuk

MATHEMATICAL MODEL AND SOFTWARE PACKAGE FOR DETERMINING THE CONSISTENCY OF OPINION OF AN EXPERT IN THE CALCULATION OF THE INTEGRAL INDICATOR OF LIFE OF THE REGION

Keywords: mathematical model, algorithm, software complex index of activity in the region.

The paper presents the results of developing the model, algorithm and software implementation of determining the consistency of experts when calculating the integrated indicator of the security of the region.

O.A. Kapustina, V.D. Pavlidis

PRODUCTION MODEL OF KNOWLEDGE REPRESENTATION FOR THE EVALUATION OF THE COMPLEXITY OF NATURAL CONDITIONS

Keywords: knowledge representation, production model, a software fuzzy inference system, dangerous natural conditions.

The paper presents the results of the knowledge representation about the complexity of natural conditions for carrying out expert evaluation of natural-technogenic objects. Developed production model of knowledge representation. Suggested values of fuzzy logical AND, OR, implication, aggregation and defuzzification as well as the type of the membership functions of the variables to create the fuzzy inference system.

M.F. Mitsik, A.A. Movchyn

TWO-DIMENSIONAL AND THREE-DIMENSIONAL VIZUALIZATION

PRODUCTS IN THE MEDIUM OF MAPLE

Keywords: two-dimensional and three-dimensional visualization, Maple 2015 package, 3d graphic objects, 2d sweep.

A method for designing technical products of light industry as deployable surfaces is proposed. Forming of products occurs in the field of gravity and elasticity of the fabric. The construction of three-dimensional objects is realized in the Maple environment on the basis of the package commands with the 4GL library. For the construction of 3d graphic objects, software was used, which allows constructing surfaces and spatial curves. As sweeps of three-dimensional surfaces, spiral sweeps were used with allowance for connecting seams.

A.D. Semenov, A.V. Volkov

EXPERIMENTAL APPROBATION OF THE MATHEMATICAL MODEL OF HIGH PRESSURE SODIUM LAMPS

Keywords: sodium lamp, mathematical model, experimental study.

The article is devoted to the mathematical model of the sodium lamp / The results of the simulation are compared with the data obtained during the experiment. The adequacy of the model is confirmed. The tested model allows quality control of sodium lamps.

Г.М. Тутаев, М.А. Бобров
АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ НАБЛЮДАТЕЛЯ
МАГНИТНОГО ПОТОКА В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ
ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ НА БАЗЕ МАШИНЫ ДВОЙНОГО
ПИТАНИЯ

Ключевые слова: устойчивость, наблюдатель магнитного потока, машина двойного питания, характеристическое уравнение.

В статье проведен анализ устойчивости модели наблюдателя магнитного потока для реализации бездатчиковых законов управления электроприводом на базе машины двойного питания. Определены передаточные функции и характеристические уравнения контуров управления и методом D-разбиения исследована устойчивость системы регулирования при изменениях влияющего параметра – сопротивления ротора двигателя.

G.M. Tutaev, M.A. Bobrov
ANALYSIS OF THE MAGNETIC FLUX OBSERVER
STABILITY IN THE CONTROL SYSTEM OF THE
ELECTRIC DRIVE BASED ON DOUBLE-FED INDUCTION
MOTOR

Keywords: stability, magnetic flux observer, double-fed induction motor, characteristic equation.

The article analyzes the stability of the magnetic flux observer model for implementation of sensorless control algorithms of an electric drive based on a double-fed induction motor. The transfer functions and the characteristic equations of the control loops and the D-decomposition method are determined. The stability of the control system is investigated taking into account changes of the influencing parameter - the resistance of the motor rotor.

Публичный лицензионный договор-оферта о правах на статью

Редакция журнала «Научно-технический вестник Поволжья» предлагает Вам присылать свои статьи для публикации на страницах журнала, а также на сайте Научной электронной библиотеки (НЭБ). Предоставление Автором своего произведения является полным и безоговорочным акцептом, т.е. данный договор считается заключенным с соблюдением письменной формы. Присылая для публикации произведение, Автор также предоставляет Редакции журнала права на использование произведения и гарантирует, что он обладает достаточным объемом прав на передаваемое произведение. Также Автор предоставляет редакции журнала право переуступить на договорных условиях частично или полностью полученные по настоящему Договору права третьим лицам без выплаты Автору вознаграждения. Все авторские права регулируются в соответствии с действующим законодательством России.

Договор публичной оферты по обработке персональных данных

В процессе осуществления выпуска журнала "Научно-технический вестник Поволжья" ООО "Научно-технический вестник Поволжья" осуществляется обработка персональных данных, предоставленных авторами статей в рамках сообщения своих регистрационных данных для осуществления публикации в журнале (имя, фамилия, отчество, адрес автора, контактный телефон и e-mail приводятся в регистрационной форме, заполняемой авторами при отправке статьи в журнал). Обработка осуществляется редакцией журнала для целей надлежащей отправки журнала автору и возможности связи с автором лиц, заинтересованных в результатах труда автора статьи. Под обработкой персональных данных в контексте настоящего согласия понимаются действия редакции по сбору, систематизации, накоплению, хранению, использованию, распространению, уничтожению персональных данных, а также действия по их дальнейшей обработке с помощью автоматизированных систем управления базами данных, и иных программных средств, используемых редакцией журнала. Настоящее согласие автора на обработку персональных данных является бессрочным и может быть отозвано в любой момент путем отказа автора от получения журнала и дальнейшей обработки его персональных данных.

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК
ПОВОЛЖЬЯ

№1 2018

Направления:

01.01.00 — ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИКА

02.00.00 — ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

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

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

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

www.ntvp.ru

Свидетельство № ПИ № ФС77-41672 от 13 августа 2010г.

Подписано в печать 30.01.2018 Формат 60 x 84 1/8. Печать цифровая.

7,7 усл.печ.л. 8,9 уч.изд.л. Тираж 900 экз. Заказ 1005.

Учредитель: ООО "Научно-технический вестник Поволжья"

420021, Республика Татарстан, Казань,

ул. З.Султана, д.17а, оф. 19

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»